

MISKOLCI EGYETEM  
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR



**PRECÍZIÓS LÉZERINTERFEROMETRIKUS  
MOZGÁSANALIZÁLÁSI MÓDSZEREK MÉRNÖKI  
ALKALMAZÁSOKKAL**

PhD ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

KÉSZÍTETTE:

**BÉRES MIKLÓS**

okleveles gépészmérnök

SÁLYI ISTVÁN GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA  
GÉPÉSZETI ALAPTUDOMÁNYOK TÉMATERÜLET  
SZILÁRD TESTEK MECHANIKÁJA TÉMACSOPORT

DOKTORI ISKOLA VEZETŐ

**Vadászné Prof. Dr. Bognár Gabriella**

az MTA doktora, egyetemi tanár

TÉMACSOPORT VEZETŐ

**Prof. Dr. Szeidl György**

egyetemi tanár

TUDOMÁNYOS VEZETŐ

**Prof. Dr. Paripás Béla**

egyetemi tanár

**Miskolc**

**2022**

## **BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG TAGJAI:**

Elnök: **Prof. Dr. Jármai Károly,**  
DSc, egyetemi tanár, Miskolci Egyetem

Titkár: **Dr. Majár János,**  
PhD, egyetemi docens, Miskolci Egyetem

Tagok: **Dr. Varga Gyula,**  
PhD, egyetemi docens, Miskolci Egyetem

**Dr. Nagy Róbert,**  
PhD, Projekt Osztály vezető, Robert Bosch GmbH, Miskolc

**Dr. Juhász Zoltán,**  
PhD, tudományos főmunkatárs, MTA Atommag Kutató Intézet (ATOMKI),  
Debrecen

## **HIVATALOS BÍRÁLÓK:**

**Dr. Nagy Attila,**  
PhD, tudományos főmunkatárs, Wigner Fizikai Kutatóközpont

**Dr. Hegedűs György,**  
PhD, egyetemi docens, Miskolci Egyetem

## TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS .....	4
2. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK .....	6
3. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK .....	9
4. IRODALMI HIVATKOZÁSOK .....	10

## 1. BEVEZETÉS

A Michelson-interferométer a precíziós elmozdulás mérés legősibb eszköze [1]. Hagyományos fényforrásokkal már a XIX. század végétől használták, de a lézerek feltalálásával az 1960-as évektől kezdve ez a módszer is új erőre kapott. A Miskolci Egyetem (korábban Nehézipari Műszaki Egyetem) Fizikai Tanszéke és a Wigner Fizikai Kutatóközpont (korábban Központi Fizikai Kutató Intézet) az 1980-as években kifejlesztett egy precíziós lézerinterferometrikus elmozdulásmérőt (LI03) [2], [3]. Az eszköz működési elvéből következően – melyet a későbbiekben részletezünk – hitelesítés nélkül is pontosan méri az elmozdulást, és a mikronos felbontású adatokból pontosan számítható a pont sebessége (megfelelő szoftveres háttér mellett).

A megépített két berendezés egyikét egyetemünk Fizikai Tanszékén oktatási célokra használtuk. Ez a készülék még nem mozgásanalizátor volt, hanem csak egy elmozdulásmérő, amely az elmozdulás adatokat  $\frac{1}{4}$  másodpercenként kijelezte. A másik berendezést már tekinthettük mozgásanalizátornak, mert a mérési adatok egy saját gyártmányú mérőkártyán keresztül egy számítógépbe kerültek, amely feldolgozta azokat. Ezt az analizátort a Szerszámgépek Tanszékén (ma Szerszámgépezeti és Mechatronikai Intézet) hosszú ideig sikeresen használták szerszámgépeken igen finom mozgások tanulmányozására (például stick-slip) [3]. Az analizátorok lelke, a lézer, az optika és a detektorok ugyan túléltek az elmúlt három-négy évtizedet, de a vezérlést, a mérési adatok gyűjtését végző elektronika nagyon elavult, csak részben működött, és egyáltalán nem volt illeszthető a mai korszerű számítógépekhez. Ezen okok miatt határoztuk el pár éve az analizátor vezérlő- és adatgyűjtő rendszerének felújítását a mai kor követelményeinek megfelelően. Ez praktikusán egy korszerű mérőkártya mérőrendszerbe integrálását (hardveres fejlesztés) és egy igényeinkhez igazított LabView mérőprogram megírását (szoftveres fejlesztés) jelentette. Én ezen a ponton kapcsolódtam be a fejlesztésekbe. A cél két olyan korszerűsített eszköz létrehozása, amelyek jó alapot adhatnak a módszer, ill. a módszer mérnöki alkalmazásainak további fejlesztéséhez.

