

**Záró beszámoló a**

**72911 azonosító számú OTKA Kutatási Pályázathoz**

**Cím: Digitálisan szabályozott gépészeti rendszerek dinamikája**

(Dynamics of digitally controlled mechanical systems)

Vezető kutató: Insperger Tamás

Résztvevő kutatók: Szabó Zsolt, Lukács Attila, Forberger Árpád, Tóth Viktor, Dombóvári Zoltán

**Beszámoló időszak: 2008-04-01 - 2011-12-31**

A kutatási projektben digitálisan szabályozott mérnöki szerkezet stabilitásvizsgálatával foglalkoztunk figyelembe véve a szabályozás visszacsatolásának időkésését. A kutatási projektben a következő témákkal foglalkoztunk:

- Dinamikai rendszerek szabályozása időkésést tartalmazó visszacsatolás esetén
- Szerszámgéprezgések stabilitásvizsgálata
- Torziós rezgéscsillapítás elektroeológiai folyadékokkal
- Egyensúlyozás reflexkéséssel
- A szemi-diszkrétizációs módszer fejlesztése

A kutatás során elért eredmények közül a következőket emeljük ki:

- Stépán Gábor akadémikussal közösen könyvet írtunk a szemi-diszkrétizációs módszerről és annak mérnöki alkalmazásairól. A könyv 2011 nyarán jelent meg a Springer kiadó gondozásában [1].
- A kutatási projekt keretében belül egy PhD védésre került sor 2009-ben (Lukács Attila) [2].
- A kutatási projekt témájához kapcsolódóan még egy PhD disszertáció megírására is várhatóan sor kerül 1 éven belül (Forberger Árpád).
- A kutatás eredményeként 33 publikáció született, amelyből 14 folyóiratcikk ( $\Sigma$  impakt faktor = 16,9).
- A kutatási projekt témájához kapcsolódóan egy MTA doktora disszertáció került benyújtásra 2011 őszén (Insperger Tamás).

Az alábbiakban az egyes témákban elért eredményeket ismertetjük részletesen.

**Dinamikai rendszerek szabályozása időkésést tartalmazó visszacsatolás esetén**

Dinamikai folyamatok szabályozása során a visszacsatolás időkésése gyakran vezethet nem kívánatos rezgésekhez, a folyamat instabilitásához. Az effajta rezgések elkerülésére dolgoztuk ki korábban az ún. beavatkozom-és-várok (act-and-wait) szabályozási elvet, amely azon alapul, hogy a visszacsatolást bizonyos időközönként ki-és bekapcsolgatjuk. A módszert ugyan már korábban (részben egy korábbi OTKA kutatási projekt keretében) kidolgoztuk, de több olyan részfeladat maradt, amely még tisztázásra szorult. Késleltetést tartalmazó rendszereket általában végtelen dimenziós fázistérben lehet leírni, a beavatkozom-és-várok módszerrel azonban, ha a várakozási (vagy kikapcsolási) idő nagyobb, mint az időkésés, a rendszer véges dimenziójúvá redukálható. A most lezárult OTKA projekt keretében megmutattuk, hogy bizonyos paramétertartományokban a rendszer akkor is leírható véges dimenzióban, ha az időkésés nagyobb, mint a várakozási idő.

Egy egy dimenziós rendszeren keresztül részletesen vizsgáltuk a szabályozás tulajdonságait, a stabilizálhatóság feltételét, a szabályozott rendszer érzékenységét kis perturbációkra. Az eredményeket indiai, angol és olasz társszerzőkkel folyóiratcikkben publikáltuk [3].

A témához kapcsolódóan megmutattuk, hogy általánosabb folytonos-idejű szabályozások esetén a beavatkozom-és-várok szabályozás tekinthető a késleltetett rendszerekre megfogalmazott Brockett-probléma egyfajta megoldásának. Az eredményekről először nemzetközi konferencián tartottunk előadást 2008-ban [4], majd a módszer általánosabb rendszerekre való alkalmazását a folyóiratcikkben publikáltuk [5].

