



## CNC-marógépen végzett mérés pontosságának meghatározása

### Determining the Accuracy of Measurement on a CNC Milling Machine

Kerényi Gábor,<sup>1</sup> Ráczai Viktor Gergely<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. Budapest, Magyarország, [gaborkerenyi5@gmail.com](mailto:gaborkerenyi5@gmail.com)

<sup>2</sup> Óbudai Egyetem, Anyagok és Technológiák Doktori Iskola. Budapest, Magyarország, [raczi.viktor@bgk.uni-obuda.hu](mailto:raczi.viktor@bgk.uni-obuda.hu)

#### Abstract

This article describes the difference between coordinate measurement results obtained on a coordinate measuring machine and on a CNC milling machine. It also includes the raw materials used for measurement, the geometry of the workpiece used, the tools used, the principles used to evaluate the measurement and the measurement results. In terms of measurement results, machine measurement has been shown to be more accurate. For flatness, the deviation between the two measurements averaged 4  $\mu\text{m}$ , for circularity 4  $\mu\text{m}$ , for single-interpolation machining with one axis 3  $\mu\text{m}$ , their parallelism 5  $\mu\text{m}$ , for machining two ten-slots together 2  $\mu\text{m}$ , their parallelism 5  $\mu\text{m}$ . The difference between the errors proves that milling and measuring machine measurement do not differ to such an extent as to require investment in a measuring machine, if circumstances do not require it.

**Keywords:** metrology, coordinate measurement, CNC milling machine, accuracy.

#### Összefoglalás

A cikk bemutatja a koordinátamérő gépen és a CNC-marógépen végzett koordinátamérés-eredmények közötti különbséget. Tartalmazza továbbá a méréshez használt alapanyagokat, a felhasznált munkadarab-geometriát, felhasznált eszközöket, a mérés kiértékeléséhez alkalmazott alapelveket és a mérési eredményeket. A mérések eredményét tekintve a mérőgépes mérés pontosabbnak bizonyult. Síklapúság esetében az eltérés a két mérés között átlagosan 4  $\mu\text{m}$ , körkörösségi hibánál 4  $\mu\text{m}$ , az egyenesinterpolációra egy tengellyel történő megmunkálás esetén 3  $\mu\text{m}$ , párhuzamosságuk 5  $\mu\text{m}$ , két tengely együttes megmunkálása esetén 2  $\mu\text{m}$ , párhuzamosságuk 5  $\mu\text{m}$ . A hibák közti eltérés azt bizonyítja, hogy a marógépes és a mérőgépes mérés nem tér el olyan mértékben egymástól, ami megkövetelné egy mérőgépre történő beruházást, ha a körülmények ezt nem teszik indokolttá.

**Kulcsszavak:** méréstechnika, koordinátamérés, CNC-marógép, pontosság.

#### 1. Bevezetés

A gyártás fontos alapelve a méretpontosság és a pontosság elérése valamely eszköz segítségével. Ezek az eszközök lehetnek bármely, a gyártástechnológiában használt gépek, akár emberi erő, hő, elektromosság hajtja, vagy legyen ez a földön való létezésünk óta felfedezett bármilyen energi-

giaforrás. Az egyik legfontosabb probléma, amivel szembe kell néznünk, mindig is a kellő pontosság elérése volt és lesz.

Az ipar 4.0 és az automatizálás világában a méréstechnika is szerepet kapott, ezáltal a mérőgépek gyártásba való integrálásának gyakorisága is megnőtt. Mind a gyártásközi, mind pedig a gyár-

tás utáni mérések nagyban elősegítik a pontosság növelését. Az iparban két rendszer terjedt el: a szerszámgépen végzett mérés (angolul OMM = on-machine measurement) és a koordinátamérő gépen végzett mérés (angolul CMM = coordinate machine measurement).

Az OMM egy olyan eljárás, amely lehetővé teszi, hogy a megmunkálógépek mérjék és értékeljék a munkadarabok méreteit és geometriai tulajdonságait közvetlenül a gyártási folyamat után, és gyártásközi mérésekre is használják. Ennek eredményeként az OMM-rendszer segítségével a gyártók valós idejű visszacsatolást kaphatnak a gyártás pontosságáról, és azonnal alkalmazhatnak korrekciókat, amennyiben szükségeseik. Ezáltal az OMM hozzájárulhat a gyártási hatékonyság növeléséhez és a minőség javításához.

