

A lézer interferométer felhasználhatóságának vizsgálata 5 szabadságfokú CNC megmunkáló központ pontossági méréséhez

KOVÁCS Péter¹, MAGOSS Endre²

¹ Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Faipari Gépészeti Intézet

Kivonat

A CNC megmunkáló központ pontossága a faipari üzemekben függ a gép és a munkadarab rezgéseitől, az alapanyag minőségétől és a gép elmozdulásának pontosságától. Három további tényező hatással van a CNC központ pozicionálására: a gépváz merevsége, a vezérlés és hajtáslánc pontossága. A cél az, hogy egy háromdimenziós hibatérkép készüljön, amelyben meghatározásra kerül a munkatérben a gép pontossága és a későbbiekben pedig, ezt kiegészítve egy rezgésszint-meghatározás a gép főbb megmunkálási pozícióiban.

A mérések egy Agilent lézer interferométer segítségével történtek egy 5D-s UniTeam Professional 30 CNC megmunkáló központon, ami a Nyugat-magyarországi Egyetem Faipari Gépészeti Intézetében található meg.

A mérésekkel meghatározásra került a ferde fogazású fogasléc-fogaskerék kapcsolat működési hézaga, amikor a gép az abszolút nullpont felé közeledik az X tengelyen. Ugyanez a viselkedés figyelhető meg az Y tengelyen a golyósorsó esetében. Megállapításra került, hogy a konzolon kifele haladva egyre nagyobb pontatlanságot kapunk. A pozicionálási mérések során az is kiderült, hogy a gép útmérő és vezérlő rendszere megfelelően működik

Kulcsszavak: megmunkálási pontosság, CNC, lézer interferométer

Usability examination of laser interferometer for precision measurement on a 5 degrees of freedom CNC machining center

Abstract

The machine and workpiece vibrations, the quality of raw material and the accuracy of machine movement all affect the accuracy of the CNC working centers in the wood industry. Three additional factors influence the precision of router positioning: the rigidity of the machine; the accuracy of the machine control and the accuracy of driveline. The goal is to define a 3-dimensional error map to determine the machine positioning accuracy in the working space, and, subsequently, to find the vibration levels and spectrums of the machine by measurements.

The measurements were performed by a 5D UniTeam Professional 30 CNC working center at the Institute of Woodworking Machinery, University of West Hungary. To determine the positioning accuracy, an Agilent Laser Interferometer was used.

It has been determined that the operational gap appears by the helical gear rack engagement when the machining unit approaches zero point on the X-axis. The same behavior was investigated on the Y-axis by the ball screw as well. It has been concluded that there is a correlation between the rigidity of machine and accuracy of the displacement. Greater inaccuracy has been observed – both in the X and Y directions – on the console when the machining unit is near the endpoint and the control and linear encoder are working well.

Keywords: accuracy of CNC router, laser interferometry

Bevezetés

A CNC megmunkáló központok esetében időszakosan célszerű ellenőrizni a pozicionálási pontosságot és a rezgésviszonyokat. Az ellenőrzés időpontját célszerű összekötni a gép karbantartási periódusával. Megmunkálási hiba esetén hibafeltáró méréseket kell végezni. Szisztematikus mérések segítségével a gépállapot e jellemzői regisztrálhatóak és a változások nyomon követhetővé válnak. A mérések a gépek állapotfelméréssel módosított tervszerű megelőző karbantartásának is részét képezhetik. Ehhez az állapotfelméréshez, illetve a pozicionálási jellemzők ismeretéhez nyújt megoldást a lézer interferométerrel történő géppontossági vizsgálat (Castro and Burdekin 2003).

Normál esetben a gépkezelő a számára legkényelmesebb pozícióba helyezi fel a gépasztalra a munkasztal méreténél kisebb munkadarabot (ez legtöbb esetben a hozzá legközelebb eső hely), ezáltal a CNC megmunkológép minden esetben ugyanabban a megmunkálási térben fog dolgozni. Ez azt eredményezi, hogy a gépelemek ugyanazon szegmensei fognak folyamatos igénybevételt szenvedni. Magas szériaszám esetében működési hézagok alakulnak ki az egyes gépelemekben, és ez pontatlanságokat fog eredményezni.