A beavatkozom-és-várok szabályozási elv hatékonyságát kísérletekkel ellenőriztük egy 1 szabadsági fokú erőszabályozási rendszerre. A kísérleti berendezéssel mind diszkrét idejű, mind (megközelítőleg) folytonos idejű szabályozási folyamatot meg tudtunk valósítani. A kísérleti eredmények mindkét esetben alátámasztották az elméleti eredményeket: a beavatkozom-és-várok módszer alkalmazásával az erőszabályozásban a proporcionális tag jelentősen növelhető, aminek következtében a kialakuló erőhiba jelentősen csökken mind a diszkrét mind a folytonos idejű szabályozás esetén. A diszkrét idejű (mintavételezett) rendszer vizsgálati eredményeit először konferencia [6] cikkben, majd általánosabb alakban folyóiratcikként publikáltuk [7]. A folytonos idejű rendszer vizsgálati eredményeit szintén nemzetközi konferenciaként publikáltuk, mely cikket a konferencia szervezői beválasztották a 40 legjobb cikk közé (a 200 közül), és így könyvfejezetként is megjelent – a közlemények listájában ezt a könyvfejezetet tüntettük fel [8].

A beavatkozom-és-várok szabályozási elv alkalmazhatóságát vizsgáltuk instabil másodrendű rendszerekre. Ez a modell a reflex-késéssel történő inga-egyensúlyozást írja le. Ismeretes, hogy adott hosszúságú inga egyszerű PD szabályozóval nem egyensúlyozható tetszőlegesen nagy reflex-késéssel. Megmutattuk, hogy a beavatkozom-és-várok szabályozással olyan esetekben is lehet stabilan egyensúlyozni egy rudat, amelyeknél az egyszerű PD szabályozó már nem eredményez stabil egyensúlyozást. Az eredményeket, mint a beavatkozom-és-várok szabályozási elv esettanulmányát konferencián publikáltuk 2009-ben [9].

Olyan esetben, amikor a szabályozási folyamat visszacsatolásának az időkéseése egy bonyolultabb rendszer állapotától függ, gyakran használnak időben sztochasztikusan változó időkéseést a modellekben. Ilyen pl. amikor valamilyen hálózaton (pl. interneten) keresztül történik a szabályozás. Ekkor az információ terjedésének sebessége függ a hálózatban levő egyéb folyamatoktól (pl. az internet leterheltségétől). Az OTKA kutatási projektjében a beavatkozom-és-várok szabályozási elv alkalmazhatóságát vizsgáltuk ilyen rendszerekre. Megmutattuk, hogy ha az időkéseés bizonyos határok között változik valamilyen valószínűségi eloszlás szerint, akkor a beavatkozom-és-várok szabályozási elv segítségével a stabilitási vizsgálat is egyszerűsödik, és a szabályozott rendszer stabilitási tulajdonságai is javulnak. Az eredményekről konferencia cikkben számolunk be [10].

### **Szerszámgéprezgések stabilitásvizsgálata**

Esztergálási, marási illetve fúrási folyamatok pontos modellezéséhez dolgoztunk ki több szabadsági fokú modelleket, melynek leíró egyenlete egy autonóm állapotfüggő időkéseést tartalmazó késleltetett differenciálegyenlet. Az állapotfüggő késleltetés miatt ez a rendszer erősen nemlineáris. Bár a hagyományos linearizálás nem használható ilyen egyenleteknél, mégis létezik módszer, amellyel a nemlineáris rendszerhez hozzárendelhető egy lineáris egyenlet. Az állapotfüggő időkéseésből adódó tag általában kicsi, azonban bizonyos esetekben (pl. nagy előtolás esetén) befolyásolhatja az esztergálási folyamat stabilitási tulajdonságait. Esztergálás esetén a rendszer nemlineáris viselkedését numerikus úton vizsgálatuk, és azt az eredményt kaptuk, hogy a hagyományos modellekkel kapott szubkritikus Hopf bifurkáció helyett az állapotfüggő időkéseést tartalmazó modelleknél bizonyos paraméterek esetén szuperkritikus bifurkáció keletkezik, ami

mérnöki szempontból jóval kedvezőbb. Az eredményekről egy mélyfűrással/olajfűrással foglalkozó kutatók által szervezett mechanikai kollokviumon tartottunk előadást [11].

