

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI ÉS JÁRMŰMÉRNÖKI KAR
KANDÓ KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA
VASÚTI JÁRMŰVEK, REPÜLŐGÉPEK ÉS HAJÓK TANSZÉK

Nagy András

okleveles gépészmérnök

Kisméretű légieszközök mozgásfolyamatát meghatározó mérési és szimulációs környezet fejlesztése

(siklóernyők fordulási tulajdonságainak elemzése)

Tézisfüzet

Témavezető:

Dr. Rohács Dániel

tanszékvezető, egyetemi docens

Budapest

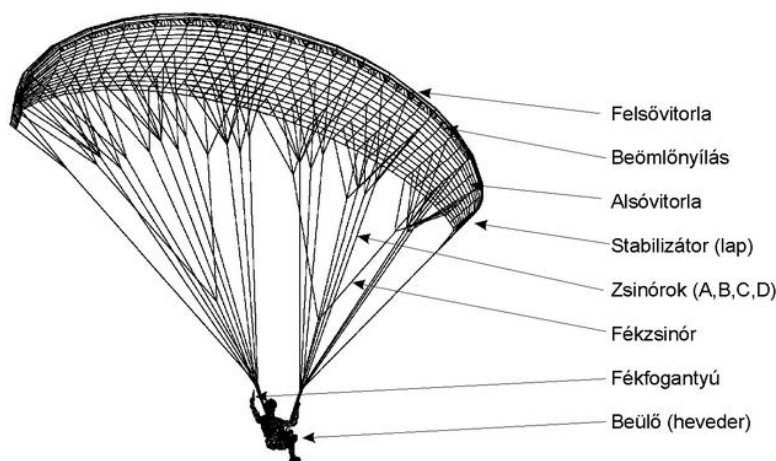
2014

1 Bevezetés, célkitűzés

Jelen disszertáció témája egy adott kisméretű légieszköz-csoport vizsgálata mérés és szimuláció segítségével. A kisméretű légieszközök mára meglehetősen tág csoportot alkotnak, a vitorlázó repülőgépek, egy- és kétmotoros, jellemzően légcsavaros sport- és kedvtelési célú repülőgépek mellett magába foglalja a pilóta nélküli légijárműveket (UAV-k), sárkányrepülőket, siklóernyőket. A disszertációban ez utóbbi, a siklóernyő vált a vizsgálat tárgyává, bár a szerző közreműködésével fejlesztett és szabadalmi oltalmat kapott mérőrendszerek általánosan alkalmazhatók a kisméretű légieszközök esetében.

Siklóernyők repülési tulajdonságai meglehetősen sajátosak, amik a speciális felépítésből adódnak, fő részeit az 1. ábra mutatja.

A siklóernyőzés és ejtőernyőzés között igen éles határvonalat kell húzni. A két eszköz, hasonló felépítése és neve ellenére teljesen más célokat szolgál. Amíg az ejtőernyő (paplanernyő) feladata, hogy a zuhanó ember sebességét annyira lecsökkentsse, hogy a földet érés sérülés nélkül kivitelezhető legyen, addig a siklóernyő repülésre való siklórepülőgép. Az ejtőernyőnek ki kell bírnia a dinamikus, szabadesésben való nyitással járó erőhatásokat, siklóernyőnél nincs ilyen követelmény, hiszen azzal a pilóta a föld felszínéről indul el (startol). A siklóernyő elindulása egy felszállási folyamat, amely ejtőernyőnél nincs értelmezve. A siklóernyő startja során a pilóta nem „ugrik le” a hegyről, a felszállási folyamat utolsó fázisaként elemelkedik a földtől [A7].



1. ábra: Siklóernyő általános felépítése [A7]

A több mint 25 éves fejlesztések eredményeként a mai modern siklóernyő (elődeihez képest) jó siklási tulajdonságokkal bír, könnyű, kis helyigényű repülőgép, amely csúcstechnológiájú anyagokból épül fel. Az eszköz technikatörténetét feldolgozva látható, hogy az eddigi fejlesztési modellek, amelyek döntően kísérleti és tapasztalati eljárásokon alapulnak, kezdik elérni korlátaikat, a siklóernyők fejlődése egyre lassul. A további

fejlődéshez tudományos módszereken alapuló fejlesztési modellek, fejlesztési környezet szükséges.

A disszertáció célkitűzése egy olyan mérési és szimulációs környezet kifejlesztése, amely alkalmazásával lehetőség adódik a siklóernyők repülési, különös tekintettel a fordulási tulajdonságainak tudományos alapokon nyugvó vizsgálatára. További cél, ezen rendszer alkalmazásával a siklóernyők különböző bedöntésű, stacionárius fordulókban uralkodó erőviszonyok vizsgálata.

