

**ZRÍNYI MIKLÓS**  
**NEMZETVÉDELMI EGYETEM**

Turóczy Antal

**NÉGYROTOROS PILÓTA NÉLKÜLI  
HELIKOPTER FEDÉLZETI AUTOMATIKUS  
REPÜLÉSSZABÁLYOZÓ BERENDEZÉSEI**

című doktori (PhD) értekezésének szerzői ismertetése  
és hivatalos bírálatai

**Tudományos vezető:**

Dr. Haig Zsolt mérnök alezredes, PhD  
egyetemi docens

Budapest, 2008.

## Bevezetés, tudományos probléma megfogalmazása

A XX. század végén bekövetkezett geopolitikai változások, valamint a számítástechnika és az informatika robbanásszerű fejlődése a haditechnikában is új korszakot indított el. A **tömeghadseregek helyét** egyre inkább **átveszik a** kisebb létszámú, de hatékonyabb, **precíziós** fegyverekkel, robottechnikai berendezésekkel és speciális informatikai eszközökkel felszerelt **haderők, melyek egyik legfőbb célja az információs fölény megszerzése és megtartása.** A hatékony információszerzés eszközeként **a pilóta nélküli légi járművek (UAV<sup>1</sup>-k) egyre hangsúlyosabb szerepet kapnak** a mai modern hadseregekben. Ennek **legfőbb oka az emberi élet védelme.** Az emberáldozattal ellentétben egy pilóta nélküli eszköz elvesztése csak anyagi kárként jelentkezik. Ez a közvélemény számára is sokkal elfogadhatóbb. Másrészt a jármű képességeit – mivel nincsen ember a fedélzeten – csak a gép fizikai konstrukciójából adódó tulajdonságok miatt kell szándékosan korlátozni (mechanikai szilárdság, instabil működést eredményező manőverek, stb.). Ebből következik, hogy az UAV-k olyan környezeti feltételek mellett is képesek ellátni feladatukat, amelyekben az ember egyébként közvetlen életveszélynek lenne kitéve.

**A pilóta nélküli légi járművek** fejlesztésének másik mozgatórugója az, hogy ezen eszközök gyártási, üzemeltetési és karbantartási **költsége**, a hasonló feladatokra szánt pilóta által vezetett repülőgépekkel összehasonlítva jóval **alacsonyabb.** Emellett az irányító személyzet kiképzése is sokkal kisebb anyagi ráfordítást igényel. A technika fejlődésével ugyanis egyre több az automatizált funkció, ezért az UAV-t irányító személyzetének nem kell folyton a jármű irányításával foglalkoznia, figyelmét teljes egészében a küldetés valódi céljára összpontosíthatja.

Ahogy az igaz a pilóta vezette repülőgépek esetében is, **a lebegés, a helyből fel- és leszállás képessége (VTOL<sup>2</sup>) a pilóta nélküli eszközöknél is különleges képességnek számít.** Mivel a forgószárnyas járműnek nincsen szüksége kifutópályára, katonai szempontjából **könnyen bevethető, kevés logisztikai háttértámogatást igényel.** Egy kisméretű VTOL UAV, megfelelő fedélzeti szenzorokkal kiegészítve, olyan **hatékony támogató eszköze** lehet a harctéren tevékenykedő kisebb katonai alakulatoknak, amellyel kis hatótávolságon belül a kezelőszemélyzet veszélyeztetése nélkül végezhető felderítő, megfigyelő vagy adatgyűjtő feladat**Hiba! A hivatkozási forrás nem található..**

---

<sup>1</sup> UAV: Unmanned Aerial Vehicle

<sup>2</sup> VTOL: Vertical Take-Off and Landing

Az utóbbi időben a négyrotoros elrendezésű helikopter – a szabályozástechnika és a mikroelektronika fejlődésének köszönhetően – újból a kutatások és fejlesztések tárgyává vált. A kisméretű, elektromotoros meghajtású, fix beállítási-szögű rotorokkal rendelkező géptípusokkal, **egyszerű mechanikai felépítésű, robusztus**, ezáltal **megbízható** pilóta nélküli repülő eszköz valósítható meg.