A pontosság és a reprodukálhatóság a legfontosabb faktor a gyártás szempontjából, mivel a munkadarab dimenzióinak egy szérián belül, a megfelelő minőség eléréséhez egy bizonyos tőrésen belül kell maradniuk.

A faipari kutatásokkal foglalkozó szakirodalomban még nem lelhető fel a CNC megmunkáló központok pontossági vizsgálata lézer interferométer alkalmazásával. A vizsgálatokkal fel kívánjuk tárni, hogy a lézer interferométer mennyire alkalmas a CNC megmunkológépek pontosságának meghatározására. Egy megmunkálási pontossági térképet kívánunk meghatározni, amely információval szolgál a gépkezelő számára a gép állapotáról és arról, hogy melyik megmunkálási térben kapja a legkisebb pontatlanságot a megmunkálás során. Ezen megállapítások fontos információkat jelentenek a gép állapota, a javítás szükségessége tekintetében. Javítás nélkül a folyamatos igénybevételeknek köszönhetően az adott gépelemek meghibásodnak, melynek következtében a gép leáll, kiesik a gyártásból vagy további gépelemek hibásodnak meg miatta.

A mérőrendszer bemutatása

A pontossági vizsgálatok távolságmérés segítségével történtek. A pontos távolságmérés az interferometria segítségével valósítható meg, lézer interferométer alkalmazásával. A pontossági vizsgálatához egy Agilent heterodyne, He-Ne interferométert alkalmaztunk. A He-Ne lézer a gyakorlatban leggyakrabban alkalmazott folyamatos üzemi lézer. Az általa előállított fény hullámhossza 632,8 nm.

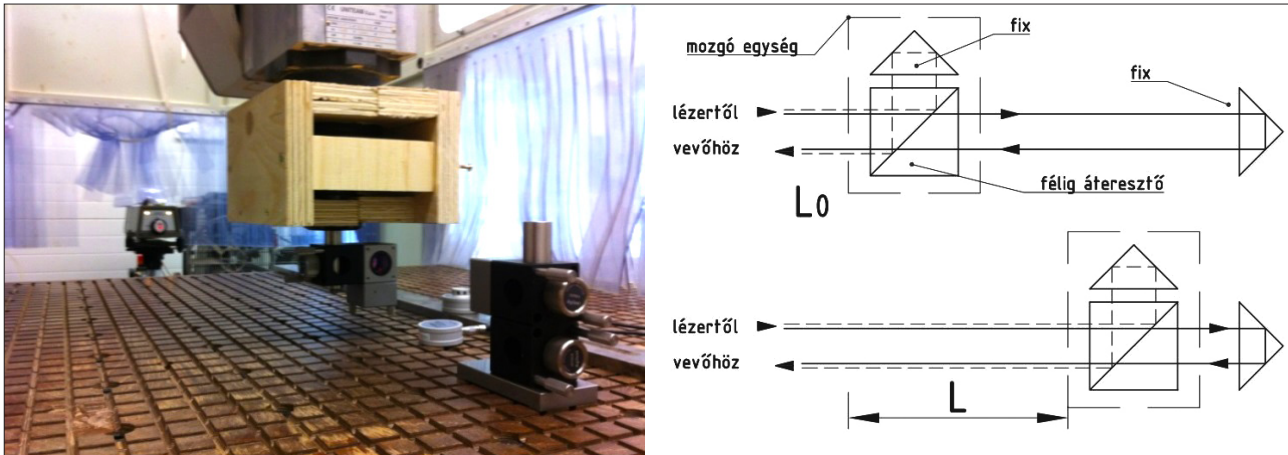
Az interferencia a hullámok találkozásánál fellépő jelenség. Ugyanazon monokromatikus fényforrás fényét osztjuk két részre, és különböző úton ugyanabba a pontba juttatjuk. Ha két fényhullám találkozásánál interferencia lép fel, akkor azt mondjuk, hogy a két hullám koherens. Ezen a módon mind az időbeli, mind a térbeli koherencia vizsgálható. A lézer interferometria alkalmazása esetünkben csupán az időbeni koherenciát követeli meg.