Marási folyamatok során keletkező felület alakhibáit vizsgáltuk ferdeélű marószerszámmal történő megmunkálás esetén. A szemi-diszkretizációs módszer segítségével megmutattuk, hogy a szerszámélek ferde elhelyezkedése nem csak a marási folyamat stabilitási tulajdonságait befolyásolja, hanem a megmunkált felület alakhibájára is hatással van. Az eredményekről folyóiratcikkben számoltunk be [12].

Amerikai partnerekkel közösen az ún. időbeni végeselemes módszert használva megmutattuk, hogy alacsony fordulatszámú esztergálási folyamatoknál a fordulatszám-fogásmélység paraméter síkon a stabilitási határok magasabbak, ha megoszló időkéssel modellezzük a szerszámélen a forgács és a szerszám közötti érintkezést. Az eredmények korábban már ismertek voltak folytonos esztergálási folyamatra, a mi eredményeink megszakított esztergálási folyamatokra vonatkoznak (pl. bordás tengely, vagy hornyos tengely megmunkálására). Az eredményeket a folyóiratcikkben publikáltuk [13].

Marási folyamatok rezgés csökkentési lehetőségeit vizsgáltuk váltakozó fordulatszámú megmunkálás esetén francia partnerekkel közösen. Megmutattuk, hogy az orsó sebességét az időben periodikusan változtatva a regeneratív rezgések bizonyos paramétertartományban csökkenthetők. A rendszert leíró periodikus időkést tartalmazó differenciálegyenlet stabilitásvizsgálatát a szemi-diszkretizációs módszerrel végeztük el, míg a kísérleti méréseket a francia partner laboratóriumában végeztük el. Az eredményekről két konferencia cikk [14, 15] és két folyóirat cikk született [16, 17].

Marási folyamatok során keletkező rezgési frekvenciák meghatározása nem triviális, mivel a folyamatosan ki- és belépő fogak okozta paraméteres gerjesztés miatt végtelen sok frekvencia megjelenhet a rezgési jelben. A domináns frekvenciák kiválasztása ezért kiemelt fontosságú. Kidolgoztunk egy módszert, amely a szemi-diszkretizáció alapján a végtelen sok frekvencia közül kiszűri a domináns frekvenciákat, amelyek a rezgés során nagyobb amplitúdóval jelentkeznek. Az eredményekről konferencián számoltunk be [18], illetve mérési eredményekkel alátámasztva folyóiratban is publikáltuk a módszert [19].

Egy magyar-USA hallgatócsere keretében kiküldött magyar hallgatóval (Eppel András) és az amerikai partnerekkel közösen kidolgoztunk egy módszert, amivel a marási folyamatok során keletkező rezgéseket lehet optikai úton mérni. Az eredményekről folyóiratcikkben számoltunk be [20].

Spanyol partnerekkel folytatott közös kutatómunkaként a marószerszám leglágyabb lengésképének az irányának a függvényben vizsgáltuk a forgácsolási folyamat során keletkező rezgések stabilitását. Itt megmutattuk, hogy ferde élű marószerszám és nagy axiális fogásmélység esetén a forgácsolási erők kiolthatják egymást a szerszám axiális iránya mentén, ezáltal az elméleti stabilitási határok végtelenül megemelkedhetnek. Ilyen esetekben a valóságos stabilitási határokat a rendszer nem modellezett magasabb frekvenciájú lengésképei generálják. Az eredményekről folyóiratcikkben számoltunk be [21].

