

# MTA-BME GÉPEK ÉS JÁRMŰVEK DINAMIKÁJA KUTATÓCSOPORT

**STÉPÁN GÁBOR**, az MTA rendes tagja

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 5.

Tel: 463-1369, Fax: 463-3471, E-mail: [stepan@mm.bme.hu](mailto:stepan@mm.bme.hu)

<http://www.mm.bme.hu/~gjd>

## 2014. évi tudományos beszámoló

### I. A kutatóhely fő feladatai 2014-ben

A kutatócsoport öt éves kutatási tervében a *közlekedés biztonságának növelése* témakörben a gumikerék deformációknak a gördülés stabilitására gyakorolt hatásának elemzése és a száraz súrlódásos oszcillátor vizsgálata mellett szeleprezgésekkel és anyagi instabilitással kapcsolatos kutatás is szerepelt, de forráshiány miatt ez utóbbi két téma művelése nem indult el. A **kerék-talaj kapcsolat** vizsgálata résztémában a számítások azt mutatták, hogy a kerékköpeny deformációja a korábban vártnál jobban befolyásolja a stabilitást. Ezért a tervezett numerikus módszerek kidolgozása helyett sok korábban felállított modellt is megvizsgáltak a kutatók, ezt a hatást is figyelembe véve. A gerjesztett **száraz súrlódású oszcillátor** vizsgálata kapcsán a bifurkációk és a reálisabb súrlódási modellek elemzése a kutatási tervnek megfelelően haladt, a kísérleti eszköz gyártása folyamatban van. A két elmaradt téma helyett egy gyakorlatiasabb kutatási projekt, egy ún. **vibroaktuátor** fejlesztése kezdődött meg. Az eszköz prototípusa elkészült, tökéletesen működik. A *közlekedéssel kapcsolatos technológiák termelékenységének növelése* témakörben a forgácsoló technológiák fejlesztése és a robotok digitális szabályozása volt a két legfontosabb résztéma. A **forgácsolás** kapcsán a stabilitásvizsgálat különböző megmunkálásokra történő kidolgozása helyett a marás és az esztergálás stabilitásának numerikus és kísérleti módszereinek kidolgozása történt meg, annak gyakorlati fontossága miatt. Mivel ez a résztéma – egy európai uniós pályázathoz kötődően – kikerült a kutatócsoport témái közül, az **alulaktuált robotokkal** kapcsolatos kutatómunka vált hangsúlyosabb feladattá és a téma címe *robotok és számítógéppel szabályozott gépek dinamikája* lett. A munkatervnek megfelelően születtek mind kísérleti, mind elméleti eredmények ebben a résztémában. A **digitális szabályozás** kapcsán a munkatervben szereplő, többdimenziós esetekre vonatkozó káosz-bizonyítások helyett egy hatékony számítógépes program készült, mely dimenziótól függetlenül képes a fázistér struktúrájának feltérképezésére és a szabályozási hiba becslésére.

### II. A 2014-ben elért kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények

a) **Kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények.** A *robotok és számítógéppel szabályozott gépek dinamikája* témakörben előtérbe került a **robotok szabályozásának** vizsgálata. Az **alulaktuált** robotok dinamikájának leírásához az összetett mechanikai rendszereknél szokásos természetes koordináták használata mellett az általánosítás érdekében úgynevezett szervó kényszerek kerültek bevezetésre. Az így kapott, differenciál- és algebrai egyenletekből álló mozgásegyenlet stabilitási tulajdonságainak meghatározása volt az egyik fontos eredmény. A robot feladatának időmegosztásán alapuló módszer segítségével a kutatók részlegesen fel tudták oldani az alulaktuáltság által előidézett szabályozási problémát. A bevezetett algoritmus lényegesen eltér a hagyományos eljárásoktól, ezért a kutatócsoport elkezdte az időmegosztás stabilitásra gyakorolt hatásának vizsgálatát is. Tudományos diákköri munka keretében a beavatkozó jel módosításán alapuló (input shaping) szabályozást használó daru prototípus készült. A kísérleti szerkezet lehetővé teszi a mozgatótt teher rezgéseinek

csökkentésére és a beállási idő lerövidítésére irányuló kísérleti vizsgálatokat. A kutatócsoport munkatársai irányítása mellett kifejlesztésre került egy önálló navigációra képes jármű robot is. A lépegető robotokkal kapcsolatban elért eredmények alapján folytatódott az emberi futás vizsgálata. Ennek keretében futókról készített videokamerás felvételek alapján egy dinamikai modell segítségével elemezték a kutatók a testre ható ütésszerű terheléseket, a szükséges izommunkát és a futáshoz szükséges energia igényt. Ehhez képfeldolgozó és többtest dinamikai számításokat végző algoritmusokat fejlesztettek ki. Azt is megvizsgálták, hogy az emberi test paraméterei hogyan befolyásolják az optimális mozgást különböző célfüggvények esetén. Pl. rövid távú futás esetében a nagy sebesség elérése, míg a hosszú távú futás esetében az energiatakarékosság a fő cél. Az eredmények alapján sportolók mozgásának elemzésével csökkenthető az esetleges sérülések kockázata, valamint gyorsabb fejlődés érhető el.