A hatékonyság növelése, **a nagyobb repülési biztonság és a személyzet tehermentesítése érdekében az UAV egyes funkcióit érdemes automatizálni**. Amennyiben a repülés stabilizálását automatikus repülésszabályzóra bizzuk, a kezelő minden figyelmét a küldetés valódi céljára összpontosíthatja. Ez egy négyrotoros helikopter esetén igen fontos, mivel a gép kézi stabilizálása nagy koncentrációt igényel, emellett, megfelelő kommunikációs csatornát és fedélzeti szenzorokat feltételezve **lehetőség nyílik a látótávolságon kívüli bevetések végrehajtására is**. A fentiek alapján, egy négyrotoros pilóta nélküli helikopternek automatikus repülési funkciók megvalósítására alkalmas fedélzeti **automatikus repülésszabályzó berendezéssel kell rendelkeznie**.

## **Kutatási célok**

Munkám során a következő kutatási célokat tűztem ki:

1. A fizika törvényszerűségeiből kiindulva, **meghatározni a** négyrotoros helikopter nemlineáris matematikai modelljét, benne a sárkányszerkezet tehetetlenségi tenzorát és a helikopter meghajtását szolgáló elektromotorok dinamikus egyenleteit.
2. Tanulmányozva a kereskedelmi forgalomban beszerezhető robotpilóta rendszereket, a leszűrt tapasztalatok alapján **megtervezni** saját négyrotoros helikopterem fedélzeti automatikus repülésirányító rendszerét. A szenzorok és a számítási teljesítménnyel szemben támasztott követelmények valamint a rendelkezésemre álló anyagi források figyelembe vételével megépíteni egy – a saját kísérleti rendszerem irányítására alkalmas – olcsó robotpilóta rendszert.
3. A nemlineáris rendszermodellből kiindulva **meghatározni a** kísérleti helikopter kis bedöntési és bólintási szögkitéréssel járó repülési üzemmódjaira érvényes lineáris matematikai modelljét.
4. Az elektromotorok és a helikopter lineáris dinamikus egyenleteinek ismeretében motorszabályzót illetve repülésszabályzót **tervezni**, amivel fedélzeti robotpilóta rendszerem képes a gép repülését kis szögkitérésű manőverek esetén stabilizálni.

## Alkalmazott kutatási módszerek

Széleskörű kutatómunkát folytattam az értekezés témájával kapcsolatos információk összegyűjtése és rendszerezése érdekében. A szakirodalmak és az interneten hozzáférhető **publikációk tanulmányozásával, elemzésével** bővítettem a kutatási céljaim eléréséhez szükséges elméleti ismereteimet. **Konzultáltam** a repüléstudományban, a szabályozástechnikában és az elektronikában jártas **szakemberekkel**. Hallgatóként és előadóként **részt vettem több** – az értekezésem témájához kapcsolódó – hazai és nemzetközi **tudományos konferencián**. Kutatási eredményeimet rendszeresen **publikáltam** szakmai kiadványokban valamint tudományos előadások formájában is. Kísérleti rendszerem matematikai modelljének meghatározásához **méréseket és kísérleteket**, a szabályzókörok tervezéséhez pedig számítógépes **szimulációkat végeztem**, melyek eredményeit **elemeztem** és a megfelelő **következtetéseket levonva**, elvégeztem a szükséges változtatásokat.

## Az értekezés felépítése

A kitűzött célok elérése érdekében értekezésemet az alábbi fejezetek szerint építettem fel:

**1. fejezet:** Megvizsgálom a négyrotoros pilóta nélküli helikopter alkalmazhatóságát, majd felírom a gép fizikai egyenleteit. Megoldást adok a tehetetlenségi tenzor közelítő számítására. Számításokkal és mérésekkel meghatározom a meghajtásért felelős elektromotorok dinamikus egyenleteit, majd felírom a teljes rendszer nemlineáris matematikai modelljét.

**2. fejezet:** Megvizsgálom két, a kereskedelmi forgalomban beszerezhető robotpilóta rendszert, majd a levont következtetések alapján kidolgozom saját kísérleti rendszerem felépítését. Bemutatom a fedélzeti elektronikai rendszerem számára kiválasztott szenzorokat, kommunikációs eszközöket és a központi egységét. Bemutatom a központi egységben, és a PC<sup>3</sup>-s földi irányító rendszerben futó, általam elkészített szoftvereket.