A CMM kifejezés a koordinátamérő gépen történő mérést jelenti. A koordinátamérő gép egy olyan eszköz, amelyet a gyártási folyamat közben és azt követően használnak a munkadarabok méreteinek és geometriai tulajdonságainak mérésére és ellenőrzésére. A CMM nagy pontosságú, CNC-vezérelt rendszer, amely képes az objektumok X, Y és Z koordinátáinak pontos mérésére. A CMM-ek segítségével a gyártók ellenőrizhetik a munkadarabokat a tervezési specifikációkkal összhangban, és értékelhetik a termelési folyamat pontosságát és minőségét. Azonban egy ilyen mérőgép ára nagyban eltér a fent említett OMM-eljárásban alkalmazott eszközökétől, valamint használatát szigorúbb és kötöttebb szabványok szabályozzák. A mérőgép kezeléséhez továbbá szakember szükséges, akinek alkalmazásával még tovább drágítjuk az alkatrészek gyártását.

Az ipar 4.0 keretein belül lehetőség van arra, hogy automatizált rendszereket alkalmazzunk. A rendszerbe integrált OMM-eszközök esetében fontos megvizsgálni, hogy milyen mértékben megbízható és pontos az adott eszköz, továbbá mérlegelni kell, hogy megéri-e a költségcsökkentést. Az additív gyártásban ezzel szemben előszeretettel alkalmazott az OMM, abban az esetben, ha egy olyan hibrid gép áll rendelkezésre, amely képes additív gyártásra és forgácsolásra egyaránt. Ilyenkor nem célszerű kivenni az alkatrészt a gépből, ezért kell OMM-t alkalmazni, és ezzel tovább csökkentjük a bevitt hibák számát.

A jelen tanulmány célja, hogy összehasonlítsuk az OMM- és a CMM-mérések pontosságát.

A gyártásban és annak ellenőrzésében mindig is kérdés volt, hogy szükség van-e egy drága, de pontos koordinátamérő gépre, vagy megelégszünk a manapság már elterjedt és viszonylag olcsón elér-

hető, a megmunkálógépbe helyezhető tapintóegységekkel. Az OMM-rendszerek használatánál a cégek nagy többségben a tapintós mérőműszereket csak nullpontbemérés céljából alkalmazzák, valamint kis százalékuk megpróbálja a gyártásba olyan szinten beilleszteni, hogy a megmunkálás után a méretkompenzációs értéket megállapíthassák. Így gyorsabban kapnak pontos értéket a korrekció elvégzéséhez, mintsem a gépkezelők mérését követően. A tanulmány kitér továbbá arra, hogy milyen módon kívánjuk megvizsgálni az adott problémát, és milyen eszközöket használunk fel a gyakorlat végrehajtásához.

A következő fejezetekben tovább taglalom a felhasznált anyagok specifikációit és a felhasznált mérési metódusokat és irányelveket.

## 2. A méréskiértékelés módszerei

A mérés során használt két gép között a kiértékelési módszer is különbözött. A CNC-gépben használt Renishaw-mérőfejnél nem alkalmaztuk a gyártó által felkínált kiértékelési módokat, és ezért az OMM esetében az Excel programot használtunk. A koordinátamérő gépen történő mérés kiértékelését a Mitutoyo programjával (Geopak v2.3 R10) végeztük el. Mind a két esetben ugyanazokat a pontokat mértük, és az eredményeket is ugyanazon módszerrel számítottuk.

A mérés során kapott pontok kiértékelésére többféle módszer létezik. Mi az iparban is előszeretettel használt illesztési módszert alkalmaztuk, a Gauss-féle legkisebb négyzetek elvét. A módszer alkalmazásához fel kellett használni a következő alapegyenleteket a különböző geometriai elemekre:

$$\text{Sík:} \quad Ax + By + C = 0 \quad (1)$$

$$\text{Egyenes:} \quad Ax + By + Cz + D = 0 \quad (2)$$

$$\text{Kör:} \quad Ax^2 + Ay^2 + Cx + Dy + E = 0 \quad (3)$$

ahol  $A, B, C, D, E$  a normálvektor-komponensek és  $x, y, z$  az adott pont koordinátái (1), (2), (3) [1].