Magyarországon a kisméretű és a sportcélú légi eszközök mozgásának szimulációjával, mérésével, minősítésével, a méréshez és a repülésbiztonság növeléséhez szükséges érzékelők, műszerek fejlesztésével tudományos szinten alapvetően a BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék oktatói foglalkoznak. A siklóernyőt vizsgálók köre viszonylag szűk. Közöttük [A10], [A11], [A12] alapvetően a siklóernyők mozgásegyenleteivel, azok megoldásával foglalkoznak, míg mások, mint [A13], [A14], [A15] a mozgások mérésével, mérőrendszerek kialakításával foglalkoznak.

A jelenleg létező mérési rendszereket elsősorban a siklóernyők DHV, LTH, AFNOR, stb. rendszerű biztonsági osztályba sorolása céljából fejlesztették ki, az alkalmazásuk is ezen tesztek kvantitatív módon történő kiértékelését célozzák meg. A mérőrendszerek alkalmazása előtt a pilóták szubjektív véleménye, később a tesztrepülések videó felvételei alapján, kvalitatív módon történt a besorolás, így a mérőeszközök bevezetése az objektív munkát segítette elő. A pilótát a siklóernyő műszaki állapotáról, vagy az aktuális repülési állapotról (veszélyes állásszög, túl alacsony vagy magas sebesség, stb.) figyelmeztető rendszer egyáltalán nem terjedt el.

A DHV osztályozáshoz használt mérőrendszer az alábbi adatokat méri és rögzíti [A5]:

- bólintási, bedöntési, csúszási szögek
- X, Y, Z tengely irányú gyorsulások
- függőleges sebesség, barometrikus magasságmérőből 0,5 mp-es átlagolással
- föld feletti sebesség (SOG) pilótához rögzített 5 Hz-es GPS-ből
- barometrikus és GPS repülési magasság

Egy másik mérőrendszer alkalmazásakor a siklóernyő egyik félszárnyához tartozó zsinórsorokban történik erőmérés [A6]. Ez a mérőrendszer az alábbi elemekből épül fel:

- Húzásra optimalizált erőmérőcellák, a zsinórban keletkező húzóerő analóg elektromos jellé történő átalakításához
- Mérőerősítő, jelkondicionáló egység, az erőmérő cellák analóg jelének feldolgozására és A/D átalakítóhoz történő illesztéshez
- Digitális adatgyűjtő egység, a normalizált, kondicionált jel A/D átalakításához, digitális tárolásához, a mérés vezérléséhez

Ez a mérőrendszer viszonylag nagyméretű, nehézkes használatú és a siklóernyő zsinórzatának megbontását igényli az alkalmazott érzékelők beszereléséhez. Ezen hátrányok miatt kizárólag tesztrepülésen használható, sok előkészítést igényel és az áramlásban lévő viszonylag nagyméretű érzékelők valamelyest módosítják az eredeti repülési tulajdonságokat azzal, hogy megnövelik a beülön keletkező ellenálláserő nagyságát.

Siklóernyők szimulációját döntő módon a mozgás szimulációk, a statikus és dinamikus stabilitásvizsgálatok teszik ki. Az általánosan, repülőgépekre alkalmazott 6 szabadságfokú mozgásmodellek segítségével főként hosszdinamikai vizsgálatok zajlottak [A1, A2, A3], amelyek a siklóernyő-pilóta rendszert merev testként modellezi. A siklóernyő nagyfokú flexibilitása figyelembevételével magasabb szabadságfokú modellek is születtek, például 9 szabadságfokkal [A4], ahol a merev rendszert a pilóta és a kupola közé beiktatott térbeli (gömb) csuklóval törték meg. Az ilyen modellek alkalmazása a bonyolultságuk és az ismeretlen paraméterek nagy száma miatt nem terjedt el.

A paraméterek szélsatorna vizsgálatok segítségével történő meghatározására található szakirodalmi forrás, [A8] például szélsatornában mérte a felfújódó kupola keresztmetszetének változását, a kupolán belüli nyomást és a külső szárnyfelület nyomáseloszlását.

Szélsatorna méréseken kívül tesztrepülések végrehajtásával is végeztek modellparaméter meghatározást. [A9] például az emelővonal-elméletet felhasználva állított össze szimulációs modellt, aminek paramétereit tesztrepülések adatait felhasználva határozta meg.