**3. fejezet:** Összefoglalom a klasszikus és modern szabályzó-tervezési eljárásokat, és megvizsgálom alkalmazhatóságukat saját rendszerem szemszögéből. Megtervezem az elektromotorok fordulatszám-szabályzóját. Meghatározom kísérleti rendszerem lebegéshez közeli és kis ( $< 30^\circ$ ) bedöntési és bólintási szögkitéréssel járó repülési üzemmódjaiban érvényes lineáris matematikai modelljét és ehhez lineáris repülésszabályzót tervezek. Bemutatom a szabályzó-paraméterek hangolása érdekében elvégzett MATLAB Simulink szimulációk eredményeit. A valós fedélzeti elektronikai rendszerrel elvégzett tesztrepülések

---

<sup>3</sup> PC: Personal Computer

eredményei alapján meghatározom a szabályozó algoritmusok helyes működése érdekében szükséges változtatásokat.

A fejezetek elején röviden összegzem az adott témával kapcsolatos szakirodalmak lényegi mondanivalóját, a fejezetek végén következtetéseket vonok le, majd az értekezés végén összegzem kutatási eredményeimet és végső következtetéseket vonok le.

## **Következtetések**

A négyrotoros elrendezésű pilóta nélküli helikoptert a lebegés, a helyből fel- és leszállás képessége, a robosztus konstrukció, a csendes működés alkalmassá teszi katonai hírszerzési, felderítési és felügyeleti feladatok ellátására.

Automatikus repülésszabályzó rendszer tervezéséhez meg kell határozni egy matematikai modellt, amely a helikopter valós működését kellő pontossággal közelíti. A szimulációk és a sikeres tesztrepülések eredményei alapján kimondható, hogy az általam kidolgozott módszerek alkalmasak a sárkányszerkezet tehetetlenségi tenzorának, és az elektromotorok dinamikai modelljének számítására, valamint a helikopter általam meghatározott nemlineáris matematikai modellje megfelelő pontossággal közelíti a valós rendszerben lejátszódó folyamatokat.

Az automatikus repülési funkciók megvalósítása érdekében a helikopter mozgásállapotát megfelelő pontossággal és időbeli felbontással szükséges mérni. A gyakorlatban ezt a feladatot szenzorok és mérőberendezések, valamint ezek jeleit feldolgozó digitális számítógép segítségével oldják meg. Ez alapján arra a következtetésre jutottam, hogy saját kísérleti rendszeremben kisméretű inerciális és egyéb navigációs szenzorokat, valamint ezek jeleit feldolgozó digitális áramköröket fogok használni.

A tesztrepülések eredményei alapján arra a következtetésre jutottam, hogy az általam megtervezett és megépített fedélzeti hardver és kifejlesztett szoftver eszközök alkalmasak négyrotoros pilóta nélküli helikopter repülésszabályzó funkcióinak ellátására. A teljesen autonóm működés – például útvonalkövetés – megvalósításához azonban szükség van olyan további szenzorok beépítésére, melyekkel az  $x$ - $y$  pozíció adatokat megfelelő pontossággal lehet mérni.

A nemlineáris modell segítségével meghatároztam a helikopter kis szögkitérésekre érvényes lineáris matematikai modellje. A szimulációk alapján a lineáris matematikai modellhez PI motorszabályzó és LQG repülésszabályzó tervezhető, amellyel a rendszer képes a helikopter repülését kis bedöntési és bólintási szögek esetén stabilizálni. A kísérleti rendszerrel megvalósított zárt szabályozási kör minőségi jellemzőit csak további szenzorok alkalmazásával, illetve a meghajtó-rendszer cseréjével lehet javítani.

A valós rendszerrel elvégzett mérések és kísérletek eredményei alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a függeszkedés közeli repülési állapot stabilizálásához az előzetesen meghatározott szabályozó struktúrát – az általam alkalmazott fedélzeti szenzorok korlátai miatt – át kell alakítanom. A korábban alkalmazott szabályozótervezési folyamatot követve, valamint a tesztrepülések eredményeit felhasználva az átalakított szabályozó struktúrával sikerült olyan zárt rendszert kialakítanom, amely képes kísérleti négyrotoros rendszerem repülését stabilizálni.