### 2.1. A Gauss-féle illesztés

A természetben (a centrális határeloszlási tétel miatt) általában a mérhető mennyiségeknek Gauss-eloszlása van, azaz ha egy mérhető mennyiség várható/elméleti értéke  $\mu$ , akkor a mért értékek eloszlása egy  $\mu$  körüli Gauss-görbe szerinti lesz, melynek szélessége arányos a mérés hibájával.

Azonban ha nem egy mérést végzünk el egymás után megismételhető módon, hanem adatpárokat vizsgálunk, azaz egy mennyiséget egy adott függvény értelmében, akkor egy módosított  $\chi^2$  próbát alkalmazunk (4).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \left( \frac{f_i - f(x_i)}{\Delta f_i} \right)^2 \quad (4)$$

Az elméleti függvény, amit alapul veszünk, az  $f(x_i)$  és  $x_i$  az adott pontban a függvény értéke. A képlettel megvizsgálhatjuk, hogy a megadott elméleti függvény mellett mekkora a valószínűség, hogy a gyakorlatban is kapott mérési pontok jöjjenek ki. A  $\chi^2$  értéke adja meg a valószínűséget és két paramétere van. Az egyik maga az elméleti függvény, a másik a mérési pontok száma, vagyis a szabadsági fokok száma. Ha a valószínűség értéke 0,1%-nál kisebb, akkor az elmélet nem megfelelő és el lehet vetni, de más esetben alátámasztja a feltevésünket.

Az általunk használt Gauss-illesztés a fordítottja ennek az összefüggésnek. Abban az esetben, ha a függvényt keressük a paraméterek változtatásával, akkor a  $\chi^2$ -nek a minimális értékét keressük (minimalizáljuk), így megkapjuk az optimális paramétereket. Ezt nevezzük illesztésnek [2].

## 2.2. A Gauss-féle egyenesillesztés

A Gauss-illesztéshez OMM esetében az Excel Solver nevű numerikus algoritmusát használtuk fel. Ahol egyenes mentén helyezkedtek el a pontok, ott egy egyenest illesztettünk Excel segítségével a mért pontokra. Ebben az esetben a minimalizálni kívánt mennyiség összefüggése (5):

$$\chi^2(a, b) = \sum_{i=1}^N \left( \frac{f_i - ax_i - b}{\Delta f_i} \right)^2 \quad (5)$$

A minimalizálás ellenőrzése miatt más módszerrel is kiszámítottuk az optimális paramétereket, az egyenes egyenletét felhasználva, nem numerikus módszerrel. Az egyenes egyenlete (6):

$$Y = ax + b \quad (6)$$

ahol az  $a$  a meredekség,  $b$  az a pont, ahol az egyenes metszi az  $Y$  tengelyt. A meredekség meghatározásához a következő műveletet kell elvégezni; itt a mért pontok  $x$  és  $y$  koordinátaival és azok átlagával ( $\bar{x}$ ) kell számolni (7).

$$a = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum(x - \bar{x})^2} \quad (7)$$

A  $b$  értéket az alábbi egyenlettel kell megoldani. Ennek lényege, hogy az  $\bar{x}$  és az  $\bar{y}$  pontjában kell az egyenesnek áthaladnia, ezért az egyenes egyenletébe ezt fogjuk behelyettesíteni. Majd az egyenletet rendezzük, és megkapjuk az  $Y$  tengely metszetét (8).

$$\bar{y} = a\bar{x} + b \rightarrow b = \bar{y} - a\bar{x} \quad (8)$$

Mind a két módszerrel 4 tizedesjegyre kiírva ugyanazt az eredményt kaptuk, így a kiértékelési módszer helyesnek tekinthető.

A vizsgált geometriai elem egyenességét a mért pontok maximuma és minimuma közti különbséggel határoztuk meg.