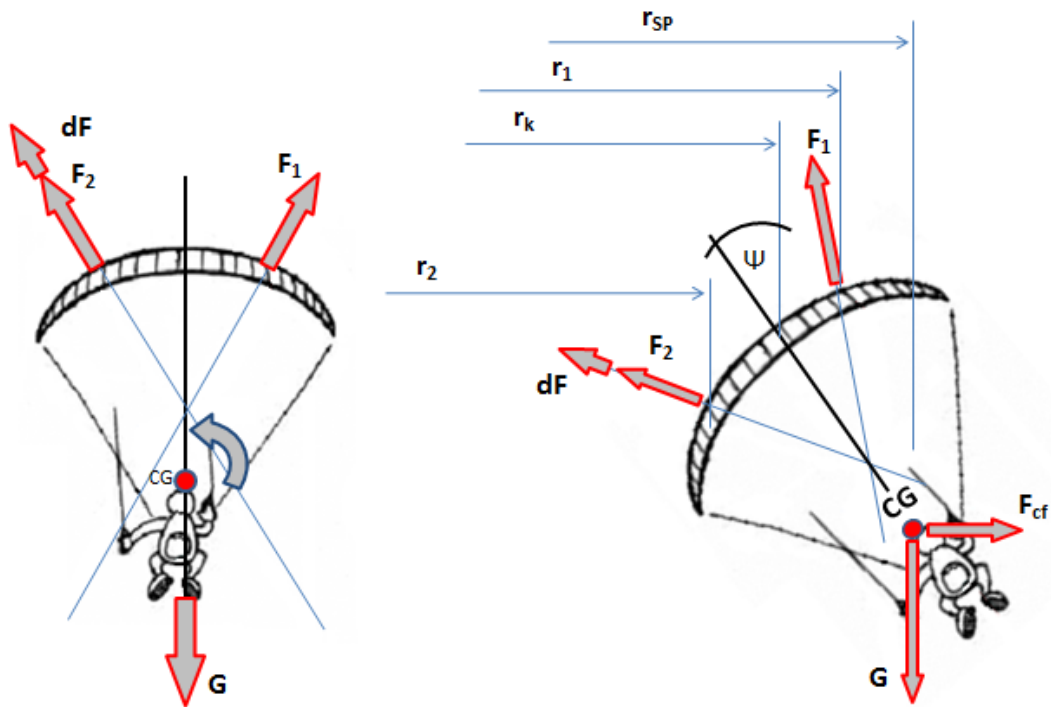
2 Kutatási módszerek

A dolgozatban a céloknak jobban megfelelő, egyszerűbb modell fejlesztettem ki. Tekintve, hogy a vizsgálandó stacioner, csúszásmentes forduló dinamikai hatásoktól mentes, mozgásegyenletek helyett erőegyenletek segítségével építettem fel a matematikai modellt. Ez a dolgozat céljainak megfelelő, de az eddigieknél egyszerűbben parametrizálható és alkalmazható modell létrehozását tette lehetővé.

A felépített modellben a siklóernyő merev testként modelleztem, a figyelembe vett és a stacioner, csúszásmentes fordulóban kialakuló erőviszonyokat a 2. ábra mutatja.

A siklóernyő fordulóban mutatott viselkedése és a forduló végrehajtása eltér a hagyományos repülőgépektől. Hagyományos repülőgépek a fordulót a csűrőkormány kitérítésével kezdik, majd a kívánt bedöntési szögénél azokat semleges helyzetbe állítva a magassági kormányval növelik a forduló által igényelt nagyságban a felhajtóerőt a szárnyakon. Ez a felhajtóerő növekmény a szárny állásszögének változásából adódik, a

szárny felhajtóerő-tényezőjének változásán keresztül.



2. ábra: Siklóernyő fordulójában kialakuló és a modell által figyelembe vett erők

Farokfelület és a szárnyfelületen felfelé kitérhető kormányfelületek hiánya miatt a siklóernyőn nem lehetséges a fordulóban szükséges mértékű felhajtóerő növelést létrehozni az állásszög, így a felhajtóerő-tényező növelése által. Ezt a siklóernyő a siklási sebesség növekedésével állítja elő, amit a bólintási, így a siklási szög növelésével valósít meg. A fordulóban a mozgás tehát spirális pályán történik, amelyben a bedöntési szöggel arányosan növekszik a bólintási szög is.