A tökéletes időbeli koherencia követelménye annyit jelent, hogy a kimeneteknek monokromatikusnak kell lennie. Minthogy a gyakorlatban ezt soha nem lehet tökéletesen megvalósítani, ezért az időbeli koherencia mértéke korlátozott. Az időbeni koherencia mértékét gyakran a koherenciahosszal jelölik. Ez az a távolság, amelyen belül a kimeneti intenzitásban mérhető fáziskapcsolat áll fenn. Minthogy, minden lézernek viszonylag keskeny a sávzélessége (eltérően a legtöbb egyéb fényforrástól), ezért néhány mm-től több méterig terjedő távolságra rendszerint fennáll egy bizonyos korlátozott mértékű időbeli koherencia, míg a közönséges termikus fényforrások koherenciahossza rendszerint túl kicsi ahhoz, hogy mérhető legyen (Harry 1979). Az interferenciához szükséges, hogy az útkülönbség a koherencia hosszánál kisebb legyen (Harry 1979, Giber 1999, Berta 2006).

A gyakorlatban az interferometriás mérés elve a következő: az interferométer a megmunkáló fej helyére van befogva (1. ábra). A lézerfény először egy félig áteresztő lemezen halad át. Ez a lemez részben továbbítja a fényt az asztal végén található retroreflektornak, részben pedig 90 fokban irányítja egy referencia, teljesen visszaverő prizmára. (Ez a reflektáló prizma közvetlenül a félig áteresztő lemezre van rögzítve). A tükröző prizmák a lézerfényt visszairányítják a lézer interferométerbe. A két különböző úton beérkező lézerfény interferenciájából kapjuk meg az elmozdulás mértékét. Mindezt az 1. ábrán látható rajz szemlélteti.

A méréseket kétféleképp lehet elvégezni. Az első esetben a félig áteresztő lemez marad egy helyben, a retroreflektor pedig mozog. A második esetben – amelyet a mérések során alkalmaztunk – a félig áteresztő lemez van mozgásban, a retroreflektor pedig egy fix ponton helyezkedik el.

A lineáris pontosság méréséhez figyelembe vett szabvány az ANSI/ASME B5.54, amely állványos fúró-maróműhöz, karusszel esztergához és megmunkáló központokhoz ad útmutatást.



1. ábra A mérés elrendezése

Figure 1 Arrangement of the measurement

Az ISO-230-2 nemzetközi szabványt is figyelembe vettük a mérések kivitelezése során. A szabvány a következő fő pontokat követeli meg:

- az összes (nem mozgó) szerszám tengelypozícióinak a helyzetét
- a lézerhez tartozó „alapanyag” hőmérsékletét mérő szenzornak a helyzetét
- az ún. Air szenzornak a helyzetét
- a mérés során használt effektív tágulási együtthatónak az értékét
- a környezet és a gép kezdeti és véghőmérsékletét
- annak az útvonalnak az elhelyezkedését, amely mentén a mérés történik
 - » távolság a főorsó felületétől
 - » távolság a főorsó középvonalától
 - » távolság a munkadarab rögzítésére szolgáló felülettől.

A szabvány az átlóban történő mérésekre ad még határértékeket, de az alkalmazott lézer interferométer és kiegészítő berendezései az átlóban való mérésre nem alkalmasak.

A vizsgált UniTeam Professional 30 típusú CNC megmunkáló központoknál az útmérés az ún. közvetett útmérés elvén működik. (A közvetlen útmérésnél a megtett útnak megfelelően létrehozott forgómozgást méri a berendezés.) Növekményes és abszolút rendszerek különíthetők el a közvetett mérésen belül; a vizsgált CNC gépen az előbbi került alkalmazásra (Mátyási és Sági 2009, Boza és Pintér 2011).