Instabil forgácsolási folyamatok stabilizálásának egyik módszere az aktív szabályozók használata. Esztergálási folyamatok digitális szabályozással történő stabilitását vizsgáltuk a szemi-diszkretizációs módszerrel. A rezgéseket leíró mozgásegyenlet érdekessége, hogy két fajta időkést is tartalmaz, folytonos időkést, illetve diszkrét időkést, amikor az állapotváltozó argumentuma szakaszonként állandó. Megmutattuk, hogy a szemi-diszkretizáció alkalmas az ilyen jellegű egyenletek stabilitásvizsgálatára is. Bevezettük az egy-pontos és a két-pontos szemi-diszkretizáció fogalmát. Az esztergálási folyamatok stabilizálásáról folyóiratcikkben számoltunk be [22]. Általános késleltetett másodrendű egyenletek digitális szabályozóval történő stabilitásáról pedig konferenciacikket írtunk [23], melyet közlésre elfogadtak (a konferencia 2012 nyarán lesz).

### **Torziós rezgés csillapítás elektorreológiai folyadékokkal**

Új kutatási területként indult a kutatócsoportban az elektorreológiai folyadékokkal való rezgés csillapítás. Az elektorreológiai folyadék csillapítását elektromos tér segítségével változtathatjuk, ezzel változtathatjuk a rezgőrendszer csillapítását is. Ezt a jelenséget vezérlési illetve szabályozási folyamatokban is fel lehet használni. Ez a kutatás elsősorban Forberger Árpád PhD témája volt, a PhD dolgozat benyújtása 1 éven belül várható.

Első lépésként tengelyek torziós rezgéseinek csillapításával foglalkoztunk. A modellben azt az optimális csillapítási értéket keressük, amely adott gerjesztési frekvencia esetén minimális rezgési amplitúdót és megfelelő üzemi hőmérsékletet biztosít. Ez a modell a járműiparban ismert inercia gyűrűvel ellátott torziós rezgés csökkentés vizsgálatára alkalmas. Az eredményekről egy hazai szervezésű [24] és egy nemzetközi konferencián számoltunk be [25]. Gyakorlati alkalmazásként tengelyek torziós rezgéseinek csillapítási lehetőségét vizsgáltuk az elektorreológiai csillapító folyadékok segítségével. A kutatás részeredményeiről nemzetközi konferencián számoltunk be [26].

### **Egyensúlyozás reflexkéséssel**

Különböző modelleket dolgoztunk ki az egyensúlyozás leírására figyelembe véve az egyensúlyozott rúd szögkitérésének mérési módjait. Megmutattuk, hogy ha a szögkitérést gyorsulásérzékelővel mérjük, ahogy az sok gyakorlati alkalmazásban előfordul, és folytonosan mintavételezünk és folytonosan avatkozunk be (azaz nincs mintavételezés), akkor a rendszert leíró differenciálegyenlet egy siettetett (advanced) egyenlet lesz, és a rendszer mindig instabil lesz végtelen sok instabil gyökkel. Egy egyszerűsített egy dimenziós modellen keresztül megmutattuk, hogy a mintavételezés hatására az egyenlet siettetett jellege eltűnik, és a rendszer stabilan szabályozható lesz. Az eredményekről folyóiratcikkben számoltunk be [27].

A valósághoz egy lépéssel közelebbi modellként egy másodrendű rendszer esetében is megvizsgáltuk a jelenséget. Az egyensúlyozási folyamat vizsgálata céljából építetünk egy kísérleti berendezést, egy önmagát egyensúlyozó kis kétkerekű kocsit (Segwayt). A kocsit (inga) szöghelyzetét egy gyorsulásérzékelővel mértük, így a szabályozás bemenete a szöghelyzet és a szöggyorsulás lineáris kombinációja volt. Időkésés és PD szabályozás esetén a szabályozási rendszert egy siettetett argumentumú egyenlet írja le. Megmutattuk, hogy a végtelen sok instabil gyökkel rendelkező siettetett egyenlet a diszkretizáció hatására stabilá válhat bizonyos paramétertartományokban. Az eredményeket konferencia cikkben [28], illetve könyvfejezet formájában [29] publikáltuk.