## 2.3. A Gauss-féle körillesztés

Kör esetében is minimalizálást alkalmaztunk, viszont más paramétereket változtattunk és közelítettünk, hogy megkapjuk az optimális értékeket. A számításhoz 24 mérési pontot használtunk fel, amiket  $x$  és  $y$  koordinátákkal definiáltunk.

A Pitagorasz-tétel segítségével kiszámoltuk az  $R_i$  ( $x$  és  $y$ -hoz tartozó sugár) értékét a mérési pontok függvényében (9). A kör közepe  $x_0$  és  $y_0$  indexszel szerepel a számításban, és ezek alapértelmezett értéke 0.

$$R_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \quad (9)$$

Szükségünk volt továbbá a  $\Delta R$  értékére, ami az  $R$  névleges értéke és az  $R_i$  különbsége (10).

$$\Delta R = R - R_i \quad (10)$$

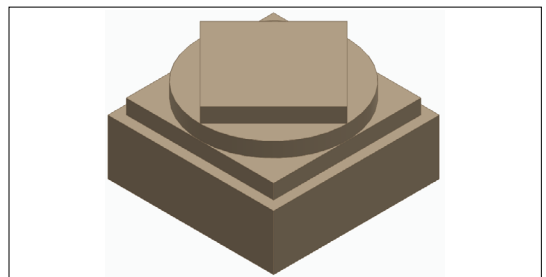
Valamint szükség volt a  $\Delta R$  összegnégyzetére is.

A minimalizálás során az  $x_0$ ,  $y_0$  és  $R$  értékét változtattuk a  $\sum \Delta R$  függvényében. A körkörösséget a  $\Delta R_i$  maximum és minimum különbsége adta.

## 3. Az alkalmazott eszközök

### 3.1. A NASA-teszt

A megmunkálás pontosságára nagy befolyással bír a munkadarab-gép-készülék-szerszám-(MGKSZ-) rendszer elemei. Az amerikai úrkutatással foglalkozó hivatal (NASA) kidolgozott egy tesztdarabot e rendszer pontosságának a meghatározásához. A tesztdarab olyan felületeket és méreteket tartalmaz, amikkel a gép megmunkálás közbeni pontosságát lehet minősíteni. A tesztdarab alapja egy négyzet, azon egy kör, és a körön egy 45°-kal elforgatott négyzet helyezkedik el. A tesztdarabot az 1. ábra mutatja.



1. ábra. A NASA tesztdarabja (munkadarab)

Az alulról nézve első szint négyzet alakú, megmunkálásával az asztal hossz- és keresztirányú merőlegessége mérhető ki. A felette elhelyezkedő körrel a körinterpoláció hibáit mérhetjük ki, valamint a körkörösség hibáiból adódóan a tengelyek letapadását, és az irányváltás hibáiról is értéket kapunk. A darab legfelső szintjén kimart, elforgatott négyzet pedig az egyenesinterpoláció hibáit mutatja meg. A teraszok a Z tengely mentén való pozicionálási pontosságot határozzák meg [3, 4].

A munkadarab anyaga Necuron 651 (műfa) volt, ami egy poliuretánhab. Választásunk azért erre az anyagra esett, mert kis forgácsolási erő szükséges a megmunkálásához, így elhanyagolhatóak a forgácsolási paramétereiből adódó hibák. Valamint a hőtágulási együtthatója is kedvezőbb az acélhoz képest; erre azért volt szükség, mert a vizsgált két gép nem légkondicionált térben helyezkedett el, és másik szobában is voltak.

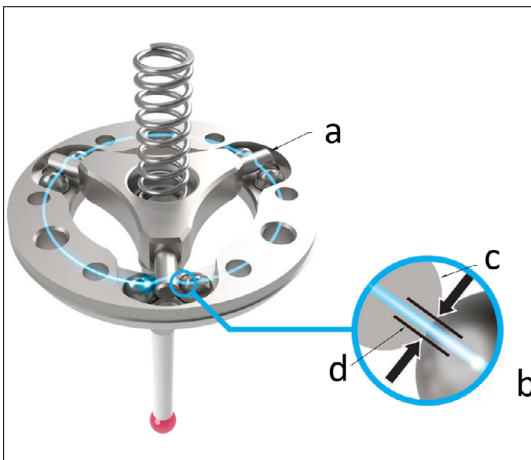
A Necuron 651 főbb tulajdonságai:

- forgácsolási erő ( $k_{c,1,1} = 120 \text{ N/mm}^2$ );
- könnyű forgácskezelés;
- nyomószilárdság ( $25 \text{ N/mm}^2$ );
- hőtágulási együttható ( $40 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ).