A vizsgált CNC megmunkáló központoknál a gépvázhoz vannak csatlakoztatva az X tengely vezetői, a fogasléc és a munkasík vezetői, amely a konzol megtartására szolgál. Az X tengely szánjának mozgását egy ferdefogazású fogaskerékkel ellátott speciálisan elhelyezett szervomotor és egy holtjáték kiegyenlítő berendezéssel ellátott lassító áttétel végzi, ami egy ferdefogazású fogaslécen fut. Az Y tengely szánja a konzolra van szerelve, amelynek a mozgását egy golyósorsó és egy szervomotor biztosítja. A Z tengely az Y tengely mozgató szánjára van rögzítve, amelyen a megmunkáló aggregát és az elszívás helyezkedik el. A Z irányba a mozgatót egy szervomotor, egy golyós orsó és egy holtjáték nélküli csiga végzi el. A gépvázra nagy szilárdságú rétegelt lemez raszter asztal van felhelyezve, amely a munkadarab megfogását vákuum segítségével biztosítja.

A számítógép a megmunkáló szerszámot a meghatározott pozícióba mozgatja, miután a gépkezelő beállítja az útvonalat és a megmunkálási paramétereket (szerszám fordulatszám, előtolási sebesség). A vizsgálatok során meghatároztuk, hogy hogyan képes befolyásolni a gép szerkezete, a mozgató egységek, az útmérő egységek és a megmunkáló fej mozgása az előre meghatározott pozíció pontos elérését. Megállapítottuk, hogy milyen mértékben térnek el az előre meghatározott paraméterektől, azaz a ténylegestől a mért értékek.

Mérési eredmények és értékelésük

Először az X tengely mentén történt mérés. A relatív nulla pont koordinátája az abszolút koordináta rendszerben ($x=450$; $y=-1523$; $z=-402$). Ettől a ponttól a raszter asztal hosszában 50 mm-es lépésekkel kerültek

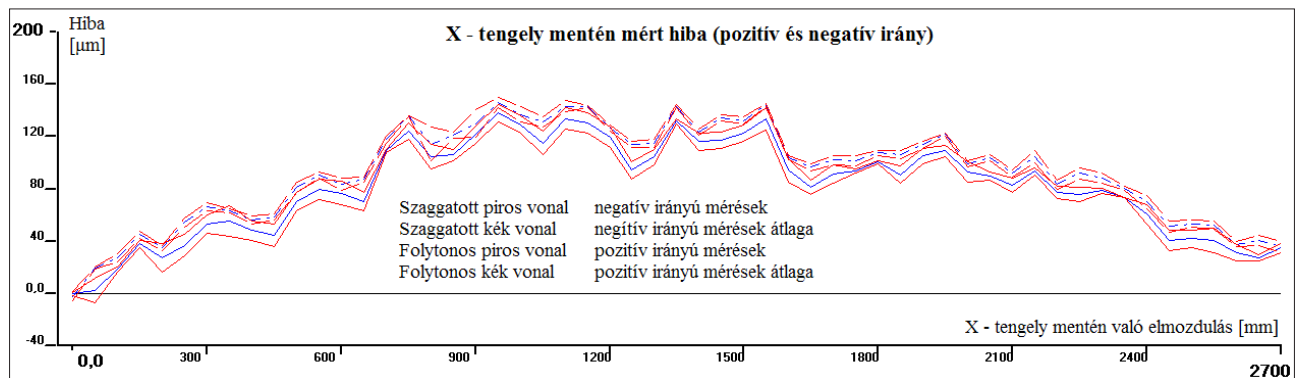
meghatározása a mérési pontok, egészen 2700 mm-ig. Mind a relatív null ponttól távolodva (pozitív irány), mind pedig a null ponthoz közeledve (negatív irány) pontonként 3-3 mérést végeztünk. Ezen mérések adatai és átlaguk látható a 2. ábrán.