A rúd egyensúlyozási probléma igen fontos és egyre elterjedtebb a biomechanika területén is. Hasonló modellekkel írják le az emberi egyensúlyozás folyamatát, ami az időskori egyensúlyzavarok illetve a Parkinson-kór megértését segítik. Egyensúlyozási folyamatoknál jól ismert, hogy ha a szabályozás időkésése (vagy a reflex késés emberi egyensúlyozás esetén) egy kritikus értéknél nagyobb, akkor nem lehet a rudat a felső helyzetében egyensúlyozni. Az emberi egyensúlyozásról írtunk egy összefoglaló konferencia cikket, amely az elmúlt 2 év eredményeit foglalja össze [30].

Az emberi egyensúlyozás kutatásának egyik iránya a paraméteres gerjesztés figyelembevétele, amikor a rúd felfüggesztési pontját függőlegesen rázzuk. Elkészítettük a rendszer mechanikai modelljét, és megmutattuk, hogy a paraméteres gerjesztés segít a rúd egyensúlyozásában, azaz olyan időkésés mellett, ahol a paraméteres gerjesztés nélküli rudat nem lehet stabilizálni, a paraméteresen gerjesztett rendszer stabilizálható. Az eredményekről folyóiratcikkben számoltunk be [31].

### **A szemi-diszkretizációs módszer fejlesztése**

A szemi-diszkretizáció egy hatékony módszer késleltetést tartalmazó, periodikus együtthatójú differenciálegyenletek stabilitási vizsgálatára. A módszert a kutatócsoport 2001-ben dolgozta ki, azóta folyamatosan finomítjuk a módszert, és egyre több mérnöki problémára alkalmazzuk. A módszerről külföldi társszerzőkkel írtunk egy könyvfejezetet [32], melyben periodikus együtthatókat és periodikus időkésést tartalmazó késleltetett differenciálegyenletek stabilitásvizsgálatára alkalmazzuk a szemi-diszkretizációt.

A módszert összehasonlítottuk egy, kínai szerzők által készített teljes diszkretizációs módszerrel. Az eredményeket folyóiratcikkben publikáltuk [33]. A cikkben a két numerikus módszer konvergenciáját hasonlítjuk össze marási folyamatok esetén, és megmutatjuk, hogy a kínai szerzők által kidolgozott módszer lényegében egy speciális esete a szemi-diszkretizációnak.

A szemi-diszkretizációs módszerről és annak mérnöki alkalmazásairól Stépán Gáborral angol nyelvű szakkönyvet írtunk, amely 2011 nyarán jelent meg a Springer kiadó gondozásában [1].