## **Az értekezés új tudományos eredményei**

1. A fizika törvényszerűségeiből kiindulva, meghatároztam kísérleti négyrotoros helikopterem nemlineáris matematikai modelljét, benne a sárkányszerkezet tehetetlenégi tenzorát és a helikopter meghajtását szolgáló elektromotorok dinamikus egyenleteit. Számításaim helyességét kísérleti úton igazoltam.
2. Saját tervezésű, illetve kereskedelmi forgalomban beszerezhető robotpilóta rendszerek tanulmányozása során szerzett tapasztalataimat felhasználva, megterveztem a négyrotoros helikopter fedélzeti automatikus repülésirányító rendszerét, majd a szenzorok és a számítási teljesítménnyel szemben támasztott követelmények figyelembe vételével megépítettem egy saját kísérleti rendszerem irányítására alkalmas, olcsó robotpilóta rendszert.
3. A nemlineáris rendszermodellből kiindulva számítások és szimuláció segítségével, elhanyagolásokat és közelítéseket alkalmazva meghatároztam a kísérleti helikopter kis bedöntési és bólintási szögekre érvényes lineáris matematikai modelljét.
4. Figyelembe véve a meghatározott lineáris modell ismert bizonytalansági tényezőit, MATLAB valamint MATLAB Simulink környezet segítségével repülésszabályzót terveztem, mely az általam megvalósított fedélzeti elektronikai rendszerben implementálva képes a kísérleti négyrotoros helikoptert függeszkedés közeli repülési üzemmódban stabilizálni. A rendszer ezzel megfelelően stabil platformot szolgáltat fedélzeti optikai szenzorok fogadására, valamint alkalmas optikai felderítési feladatok ellátására.

## **Ajánlások**

Tekintettel arra, hogy négyrotoros pilóta nélküli helikopter számos polgári és katonai alkalmazásban hasznosítható, javaslom a bemutatott kísérleti négyrotoros rendszer hazai továbbfejlesztését. A megbízhatóságban és a minőségi jellemzőkben jelentős javulás érhető el háromfázisú szenzornélküli hajtás, képfeldolgozáson alapuló helyzet-meghatározás, GPS, barometrikus magasságmérés stb. alkalmazásával. Ezen kívül javaslom a habszivacs védőkeret szilárdabb anyagból történő kialakítását és a teljes mechanikai szerkezet megerősítését. E témakörök további kutatások tárgyát képezhetik.

## Saját publikációk jegyzéke

### Lektorált folyóirat cikkek

1. **Turóczy Antal:** *Önjáró robotok fedélzeti helyzet-meghatározó eszközei*, Repüléstudományi közlemények, XV. évfolyam 35. szám, p185-194, 2003.
2. **Turóczy Antal:** *Pilóta nélküli légi járművek navigációs berendezései*, Bolyai Szemle, 2006. 1. szám p179-193.
3. **Turóczy Antal:** *Katonai alkalmazású robotok villamos meghajtása*, GÉP folyóirat, LVII. évfolyam, 2006/5. p44-52.
4. **Turóczy Antal:** *Négyrotoros pilóta nélküli helikopter fedélzeti automatikus repülésszabályzó rendszerének tervezése*, Hadmérnök, Különszám: Robothadviselés 6, <http://zrinyi.zmne.hu/hadmernok/>
5. **Turóczy Antal:** *Négyrotoros pilóta nélküli helikopter fedélzeti elektronikai rendszere*, Hadmérnök Különszám: Robothadviselés Tudományos Konferencia 2007. <http://zrinyi.zmne.hu/hadmernok/>
6. **Turóczy Antal:** *Jelfeldolgozás digitális műholdas kommunikációs rendszerekben*, Hadmérnök III. évfolyam 1. szám 2008. március, <http://zrinyi.zmne.hu/hadmernok/>
7. **Turóczy Antal:** *Négyrotoros pilóta nélküli helikopter fedélzeti repülésszabályzójának előzetes tervezése LQG módszerrel*, Repüléstudományi közlemények különszám: Repüléstudományi konferencia 2008.

### Lektorált idegen nyelvű folyóirat cikkek

1. **Imre Makkay, Antal Turóczy:** *Onboard Electronics of UAVs*, AARMS, Volume 5, Issue 2, 2006. p237-243.