Az első mérésnél megfigyelhető a pozitív és negatív irány közt egy hiszterézis, amely ebben az esetben azt jelenti, hogy a kiindulási pontokban a hibaértékek megegyeznek és alacsonyok, viszont a pozitív irányban mért hibák a negatív irányban mért hibák alatt vannak. Ez mutatja, hogy a fogaskerék-fogasléc kapcsolat működési hézaga melyik irányban jelenik meg. Továbbá az látható, hogy a relatív koordináta rendszerben 700 és 2100 mm között a hibaértékek kimagaslóak az előtte és utána mért hibaértékekhez képest. A maximális hiba értéke 147 μm .

A méréseket az Y tengely mentén is elvégeztük. Az Y tengelyen a relatív nullpont a ($x = 718$; $y = -1525$; $z = -402$) volt. A raszter asztalon kereszt irányban 1100 mm hosszan, 3-3 mérés történt 50 mm-es léptékkel. A 3. ábrán a pozitív és negatív irányú méréseket és az átlagokat szemléltetjük.

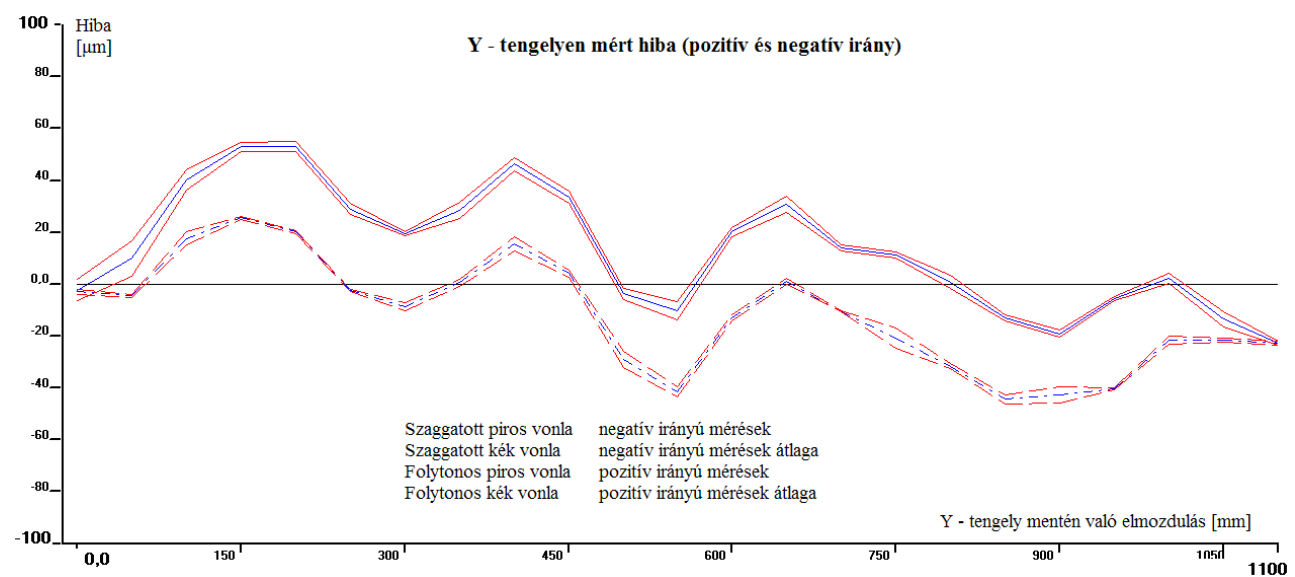
A Y tengely mentén történő mérésnél is látható a hiszterézis, amely a golyós orsó előfeszítését mutatja. A hibaértékek mind pozitív mind negatív irányban jelentkeztek. Ez azt jelenti, hogy egy elmozdulás vagy rövidebb volt vagy hosszabb, mint a beprogramozott 50 mm. A pozitív irányú maximális hiba 56 μm , a negatív irányú maximális hiba 42 μm . A nagyobb hibák akkor láthatóak, amikor a megmunkáló fej a konzolon kifele halad. Ez a konzol lehajlásából, lengéséből adódhat.