### **Publikációk**

- [1] Insperger T, Stépán G, *Semi-discretization for time-delay systems – Stability and Engineering applications*, Springer, New York, 2011, 174 pages, ISBN 978-1-4614-0334-0.
- [2] Lukács Attila, Radiális fluxusú, légréstekerceses lineármotor alkalmazása mobiltelefonok mechanikai gerjesztésére, PhD értekezés, BME, 2009.
- [3] Insperger, T., Wahi, P., Colombo, A., Stépán, G., di Bernardo, M., Hogan, J.S., Full characterization of act-and-wait control for first order unstable lag processes, *Journal of Vibration and Control*, **16**(7-8) (2010), pp. 1209-1233. - IF = 0.863 (2010)
- [4] Insperger, T., Stépán, G., Brockett problem for systems with feedback delay, *Proceedings of the 17th IFAC World Congress*, Seoul, Korea, July 6-11, 2008, pp. 11491-11496 (CD-ROM).
- [5] Insperger T, Stepan G, On the dimension reduction of systems with feedback delay by act-and-wait control, *IMA Journal of Mathematical Control and Information*, **27**(4) (2010), pp. 457–473. - IF = 0.213 (2010)
- [6] Insperger, T., Kovács, L.L., Galambos, P., Stépán, G., Act-and-wait concept for digital force control of robots, in *Proceedings of 17<sup>th</sup> CISM-IFTOMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control (RoManSy 2008)*, Tokyo, Japan, July 5-9, 2008, (Eds.: Takanishi, A., Nakamura, Y., Heimann, B, ISBN-978-4-4-906685-44-8), pp. 535-542.
- [7] Insperger, T., Kovács, L.L., Galambos, P., Stépán, G., Increasing the accuracy of digital force control process using the act-and-wait concept, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, **15**(2) (2010), pp. 291-298. - IF = 2.577 (2010)
- [8] Insperger, T., Kovács, L.L., Galambos, P., Stépán, G., Act-and-wait control concept for a force control process with delayed feedback, in: *Motion and Vibration Control, Selected Papers from MOVIC 2008*, (Eds.: Ulbrich, H., Ginzinger, L.), Springer, Garching, 2009 (ISBN-13: 978-1-4020-9437-8), pp.133-142. *9th International Conference on Motion and Vibration Control (MoViC 2008)*, Munich, Germany, Sept. 15-18, 2008, paper no. 1173 (CD-ROM).
- [9] Insperger, T., Stepan, G., Stabilizing unstable systems by the act-and-wait concept - Case studies, *8th Workshop on Time Delay Systems (IFAC-TDS'09)*, Sinaia, Romania, September 1-3, 2009, Paper No. 29, pp. 1-5 (CD-ROM).
- [10] Ghasemi M, Zhao S, Insperger T, Kalmar-Nagy T, Act-and-wait control of discrete systems with random delays, 2012 American Control Conference (ACC), June 27 - 29, 2012, Montréal, Canada, pages 1-9, paper accepted.
- [11] Insperger, T., Stépán, G., State-dependent delay models for metal cutting processes, *First International Colloquium on Non-linear Dynamics of Deep Drilling Systems*, Liege, Belgium, 2009, March 12-13, pp. 23-28.