A munkatervnek megfelelően folytatódott a **digitális szabályozásokat** jellemző kérés, mintavételezés és kerekítési hiba kaotikus rezgésekhez vezető hatásainak elemzése is. Megtörténtek az első kísérletek a mikro-kaosz kísérleti kimutatására alkalmas berendezéssel. A mért adatok nemlineáris idősor elemzése az eszköz módosításának szükségességére mutatott rá, ami folyamatban van. A száraz súrlódás többször megállította a kis kiterésű rezgéseket, ezért a kutatók ezt a hatást is figyelembe vették a modellben. Cella leképezéssel végzett vizsgálatok szerint száraz súrlódás jelenlétében is kialakulhat mikro-kaosz és a fázistérben számos különféle szerkezetű attraktor vagy repellor is létezhet. 2014 fontos eredménye volt a különféle struktúrák paramétertartományainak – és az ezekhez tartozó bifurkációknak – a feltérképezése. Az eredmények alapján pontosabban meg lehet becsülni a szabályozási hibát. Egyes paramétertartományokban a digitálisan szabályozott rendszer speciális konkáv burkológörbéjű rezgést mutatott, amire sikerült magyarázatot adni. A kutatók meghatározták, hogy a digitális hatások mennyire növelik meg a beállási időt.

**A forgácsoló technológiák fejlesztése** téma művelését a csoport korábbi munkatársai a kutatócsoporton kívül folytatják, mert – jelentős részben a kutatócsoportban korábban elért eredmények elismeréseként – a kutatócsoport vezetője egy European Research Grant pályázatot nyert a forgácsolás dinamikai vizsgálatával kapcsolatban.

*A közlekedés biztonságának növelése* témakörben folytatódott a két forgórészes **vibroaktuátor** fejlesztése. A rezgető berendezés megfelelően működik, de mivel mechanikailag igen érdekes jelenségeket mutat (szinkronizáció, teljesítményrezonancia), ezek alapos kutatásához egy jól modellezhető felfüggesztés tervezésére és megvalósítására volt szükség. A forgórészek szinkronizálódott mozgásainak stabilitásával kapcsolatos analitikus eredményeket kísérletekkel igazolták a kutatók, a kutatócsoportban korábban kifejlesztett ún. többdimenziós felező módszer segítségével. A stabilitás biztosításához szabályozót is be kell építeni az eszközbe, ezért a kutatócsoport tagjai megvizsgálták egy PID szabályozó hatását is, különböző szabályozási paraméterek mellett. Fontos eredmény, hogy az integráló tag igen hatékonyan tudja stabilizálni az amúgy instabil állandósult mozgásokat.

A **kerék-talaj kapcsolat** vizsgálatával foglalkozó kollégák a gumiabroncs érintkezési tartományon kívüli deformációját a kutatás korábbi periódusában felállított parciális differenciálegyenletek segítségével tanulmányozták. Sikerült előállítani az egyenletek haladó hullám megoldását a kerék-talaj érintkezési tartományon kívül is, így a rendszer stabilitása jóval kompaktabb formában vizsgálható. A kerékfelfüggesztéshez kapcsolódó gumikerék öngerjesztett rezgéseit két különböző mechanikai modellben is elemezték a kutatók. Csillapítatlan esetben a gumikerék deformációja minden sebesség mellett destabilizálhatja az egyenes vonalú gördülést. A feltárt rezgéseknek jelentős szerepe lehet a kerékköpeny zajkibocsátásának szempontjából, a csillapítás értékétől függetlenül. A korábban kifejlesztett késleltetett gumikerék modell egyszerűbb változata implementálásra került egy vontató

járművet és vontatmányt is magába foglaló mechanikai modellben. A kutatócsoport tagjai új instabil paramétertartományokat azonosítottak a pontosabb gumikerék deformáció leírásnak köszönhetően. A vontatmányok kanyarodásának stabilitásvizsgálatához egy merev kereket és rugalmas felfüggesztést tartalmazó mechanikai modellt használtak. A vontatmány sebességének és fordulási sugarának függvényében készített stabilitási térképek alapján kijelenthető, hogy a modellben alkalmazott rugalmas elemek száma és elhelyezkedése minőségileg befolyásolja a kapott eredményeket.