A harmadik ún. pozícióra állási mérés szintén az Y tengely mentén folyt. A vizsgálat nullpontja és végpontja megegyeztetett az előzőével, viszont csak egy köztes pont volt és 5-5 ismétlés lett végrehajtva irányonként. A mérések eredménye látható a 4. ábrán.



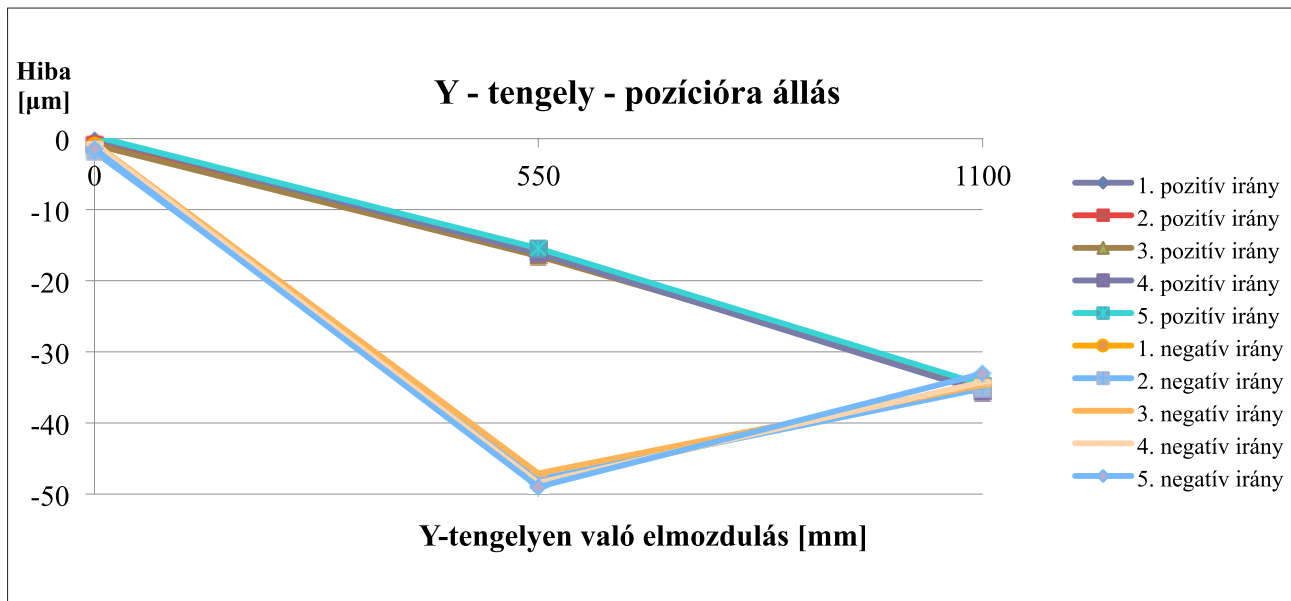
2. ábra Az X tengelyen mért pozitív és negatív irányú elmozdulások hibái

Figure 2 The measured errors on X-axis (positive and negative directions displacements)



3. ábra Az Y tengelyen mért pozitív és negatív irányú elmozdulások hibái

Figure 3 The measured errors on Y-axis (positive and negative directions displacements)



4. ábra Y tengelyen a pozíciótartás mérése

Figure 4 Position measurement on Y axis

A pozícióra állás mérésénél is megjelenik a hiszterézis, tehát a golyós orsó előfeszítése itt is megfigyelhető. Az irányonkénti 5 mérésnél a szórás 550 mm pozitív irányú elmozdulásnál $1,15 \mu\text{m}$, negatív irányba való elmozduláskor $1,89 \mu\text{m}$. A maximális hiba pozitív irányú elmozduláskor $16 \mu\text{m}$, negatív irányú elmozduláskor pedig $49 \mu\text{m}$.