### Magyar nyelvű előadások

1. **Turóczy Antal:** *Önjáró robotok fedélzeti elektronikai rendszerei*, Százéves a Magyar Géprepülés konferencia, Szolnok, 2003. Április 4.



2. **Turóczy Antal:** *Pilóta nélküli légi járművek navigációs berendezései*, Robothadviselés 5. tudományos konferencia, Budapest, 2005.
3. **Turóczy Antal:** *Négyrotoros pilóta nélküli helikopter fedélzeti automatikus repülésszabályzó rendszerének tervezése*, Robothadviselés 6. Tudományos Szakmai Konferencia, Budapest, 2006.
4. **Turóczy Antal:** *Négyrotoros pilóta nélküli helikopter matematikai modelljének meghatározása*, Tavaszi Szél konferencia-kiadvány 2007 p134-143, Doktoranduszok Országos Szövetsége, 2007.
5. **Turóczy Antal:** *Négyrotoros pilóta nélküli helikopter fedélzeti elektronikai rendszere*, Robothadviselés Tudományos Konferencia 2007. november 27.

#### Idegen nyelvű előadások

1. **Dr. Imre Makkay, Antal Turóczy:** *Hungarian Solution for Advanced Tactical UAVs*, in: UAV and UCAV Symposium „Threats and Possibilities in Future Networked Defences” MAY 22nd and 23rd 2003 in Stockholm, Sweden, CD melléklet
2. **Dr. Imre Makkay, Andras Molnar, Antal Turóczy:** *Stabilization concepts of UAVs*, in: 9th UAVNET Meeting 26-27 January 2004, Amsterdam, [http://www.uavnet.com/DL/Document\\_Library/Amsterdam\\_Meeting/UAV\\_stabilization\\_Makkay.pdf](http://www.uavnet.com/DL/Document_Library/Amsterdam_Meeting/UAV_stabilization_Makkay.pdf)
3. **Miklós Koncz, Antal Turóczy:** *Autopilot applications for different UAV airframes*, in: 11th UAVNET Meeting 6-7 September 2004 in Budapest, Hungary, [http://www.uavnet.com/DL/Document\\_Library/Budapest\\_Meeting/Autopilot\\_Koncz.pdf](http://www.uavnet.com/DL/Document_Library/Budapest_Meeting/Autopilot_Koncz.pdf)

# Szakmai önéletrajz

## *Személyes adatok:*

- Név: Turóczy Antal
- Szül. idő: 1977. május 11.
- Lakcím: 1143 Budapest, Stefánia út 18.
- Telefon: 30/952-5117
- E-mail: anti@alarmix.net

## *Végzettség:*

- Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola, levelező doktorandus hallgató
- 1996-2002: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Energiaátalakító rendszerek valamint Elektronikus készülékek tervezése és gyártása szakirányok
- 1992-1996: Bólyai János Elektronikai Szakközépiskola, Budapest

## *Nyelvtudás:*

- Angol: középfokú C nyelvvizsga
- Spanyol: alapfokú C nyelvvizsga.

## *Számítástechnikai ismeretek:*

Office (Word, Excel, PowerPoint), CorelDraw,

CAD és fejlesztői rendszerek:

Orcad (Capture, PSpice, Simulate, Layout), Xilinx CPLD - FPGA fejlesztő rendszer, Analog Devices Visual DSP++

Programozási tapasztalatok:

C, C++, Assembly (Atmel AVR, TMS320Cxxxx, ADSP21xx, Intel), Matlab, Maple, VHDL, Pascal

## *Munkahelyek:*

- 1998 - Bizalom Vagyonvédelmi Rt., rendszergazda, elektronikai vagyonvédelmi rendszerek tervezése

***Tudományos és szakmai tevékenység:***

- 2002-ben a Budapesti Műszaki Egyetemen Irányítástechnika és Informatika Tanszékén háromdimenziós ultrahangos helyzet-meghatározó mérőberendezés kifejlesztése
- 2003-tól a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetemen egyetem hallgatójaként pilótanélküli repülőgépek témakörében kutató-fejlesztői tevékenység
- Beágyazott szoftver-hardver rendszerek fejlesztése
- Távközlési berendezések jelfeldolgozó algoritmusainak implementálása
- DSP és FPGA kódok fejlesztése