A **gerjesztett száraz súrlódású oszcillátorral** kapcsolatos kísérleti berendezés speciális csapágyainak méreteihez alkalmazkodva át kellett tervezni az eszközt, melynek legyártása rövidesen elkezdődik. A mozgásegyenletek szakaszosan sima volta nagyon megnehezíti a rendszer bifurkációinak követését, pedig ezek jelentősen eltérhetnek a simított karakterisztikát használó modellekkel kapott bifurkációktól. 2014-ben a kutatók megismerkedtek egy olyan követő algoritmussal, mely ebben az esetben is használható. Egy szalagon csúszó oszcillátor modell és egy gerjesztett súrlódásos oszcillátor esetében sikerült az algoritmust alkalmazni.

**b) Tudomány és a társadalom.** A kutatócsoport tagjai érdekes mechanikai kísérletek bemutatásával vettek részt a BME egyetemi nyílt napon, továbbá ismeretterjesztő előadást tartottak a BME Mechatronika Szakosztály tagjai számára, valamint a *Műegyetemi fiatalok az űrben*, az *Alkalmazott Matematikai Nap* és a *Gólyacsata 2014* rendezvényeken.

### III. A kutatóhely hazai és nemzetközi kapcsolatai 2014-ben

- *Új felsőoktatási kapcsolat:* Nanjing University of Aeronautics and Astronautics (Kína)
- *Nemzetközi konferenciák szervezése:* A kutatócsoport elnyerte a 2017-es European Nonlinear Dynamics Conference rendezését.
- *Új ipari kapcsolatok:* AUDI Hungaria Motor Kft., Ganz Engineering és Engetikai Gépgyártó Kft., Lidl Magyarország Bt., ThyssenKrupp Presta Hungary Kft.

### IV. A 2014-ben elnyert fontosabb hazai és nemzetközi pályázatok rövid bemutatása

A kutatócsoport vezetője által elnyert *European Research Council (ERC) Advanced Grant* pályázat 2014 március 1-jén elindult.

### V. A 2014-ben megjelent jelentősebb tudományos publikációk

- Antali M, Stepan G, Hogan SJ: Kinematic oscillations of railway wheelsets. MULTIBODY SYSTEM DYNAMICS, 2014: Paper 10.1007/s11044-014-9424-9. (2014), (<http://real.mtak.hu/id/eprint/21722>)
- Wei Feng, Bachrathy Daniel, Orosz Gabor, Ulsoy A Galip: Spectrum design using distributed delay. INTERNATIONAL JOURNAL OF DYNAMICS AND CONTROL, 2 (2): 234-246. (2014), (<http://mycite.omikk.bme.hu/doc/152375.pdf>)
- Miklós Ákos, Szabó Zsolt: Bőrön keresztüli információátvitel mechanikai rezgések segítségével. BIOMECHANICA HUNGARICA, 7 (1): 15-23. (2014) , (<http://biomechanica.hu/index.php/biomech/article/viewFile/131/296>)
- Gyebrószki G., Csernák G., Budai Cs.: Experimental investigation of micro-chaos. In: H Ecker, A Steindl, S Jakubek (szerk.) Proceedings of ENOC 2014: 8th European Nonlinear Dynamics Conference. Wien: Technische Universität, Paper 476. 6 (2014), (<http://real.mtak.hu/20724>)
- Varszegi B, Takacs D, Stepan G, Hogan SJ: Balancing of the skateboard with reflex delay. In: H Ecker, A Steindl, S Jakubek (szerk.) Proceedings of ENOC 2014: 8th European Nonlinear Dynamics Conference. Wien: Technische Universität, Paper ID498. 6 (2014), (<http://real.mtak.hu/21139>)

- Szabó, Zs., Stépan, G., Zelei, A.: Experimental and analytical investigation of a fluttering bridge section model. In: Malcolm Crocker, Bilong Liu (szerk.) The 21st International Congress on Sound and Vibration . Paper 492\_20140422144457349. 8 (2014), ([http://iiav.org/icsv21/content/papers/papers/full\\_paper\\_492\\_20140422144457349.pdf](http://iiav.org/icsv21/content/papers/papers/full_paper_492_20140422144457349.pdf))