Jól definiált mérnöki alkalmazásokhoz természetesen kiváló lézerinterferometrikus eszközök kaphatók a kereskedelemben is. Az általunk használt LDV és LTV eszköz is ilyen volt. Erős korlátokba ütközünk azonban, ha az alkalmazások fejlesztése a célunk, mert a kereskedelemben kapható eszközök rugalmatlanok; geometriájuk, mérőprogramuk, a kapott mérési adatok típusa nem változtatható. Ráadásul a javításuk reménytelen vállalkozás (garanciális időn túli meghibásodásuk esetén). Ezen okok miatt például a kereskedelmi LDV eszközünk ma részben a saját fejlesztésű mérő- és adat gyűjtő rendszerrel fut. A saját fejlesztések segítenek az eszközök működésének mélyebb megértésében, illetve az eszközök és alkalmazásainak tanítása során is.

A lézerinterferometrikus eszközök távolról, nagy pontossággal és megbízhatósággal képesek mérni a mozgás paramétereit. Például az elmozdulást minimum  $0,1\mu\text{m}$  pontossággal, erre a

pontosságra azonban a legtöbb mérnöki alkalmazásban nincs szükség. Ugyanakkor ezek az eszközök igen kényesek az elhelyezésükre (pl. rezgésmentes asztal), nem miniatürizálhatóak tetszés szerint, és eléggé drágák is. Ezen okok miatt jelenleg még számos mérnöki területen nem tekintik őket valóságos alternatívának. Részben ilyen az általunk választott két terület is: a gépipari fúrásoknál fellépő fúrósár rezgések és az épületek falainak szubmikronos rezgéseinek lézerinterferometrikus vizsgálata. Ilyen értelemben ez a disszertáció tekinthető egyfajta útkeresésnek is.

## 2. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

T1. A fejlesztő team tagjaként részt vettem a Fizikai Tanszéken 1980-as években a Központi Fizikai Kutató Intézettel közösen kifejlesztett Michelson típusú lézerinterferometrikus elmozdulásmérők felújításában, amellyel lézerinterferometrikus mozgásanalizátorokat (LIMA) hoztunk létre az elmozdulásmérőkből.

- a) A projekt elején a koncepció kialakításában, a megvalósulás során a LIMA-ban lévő He-Ne lézereink egymódusú működésének visszaállításában, hőmérsékleti munkapontjának beállításában, s végül a rendszer Fabry-Pérot interferométerrel történő ellenőrző méréseiben vettem részt. A korszerűsített eszközök immár nemcsak laboratóriumi körülmények közti mérésekre alkalmasak, hanem a mechanikai megmunkálások során fellépő, lézersugár irányába eső mozgások analizálására, valamint terepen alkalmazott eszközök hitelesítésére is.
- b) A kereskedelmi LDV és a korszerűsített saját készítésű LIMA eszköz összemérésével laboratóriumi körülmények között teszteltük a LIMA eszköz megbízhatóságát és az LDV eszköz gyári kalibrációjának a pontosságát. Az összemérés eredménye, hogy a saját gyártmányú rezgésmentes asztalon összeállított LIMA a saját mérőági sarokprizmájának rezgéseit az LDV egy 2 %-os hibahatáron belül képes mérni az optimális tartományban. Az eltérés oka a két mérési módszer különbözősége.
- c) Megállapítottam, hogy az LDV alkalmasabb a pillanatnyi sebességek meghatározására, mint az elsődlegesen elmozdulást mérő LIMA. Különösen igaz ez azokra a rezgésekre, ahol a sebesség 0,1 mm/s alatt marad. [FC2], [FC3], [KC1], [E1], [E2]

T2. Megállapítottam, hogy a tokmányba fogott és megpendített fűrészárak keresztirányú szabad rezgéseit általában két, egymáshoz közeli (néhány %-on belüli) frekvenciájú komponens szuperpozíciójából származó lebegés dominálja, amelyek a fűrészárak horonyvég irányú és az arra merőleges keresztirányú rezgéséhez tartoznak. Ez főleg a fűrészár lézersugárra merőleges koppintás utáni rezgése esetén igaz, ekkor a rezgések harmonikusak. Lézersugár irányú koppintás esetén az első rezgések erősen anharmonikusak.