- [12] Bachrathy, D., Insperger, T., Stépán, G., Surface properties of the machined workpiece for helical mills, *Machine Science and Technology*, **13**(2) (2009), pp. 227-245. - IF = 0.433 (2009)
- [13] Khasawneh, F.A., Mann, B.P., Insperger, T., Stépán, G., Increased stability of low-speed turning through a distributed force and continuous delay model, *Journal of Computational and Nonlinear Mechanics*, **4**(4) (2009), Article No. 041003 (12 pages). - IF = 0.557 (2009)
- [14] Seguy, S., Insperger, T., Arnaud, L., Dessein, G., Peigné, G., Chatter suppression in milling processes using periodic spindle speed variation, *12th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations*, San Sebastian, Spain, May 7-8, 2009 Vol. 2, pp. 887-894 (CD-ROM).
- [15] Seguy, S., Dessein, G., Arnaud, L., Insperger, T., Chatter control by spindle speed variation in high-speed milling, *International Conference on Structural analysis of Advanced Materials (ICSAM 2009)*, Tarbes, France, September 7-10, 2009, pp. 1-10 (CD-ROM), *Advanced Materials Research*, **112** (2010), pp. 179-186.
- [16] Seguy, S., Insperger, T., Arnaud, L., Dessein, G., Peigné, G., On the stability of high-speed milling with spindle speed variation, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **48**(9-12) (2010), pp. 883-895. – IF = 1,068 (2010)
- [17] Seguy, S., Insperger, T., Arnaud, L., Dessein, G., Peigné, G., Suppression of period doubling chatter in high-speed milling by spindle speed variation, *Machining Science and Technology*, **15**(2) (2011), pp. 153-171. – IF = 0,459 (2010)
- [18] Dombovari Z, Zatarain M, Insperger T, Dominant vibration frequencies in milling using semi-discretization method, *2nd International CIRP Conference on Process Machine Interaction (PMI)*, 2010, June 10-11, Vancouver, Canada, paper no. M06.
- [19] Dombovari Z, Iglesias A, Zatarain M, Insperger T, Prediction of multiple dominant chatter frequencies in milling processes, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **51**(6) (2011), pp. 457-464. - IF = 1,919 (2010)
- [20] Eppel, A., Insperger, T., Enikov, E., Stepan, G., Feasibility study of optical detection of chatter vibration during milling, *International Journal of Optomechatronics*, **4**(2) (2010), pp. 195-214. - IF = 0.682 (2010)
- [21] Zatarain, M., Bediaga, I., Muñoa, J., Insperger, T., Analysis of directional factors in milling: importance of multi-frequency calculation and of the inclusion of the effect of the helix angle, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **47**(5-8) (2010), pp 535-542. (Special Issue: Sp. Iss. SI) – IF = 1,068 (2010)
- [22] Lehotzky D, Insperger T, Stability of turning processes subjected to digital PD control, *Periodica Polytechnica – Mechanical Engineering*, in press (2012) – IF = 0 (2010)
- [23] Lehotzky D, Insperger T, Stability of delayed oscillators subjected to digital PD control, *10th IFAC Workshop on Time Delay Systems (IFAC-TDS 2012)*, Northeastern University, Boston, USA, June 22-24, 2012, pages 1-8, paper accepted.
- [24] Forberger, Á., Insperger, T., Ailer P., Optimization of a torsional shock absorber through the damping parameter, *Proceedings of 6<sup>th</sup> Conference on Mechanical Engineering, GÉPÉSZET 2008*, Budapest, Hungary, 2008. május 29-30, CD-ROM, 11 pages.
- [25] Forberger, Á., Filipcsei, G., Insperger, T., Zrínyi, M., Stépán, G., Application of electro-rheological fluids in adaptive dampers, in *Proceedings of the 9th International Conference on Motion and Vibration Control (MoViC 2008)*, Munich, Germany Sept. 15-18, 2008, paper no. 1123 (CD-ROM).
- [26] Forberger, A., Insperger, T., Determining the damper properties of damper fluids, *Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics*, Leoben, Ausztria, 2009-09-23/26, Book of abstracts pp. 4-5.
- [27] Insperger, T., Stepan, G., Turi, J., Delayed feedback of sampled higher derivatives, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, **368** (2010), pp. 469-482. - IF = 2.457 (2010)

- [28] Insperger T, Wohlfart R, Turi J, Stepan G, Balancing using accelerometers and equations with advanced arguments, *9th IFAC Workshop on Time Delay Systems (IFAC-TDS 2010)*, Prague, Czech Republic, June 7-9, 2010, paper no. FP-IT-302.
- [29] Insperger T, Wohlfart R, Turi J, Stepan G, Equations with advanced arguments in stick balancing models, in *Time Delay Systems - Methods, Applications and New Trends*, in *Lecture Notes in Control and Information Sciences (LNCIS)*, Springer-Verlag, in press (2011).
- [30] Stepan G, Insperger T, Dynamics of quiet standing – human and robotic sensory systems to compensate delay effects, *4th Asia International Symposium on Mechatronics (AISM 2010)*, 2010, December 15-18, Singapore, paper no. 243.
- [31] Insperger T, Stick balancing with reflex delay in case of parametric forcing, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, **16**(4) (2011), pp. 2160-2168. - IF = 2,697 (2010)
- [32] Long, X.-H., Insperger, T., Balachandran, B., Systems with periodic coefficients and periodically varying delays: semi-discretization based stability analysis, in: *Delay Differential Equations: Recent Advances and New Directions*, (Eds.: Balachandran, B., Kalmár-Nagy, T., Gilsinn, D.), Springer, New York, 2009 (ISBN: 978-0-387-85594-3), pp. 131-153.
- [33] Insperger T, Full-discretization and semi-discretization for milling stability prediction: Some comments, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **50**(7) (2010), pp. 658-662. - IF = 1,919 (2010)