### 3.2. A Renishaw-tapintóegység

Mind az OMM- (Renishaw OMP40-2) és CMM- (Renishaw MH20i) mérés során felhasznált tapintóegység kapcsoló típusú. Az iparban a legelterjedtebbek az áruk és egyszerű működési elvük miatt, ezért is ezt választottuk a mérések elvégzéséhez. A gyártó a *kinematikai tapintó* elnevezést használja. Ellenállás-változáson alapuló mérőeszközök, és a következő elven működnek.

A 2. ábrán látható tapintófejben három, azonos távolságban elhelyezkedő rúd fekszik hat, edzett



2. ábra. Kapcsoló típusú tapintó működési elve [5]

W-karbidgolyón, amely hat kapcsolási pontot biztosít az áramkörben. Egy elektromos áramkör jön létre ezeken a kapcsolódási pontokon keresztül (2. ábra a). A szerkezet egy rugó által előfeszített helyzetben van, így az áramkör zárt. A rugós terhelés miatt kapcsolódási felületek jönnek létre, amelyeken keresztül áram folyik (2. ábra b). A tapintás pillanatában a munkadarabbal ellentétes irányban fellépő reakcióerő a tapintószervezetében a kapcsolódási felület csökkenéséhez vezet (2. ábra c), ennek következtében az ellenállás azon a ponton megnő (2. ábra d). A felületre ható, változó erőt az áramkörben észlelhető változásként mérjük. Amikor az ellenállás-változás eléri egy határt, akkor a tapintó kimenete jelez, és a PLC-vezérlőnek küld egy „tapint” jelet [5, 6].

A tapintóegység az OMM esetében optikai jelátvitellel kommunikál a vezérlővel, a koordinátamérő gép ezzel szemben közvetlenül kapcsolódik a vezérlővel.

A tapintógömb ipari rubintból készült.

### 3.3. A HAAS CNC-marógép

Az OMM-méréshez Haas Mini Mill Edu típusú, háromtengelyes megmunkálóközpontot használtunk. Ez a szerszámgép oktatási célra tervezett marógép. A gépválasztás során azt vettük alapul, hogy melyik gépen van kiépítve az OMM-méréshez szükséges, optikai jelátvitelre képes mérőrendszer, valamint hogy a marógép egy újonnan gyártott modell, ezért az esetleges kopási hibák is elhanyagolhatóak. A főorsó csak egy pozícióban indexálható. A gépet a 3. ábra mutatja [7].

Az általunk használt tapintóegység a Renishaw OMP40-2, amelynek az ismétlődéssége  $1 \mu\text{m}$ . A tapintó hossza  $50 \text{ mm}$  [8].



3. ábra. Haas Mini Mill Edu megmunkálóközpont

### 3.4. A koordinátamérő gép

A koordinátamérő gépet a lehetőségeink szerint választottuk ki. A választás Mitutoyo Crysta-plus M574 típusú mérőgépre esett (4. ábra).

A mérőgép minden tengelyén légcsapággal van felszerelve, és mérőléccel biztosítja a pontosságot. A munkatér 500×700×400 mm. A mérőgép pontossága  $E=3,5+4,5L/100$  μm. Felbontása 0,5 μm [9].

A koordinátamérő gépben Renishaw MH20i típusú tapintóegységet használtunk. A rubintgömb mérete 3 mm volt. A tapintó ismétlődéssége 1,5 μm [10].

### 3.5. A tapintóegységek vezérlése

A koordinátamérő gép esetében a tapintani kívánt pontokat betanítva hoztuk létre a programot. Az OMM- és a CMM-méréseknél is ugyanazon stratégiát és ráállási hosszt alkalmaztunk, hogy az esetleges pozicionálási pontatlanságok és géphibák ugyanolyan feltételek mellett hassanak a mérésre (pl. irányváltási hiba stb.). A mérések során a munkadarab nullpontja a munkadarab felső síkjában közepén helyezkedett el.