- a) A fűrészárakat egyik végén befogott kör keresztmetszetű hengeres rudaknak tekintve modelleztük a rezgéseket. A hangvilla modell a 9mm átmérőjű fűrészár szabad rezgéseinek frekvenciáit pár százalékon belüli pontossággal megadja, a vastagabb (10 és 12mm-es) fűrészárak esetében viszont 15-20%-kal felülbecsli.

- b) Mérési eredményekkel támasztottam alá, hogy a fúróvég megtámasztása a rezgési frekvenciát kb. 2,7-szeresére növeli, szemben a hengeres rudakra elméletileg levezetett 4,37-szeres értékkel, ugyanakkor a fúrószár tokmányból kintebb húzása csökkenti a rezgési frekvenciákat kb. olyan arányban, ahogy a fúró tokmányon kívüli hossza növekedett.
- c) Igazoltam, hogy a koppintás típusa is jelentős hatással van a rezgési spektrumra. A tompa eszközzel végzett gerjesztés az alapfrekvenciákat, a karakterisztikusabb gerjesztés pedig számos további magasabb frekvenciájú rezgést is eredményezett. [FC9], [E7]

T3. Használatban lévő esztergán végzett fúrás során fúrószár rezgéseit mértem LDV módszerrel. Az alábbi következtetésekre jutottam:

- a) különböző fúrási szakaszokat a rezgési sebességamplitúdó változása alapján különítettem el, ezek a szakaszok jól egyeznek a fúrás paramétereit alapján számított szakaszokkal is.
- b) A fúrás kezdetén és a végén (a kihúzási szakaszban) éles frekvencia csúcsok látszanak: a 9 mm-es fúró esetében kb. 570 Hz, a 12 mm-es fúró esetében pedig kb. 450 Hz. Ezek a szabad hegyű fúró szabad rezgéseiként azonosíthatóak.
- c) A fúrás érdemi szakaszában a megtámasztott hegyű fúró elmosódott rezgései dominálnak (12mm. kb. 1,3kHz), vagy legalábbis láthatóak (9mm: kb. 1,7kHz). Ugyanakkor a két mérési sorozat eredményei jelentősen eltéréseket is mutatnak. Úgy gondoljuk, hogy az eltérés oka valószínűleg a burkolatajtó zártsága/nyitottsága. [FC4], [FC5], [KC2], [E3], [E4], [E6]

T4. Esztergán végzett fúrás során fúrószár torziós rezgéseit mértem Lézeres Torziós Rezgésmérővel (LTV). Ilyen jellegű méréseknek a szakirodalmi kutatásaim során nem találtam nyomát. Az LTV eszköz paramétereit, felhasználási feltételeit és egyéb okok miatt a fúrószár lineáris rezgéseit is megváltoztak. Ezért az eszköz LDV-vel történő összehasonlításához újabb LDV mérések kerültek elvégzésre.

Megállapítottam, hogy az LTV készülékkel végzett mérés eredményeiből kiemelhető a 4400Hz, ill. 5600Hz környékén jelentkező torziós rezgés. Továbbá a spektrumban jelen van egy kisebb frekvenciájú torziós rezgéscsoport is. Ezek jól egybeesnek a fúró fordulatszámának (13.3 1/s) felharmonikusával, amelyek ún. pseudo-rezgések lehetnek. [FC4], [FC5], [E6], [E7]

T5. Épület rezgések LDV módszerrel történő mérése során a következőket állapítottam meg:

- a) Villamos elhaladása által kiváltott rezgéseket mértünk egy belvárosi épület utcai főfalán, ablaküvegének belső oldalán, valamint az épület belső falán. A mérési eredmények alapján elmondható, hogy a falak rezgéseiben a 40-50 Hz-es rezgések domináltak, az ablaküveg kb. két nagyságrenddel nagyobb rezgéseiben pedig a 75 Hz.
- b) A második mérési sorozatban az egyetem A/2 épülete falainak rezgései lettek megmérve. Az épület tartófalainak rezgései folyamatosan a lézerinterferometrikus eszközeink mérési küszöbjei fölött voltak. A kapott rezgési amplitúdók tipikusan a 0,1 – 1  $\mu\text{m}$  tartományba, a sebesség amplitúdók pedig az 1-10  $\mu\text{m/s}$  tartományba esnek.
- c) A tartófalak rezgései spektrumaiban 6-7Hz körüli frekvenciájú keresztirányú rezgések dominálnak. (több mint 97% ában ez a legnagyobb amplitúdójú komponens).
- d) A vizsgált épület keresztirányú rezgését lokális fizikai tevékenységgel (ugrálás, futkosás) nem lehet befolyásolni.
- e) A lokális tevékenységek egyes épületelemek rezgését okozzák, amelyek frekvenciája ettől nagyon eltérő (2Hz, 30-40Hz, 56-60Hz).
- f) Az épület rezgéseknek tipikus napi ill. heti menetét figyeltem meg. Az épület rezgések éjjel a legkisebbek, de egész éjszaka mérhető marad (stabilan kb. 0,001mm/s). Ezek a rezgések hétköznap nappal a legnagyobbak, de erősen ingadozóak 0,003 0,006mm/s átlagértékkel. [FC10], [KC4], [E8]



### 3. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN ELHANGZOTT ELŐADÁSOK ÉS ELKÉSZÜLT TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

#### 3.1 FOLYÓIRATCIKK

- [FC1] *Béres, M.*: Fúrás során fellépő nemlineáris rezgés vizsgálata. Multidiszciplináris Tudományok, In: A Miskolci Egyetem Közleménye Vol 3, No 1, pp. 297-304, 2013. ([2062-9737](#) [2786-1465](#))
- [FC2] *Béres, M., Majár, J., Rónai, L., Paripás, B.*: Precíziós sebességmérés lézinterferometrikus módszerrel. Multidiszciplináris Tudományok, In: A Miskolci Egyetem Közleménye, Vol 6, No 1, pp. 9-19, 2016. ([2062-9737](#) [2786-1465](#))
- [FC3] *Béres, M., Paripás, B.*: Comparison of two laser interferometric methods for the study of vibrations. In: Lecture Notes in Mechanical Engineering, F12, pp. 205-216, 1<sup>st</sup> Vehicle and Automotive Engineering, Miskolc, Hungary, 2017. ([2195-4356](#) [2195-4364](#))
- [FC4] *Béres, M., Paripás, B.*: Measurement of vibration by laser Doppler method in the course of drilling. In: Lecture Notes in Mechanical Engineering, F12, pp. 199-208, 2<sup>nd</sup> Vehicle and Automotive Engineering, Miskolc, Hungary, 2018. ([2195-4356](#) [2195-4364](#))
- [FC5] *Béres, M., Paripás, B.*: Measuring of drill bit vibration by laser Doppler methods. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1757-899X, Vol 448, 23<sup>rd</sup> International Conference on Manufacturing, 7-8 June 2018, Kecskemét, Hungary
- [FC6] *Paripás, B., Béres, M., Csörgő, Á.*: Indítomotorok kefekopásának mérése precíziós optikai módszerekkel I. Multidiszciplináris Tudományok, In: A Miskolci Egyetem Közleménye, Vol 10, No 4, pp. 253-261, 2020. ([2062-9737](#) [2786-1465](#))
- [FC7] *Béres, M.*: Lézeres mérések alkalmazása forgácsoláskor, Monitoring és a lézeres érzékelők. Multidiszciplináris Tudományok, In: A Miskolci Egyetem Közleménye, Vol 10, No 4, pp. 424-433, 2020.
- [FC8] *Béres, M.*: Lézeres mérések alkalmazása forgácsoláskor, Fúrás, marás és esztergálás lézeres vizsgálata. Multidiszciplináris Tudományok, In: A Miskolci Egyetem Közleménye, Vol 10, No 4, pp. 452-462, 2020.
- [FC9] *Béres, M., Jenyó, T., Paripás, B.*: Tokmányba fogott fúrószár szabad rezgéseinek mérése lézer Doppler módszerrel. Multidiszciplináris Tudományok, In: A Miskolci Egyetem Közleménye, Vol 11, No 4, pp. 287-300, 2021.
- [FC10] *Béres, M., Jenyó, T., Majár, J., Paripás, B.*: A Miskolci Egyetem A/2 épülete rezgéseinek mérése lézinterferometrikus módszerekkel. Multidiszciplináris Tudományok, In: A Miskolci Egyetem Közleménye, Vol 11, No 5, pp. 195-205, 2021.