Következtetések

Megállapításra került, hogy a lézer interferometriás mérés alkalmas a faipari CNC megmunkáló központok állapotának felmérésére, viszonylag gyors és egyszerű módon.

A tengelyenkénti – közel a teljes megmunkálási területet magába foglaló – méréseknél elmondható, hogy a fogaskerék-fogasléc kapcsolat a szerkezet abszolút koordináta rendszere szerint $x=1150 - x=2550$ mm-es részén kopott. Közel van ahhoz, hogy a megmunkálási pontosságot már befolyásolja, a kapcsolat karbantartása szükséges.

A golyós orsóval szerelt Y tengelyen a két mérési pont közt mért legnagyobb hiba $38 \mu\text{m}$, amely $y=-1075 \text{ mm}$ és $y=-1025 \text{ mm}$ (relatív koordináta) között volt, feltehetően a golyós orsó ezen a részen van a legtöbbet igénybe véve, itt alakult ki a legnagyobb kopás. A hiba mértéke a megmunkálást csak kis mértékben befolyásolja. Továbbá elmondható, hogy a konzolon kifelé haladva a hibaértékek növekednek, melyet mindenképpen figyelembe kell venni a megmunkálás során.

A golyós orsón mért pozícióra állások azt mutatják, hogy az útmérő rendszer hibája és a tengelyen az adott pontban való kopás alacsony.

A mérési eredmények rávilágítanak arra, hogy fontos figyelni a gép mozgatószerkezeteinek egyenletes igénybevételére, a pozicionálási hibák minimalizálása mellett. A gépkezelő tudatában lesz az egyes vezetékek hibáinak, azaz a munkadarab gépasztalra való felhelyezésekor figyelembe veheti a mért adatokat (természetesen nem a teljes munkatérben való megmunkáláskor).

Az elvégzett és bemutatott mérések a laptermékes megmunkáláshoz adnak kézzel fogható eredményeket. A továbbiakban a Z tengely vizsgálatának elvégzése és bemutatása szükséges a háromdimenziós testek megmunkálási pontosságának feltérképezéséhez. A CNC gépek megmunkálási pontosságának megállapítása érdekében a pozicionálási vizsgálatokat célszerű kiegészíteni dinamikus, ún. túllendülési és rezgésvizsgálatokkal. Az így kapott komplex mérési eredmények nagy segítséget nyújtanak a gép működtetésére, karbantartására és élettartamára nézve.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Talentum Műhely – a tudományért és tehetségekért a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP 4.2.2.B-15/1/KONV-2015-0005 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

H. F. F. Castro, M. Burdekin (2003) Dynamic calibration of the positioning accuracy of machine tools and coordinate measuring machines using a laser interferometer - International Journal of Machine Tools & Manufacture 43; pp. 947–954.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S089069550300083X>

Mátyási Gy., Sági Gy. (2009) Számítógéppel támogatott technológiák (CNC, CAD/CAM). Műszaki Kiadó, Budapest, pp. 26.

Boza P., Pintér J. (2011) Gyártásautomatizálás – Széchenyi István Egyetem, Győr

Berta M. (2006) Mézerek és lézerek – Széchenyi István Egyetem, Győr

Giber J., Sólyom A., Kocsányi L. (1999) Fizika mérnököknek I–II. Egyetemi tankönyv, Műegyetemi Kiadó, Budapest

J. E. Harry (1979) Ipari lézerek és alkalmazásuk. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. pp. 31.

ASME B5.54. (1992) Methods for Performance Evaluation of Computer Numerically Controlled Machining Centers

ISO-230-2:2014(E). Test code for machine tools – Part 2: Determination of accuracy and repeatability of positioning of numerically controlled axes. Fourth edition: 2014.05.01.