A CNC-gép esetében G-kódos programozással hoztuk létre a pontfelhőt. A G-kódokat, amiket használtunk, a Renishaw saját alprogramjai közül hívtuk meg a G65-ös, egyszerű makrohívással [11].

- A Renishaw-alprogramok:
- P9832 – tapintó bekapcsolása;
  - P9810 – védett mozgás;
  - P9811 – egyszerű felületmérés;
  - P9821 – egyszerű felület szögmérés.



4. ábra. Mitutoyo Crysta Plus 574 mérőgép

## 4. Eredmények

A mérés során több mérést is végeztünk, melyek átlagát foglaltuk össze a táblázatokban.

### 4.1. OMM- és CMM-mérési eredmények

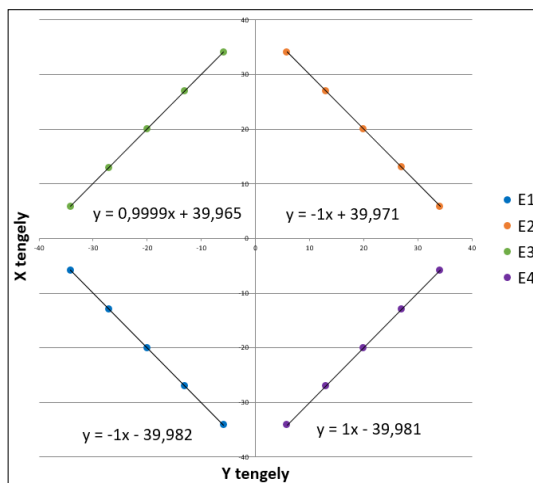
Az OMM-mérések kiértékeléséhez az Excel egyik bővítményét, a Solvert alkalmaztuk. A kapott értékek (egyenesség, párhuzamosság) helyességét elemi számításokkal is ellenőriztük.

Síklopúságot mértünk a munkadarab felső síkjában, ennek az értékét az 1. táblázatba beírtuk. A mérési pontok száma mind a két esetben 9 db volt (1. táblázat).

#### 1. táblázat. A felső síkon nyert mérési eredmények

Paraméter	OMM-érték (mm)	CMM-érték (mm)
Síklopúság	0,0033	0,0070
Max	-0,0159	0,0050
Min	-0,0192	-0,0020

Az 5. ábra a 45°-kal elforgatott, négyzet alapú sziget mérési pontjait és a pontokra illesztett regressziós egyenest mutatja, illetve az egyenesek egyenletét írja le. A mérésből látszik, hogy a CNC-gép tengelyei nincsenek még olyan szinten kikopva, hogy azt egy ilyen méréssel ki lehessen mutatni. A tengelyek nagy pontossággal együtt mozognak. Ez látszik a regressziós egyenesek meredekségéből is. A meredekségben az eltérés csak az E3-as egyenesnél éri el az 0,0001 értéket. A többi egyenesnél kevesebb az eltérés. Az egyenes egyenletében a konstans érték eltér a névleges értéktől (40 mm), ennek az az oka, hogy a ma-



5. ábra. A 45°-kal elforgatott négyzet OMM-mérési eredménye

rózszerszám, amellyel a megmunkálást végeztük, nem volt pontosan bemérve, így a maró átmérője eltért a korrekciós táblában szereplő értéktől [12].

A **2. táblázat** összehasonlítja az OMM- és a CMM-mérési eredményeket.

A kör sziget mérésénél 24 mérési pontot vettünk fel egymástól 15°-ra. A mérési eredményekre Gauss-féle illesztési módszert alkalmaztunk. A tapintott átmérő 80 mm volt. A **6. ábra** a kör sziget-méréshez használt pontfelhőt ábrázolja.