#### 3.1 KONFERENCIACIKK

- [KC1] *Béres, M., Paripás, B.*: Lézeres módszerek a mechanikai rezgések analizálására. Doktoranduszok Fóruma 15-17 Nov 2016, Miskolci Egyetem (ISBN:978-963-358-127-1)
- [KC2] *Béres, M., Paripás, B.*: Fúrószár rezgéseinek mérése lézer Doppler módszerrel, In: Kékesi Tamás (szerk.) MultiScience - XXXI. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference. 2017, Paper C2/4, p.9 (ISBN:978-963-358-132-2) Miskolc, Hungary, 2017.
- [KC3] *Béres, M., Paripás, B.*: Optical methods for micrometer resolution distance measurements. In: Kékesi Tamás (szerk.) MultiScience - XXXII. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference. 5-6 Sept 2018, Paper C1/5. Miskolc, Hungary, 2018.

- [KC4] *Paripás, B., Palásthy, B., Majár, J., Béres, M.*: Épület rezgések mérése lézerinterferometrikus módszerekkel, In: Kékesi, Tamás (szerk.) MultiScience - XXXIII. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference, Miskolc-Egyetemváros, Magyarország : Miskolci Egyetem, Paper: C1-7, p.7, 2019.
- [KC5] *Majár, J., Béres, M.*: Különböző alátámasztások hatása a lézer doppleres mérések szisztematikus hibáira. In: Kékesi Tamás (szerk.) MultiScience - XXXIII. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference. 23-24 May, Paper C1-8, Miskolc, Hungary, 2019. p.7, 2019.

### 3.3 SZAKMAI ELŐADÁS

- [E1.] *Béres, M., Paripás, B.*: Lézeres módszerek a mechanikai rezgések analizálására. Doktoranduszok Fóruma, 15-17 Nov 2016, Miskolci Egyetem, (magyar), 2016.
- [E2.] *Béres, M., Paripás, B.*: Comparison of two laser interferometric methods for the study of vibrations. 1st International Conference on Vehicle and Automotive Engineering, 17-18 Nov 2016, University of Miskolc, (angol), 2016.
- [E3.] *Béres, M., Paripás, B.*: Fúrószerű rezgéseinek mérése lézer Doppler módszerrel. MultiScience - XXXI. microCAD, International Multidisciplinary Scientific Conference, 20-21 April 2017, Miskolci Egyetem, Miskolc (magyar), 2017.
- [E4.] *Béres, M., Paripás, B.*: Csigafúró forgácsolás közbeni rezgéseinek vizsgálata lézer Doppleres méréssel. Doktoranduszok Fóruma 26 Nov 2017, Miskolci Egyetem, (magyar), 2017.
- [E5.] *Béres, M., Paripás, B.*: Mozgásanalizálás lézerinterferometrikus módszerrel. Természettudományi Konferencia a Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából, 29 Nov 2017, Miskolci Egyetem, (magyar), 2017.
- [E6.] *Béres, M., Paripás, B.*: Measurement of vibration by laser Doppler method in the course of drilling. 2nd International Conference on Vehicle and Automotive Engineering, 23-25 May 2018, University of Miskolc, Hungary (angol), 2018
- [E7.] *Béres, M., Paripás, B.*: Measuring of drill bit vibration by laser Doppler methods. XXIII. Manufacturing Conference 7-8. June 2018, Kecskemét, Hungary (angol), 2018.
- [E8.] *Paripás, B., Palásthy, B., Majár, J., Béres, M.*: Épület rezgések mérése lézerinterferometrikus módszerekkel, In: Kékesi, Tamás (szerk.) MultiScience - XXXIII. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference, Miskolc-Egyetemváros, Magyarország : Miskolci Egyetem (2019)
- [E9.] *Majár, J., Béres, M.*: Különböző alátámasztások hatása a lézer doppleres mérések szisztematikus hibáira. XXXIII. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference. 23-24 May 2019, Miskolci Egyetem, Miskolc (magyar), 2019.

## 4. IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] *Budó, Á., Mátrai, T., Hornyák, L.*: Kísérleti fizika. Vol III, Optik. Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., Budapest, 1999.
- [2] *Czitrovsky, A.*: LI-03 típusú szubmikronos lézerinterferométer kezelési és karbantartási könyv. Budapest, 1998.
- [3] *Jani, P., Czitrovsky, A., Szótér, L., Tajnafői, L., Barna, B., Molnár, L.*: A laser interferometric motion analyser system and some of it's applications. Publication of the University of Miskolc, Vol 1, pp. 17–24, 1999.