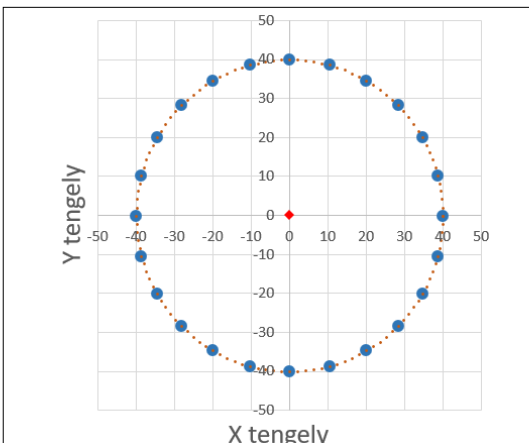
Meghatároztuk a mért kör paramétereit, ahol a  $x_0, y_0$  a kör közepének koordinátái,  $R$  a kör sugara,  $D$  a kör átmérője,  $Min$  a Gauss-körtől való eltérés minimális és  $Max$  a maximális eltérés, valamint  $RND$  a körköröségi hiba (**3. táblázat**).

A négyzet alapú sziget marásánál a tengelyek egyenként, egymástól függetlenül mozogtak, így csak egy tengely mentén történt az elmozdulás (**4. táblázat**).

A kör alakú sziget felületét is ellenőriztük síklapúság szempontjából. A felületen térnegyedenként 3 pontot vettünk fel, így kaptunk 12 mérési

**2. táblázat.** A 45°-kal elforgatott sziget mérési eredménye

Egyenesség és párhuzamosság		
Egyenes	OMM-érték (mm)	CMM-érték (mm)
E1 (-X; -Y)	0,0028	0,0060
E2 (X; Y)	0,0030	0,0043
E3 (-X; Y)	0,0038	0,0038
E4 (X; -Y)	0,0027	0,0035
E1×E2	0,0031	0,0113
E3×E4	0,0034	0,0069



**6. ábra.** A kör sziget OMM-mérése 24 ponttal

pontot. A mért pontokra síkot illesztettünk, és a kiértékelést a következő táblázatban ábrázoltuk (**5. táblázat**).

A legalsó Z szinten is mértünk síklapúságot, 4 pontból. Ebben az esetben is a pontokra illesztett síkot értékeltük ki (**6. táblázat**).

**3. táblázat.** Kör szigetmérési eredmények

Kör paramétere	OMM-érték (mm)	CMM-érték (mm)
$x_0$	-0,0014	0,0020
$y_0$	-0,0035	0,0040
$R$	39,9772	39,9860
$D$	79,9544	79,9720
$Min$	0,0020	-0,0050
$Max$	-0,0047	0,0050
$RND$	0,0067	0,0110

**4. táblázat.** A négyzet alakú sziget mérési eredményei

Egyenesség és párhuzamosság		
Egyenes	OMM-érték (mm)	CMM-érték (mm)
E1 (X+)	0,0030	0,0069
E2 (X-)	0,0036	0,0068
E3 (Y+)	0,0050	0,0066
E4 (Y-)	0,0047	0,0073
E1×E2	0,0067	0,0207
E3×E4	0,0058	0,0103

**5. táblázat.** A kör alakú sziget felső síkján kapott mérési eredmények

Kör alakú sziget síklapúsági mérése		
Paraméterek	OMM-érték (mm)	CMM-érték (mm)
Síklapúság	0,0047	0,0070
Max	-8,0034	-8,0040
Min	-7,9986	-7,9970

**6. táblázat.** Négyzet alakú sziget felső síkján kapott mérési eredmények

Négyzet alakú sziget síklapúsága		
Paraméterek	OMM-érték (mm)	CMM-érték (mm)
Sík	0,0037	0,0000
Max	-16,0055	-16,0000
Min	-16,0018	-16,0000

## 5. Következtetések

Az adatokat összehasonlítva, a mérőgépen történő koordinátamérés mindig jobban eltér a névleges értéktől (max. 0,004 mm), mint a CNC-gépen mért eredmények (max. 0,003 mm), ami a mérés pontosságától függ. A CMM-mérésnek nagyobb a felbontása a tapintó rubintgömb mérete (3.3. fejezet és 3.4. fejezet) miatt. Mivel az kisebb, ezért érzékenyebb az eltérésekre, és ennek értelmében nagyobb lesz az eltérés is. A CNC esetében az eltérést okozhatja a gép forgó jeladójából következő felbontáskülönbség is: a mérőgép mérőléccel van felszerelve, ezért a nagyobb felbontás szintén a nagyobb érzékenységhez vezet.

A síklapúság és annak maximum és minimum értékeinél megfigyelhető ugyan ez a tendencia, miszerint a CMM-méréseknél nagyobb volt a hiba (7  $\mu\text{m}$ ), mint az OMM-méréseknél (4  $\mu\text{m}$ ).

A mérési eredmények relevánsak az ipari alkalmazások számára, mivel a koordinátamérések költségei eltérőek az alkalmazott berendezések szerint. Az alkalmazott CNC-gép és az arra szerelt Renishaw OMP40-2 mérőeszközzel végzett mérések gazdaságosabban elvégezhetők megfelelő pontossággal.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Hocken R. J., Pereira P. H. (eds.): *Coordinate Measuring Machines and Systems*. Manufacturing Engineering and Materials Processing, CRC Press, New York, 2011.  
<https://doi.org/10.1201/b11022>
- [2] ELTE. Környezetfizika méréskiértékelés (letöltve: 2023. április 30.)  
<https://atomfizika.elte.hu/kornyfizlab/docs/mereskiertekeles.pdf>
- [3] Hervay P.: *Szerszámgép sajátpontosságának vizsgálata II*. NSZFI. (letöltve: 2023. április 30.)  
[https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi\\_dokumentumok/Bemeneti\\_kompetenciak\\_meresi\\_ertekelesi\\_eszkozrendszerenek\\_kialakitasa/5\\_0275\\_010\\_101215.pdf](https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi_dokumentumok/Bemeneti_kompetenciak_meresi_ertekelesi_eszkozrendszerenek_kialakitasa/5_0275_010_101215.pdf)
- [4] Barnfather J. D., Goodfellow M. J., Abram T.: *Photogrammetric measurement process capability for metrology assisted robotic machining*. Measurement, 78. (2016) 29–41.  
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.09.045>
- [5] Renishaw.com: Probing systems for CNC machine tools. (letöltve: 2023. április 30.)  
<https://www.renishaw.com/resourcecentre/download?data=117597&lang=en&userLanguage=en>
- [6] Marcelo Del Guerra, Reginaldo Teixeira Coelho: *Development of a low cost Touch Trigger Probe for CNC Lathes*. Journal of Materials Processing Technology, 179/1–3. (2006) 117–123.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.03.093>
- [7] Haas Automation gyártó cég weboldala: Haas Mini Mill EDU (letöltve: 2023. május 21.)  
<https://www.haascnc.com/hu/machines/vertical-mills/mini-mills/models/minimill-edu.html>
- [8] Renishaw OMP40-2 műszaki dokumentáció (letöltve: 2024. május 21.)  
<https://www.renishaw.com/resourcecentre/en/details/Data-sheet-OMP40-2--131542?lang=en>
- [9] Mitutoyo Mitutoyo Crysta-plus M574 típusú mérőgép adatlap. (letöltve: 2024. május 7.)  
[https://shop.mitutoyo.hu/web/mitutoyo/hu\\_HU/mitutoyo/CRYSTA-APEX%20S900%20Series/CRYSTA-Apex%20V544%20CNC%20CMM/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/191-121/index.xhtml](https://shop.mitutoyo.hu/web/mitutoyo/hu_HU/mitutoyo/CRYSTA-APEX%20S900%20Series/CRYSTA-Apex%20V544%20CNC%20CMM/$catalogue/mitutoyoData/PR/191-121/index.xhtml)
- [10] Renishaw MH20i műszaki dokumentáció (letöltve: 2024. május 21.)  
<https://www.renishaw.com/resourcecentre/en/details/Data-sheet-MH20-and-MH20i--18222?lang=en>
- [11] Renishaw programozási útmutató (letöltve: 2024. május 21.)  
<https://www.haascnc.com/content/dam/haascnc/en/service/reference/probe/renishaw-inspection-plus-programming-manual--2008.pdf>
- [12] Choi J. P., Min B. K., Lee S. J.: *Reduction of machining errors of a three-axis machine tool by on-machine measurement and error compensation system*. Journal of Materials Processing Technology, 155–156. (2004) 2056–2064.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.04.402>