A 2. ábra bal oldalán látható egy egyenes vonalú siklást végző siklóernyő hátulnézetben, amikor a pilóta éppen a bal oldali fék lehúzásával bal fordulót kíván kezdeni. Ez is a siklóernyő jellegzetes tulajdonsága, hogy bal fordulóhoz a bal félszárnyn kell a felhajtóerőt növelni a fék lehúzásával. Ez könnyen belátható, ha tekintjük a 2. ábra F_2 -vel jelölt, bal félszárnyn keletkező légerők eredőjének hatásvonalát. Ez a súlypont (az ábrán CG) felett halad el, így balra bedöntő nyomatékot generál a bal félszárny erőnövekménye (dF).

A 2. ábra jobb oldalán látható a már kialakult, stacioner, csúszásmentes forduló erőviszonyai, amiben a bal és a jobb félszárny eredő légeroje egyenlő nagyságú. A bal félszárnyn (a forduló belső félszárnján) a kisebb kerületi sebesség miatt kisebb légerők keletkeznek, így a fordulóban tartáshoz a bal oldali féket folyamatosan lent kell tartani, különben a siklóernyő „magától” kijön a fordulóból és egyenes vonalú siklásba megy

át. További hatás a belső és külső félszárny között, a spirális pálya miatt kialakuló állásszög különbség. Az itt leírt két hatás határozza meg jelen modellben a fordulóban tartáshoz szükséges, a fékek lehúzva tartása által biztosítandó erőnövekmény nagyságát. A szimulációs modell szerint felépített szoftvert Matlab[©] környezetben valósítottam meg. A modellparaméterek eredményekre gyakorolt hatását a paraméterek minden ésszerű kombinációjára elvégeztem, bizonyítva ezzel a modell viselkedésének kiszámíthatóságát.

A mérési környezet kifejlesztésekor szem előtt tartottam, hogy felhasználásával lehetőség legyen produkálni a szimulációs környezet validálásához szükséges eredményeket. A szakirodalomban található rendszereknél egyszerűbb, könnyebben alkalmazható és kisebb helyigényű rendszert terveztem és alkalmaztam a disszertáció keretében, amely [B1]-ben szabadalmaztatott elvek szerint épül fel. Ezen elvek szerint [B5]-ben bemutatott barometrikus szenzor is kifejlesztésre és megépítésre került. A szabadalomban jelen disszertáció szerzője társfeltalálóként szerepel.

A kifejlesztett mérőrendszer az alábbi részekből áll:

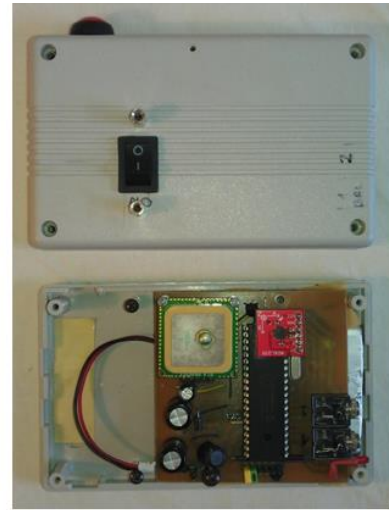
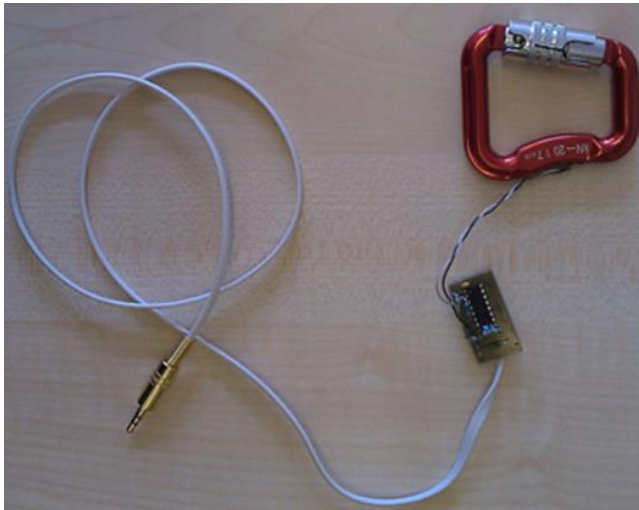
- a) erőmérő szenzor
- b) GPS vevő
- c) 3 tengelyes gyorsulásmérő
- d) adatgyűjtő és vezérlő egység

Ezen komponensek segítségével felépített mérőrendszer alkalmas a siklóernyő két félszárnyán kialakuló légerők eredőjével arányos jel biztosítására, miközben a fordulási sugár is mérhető. A mérőrendszer hardvereinek működtetéséhez szoftverfejlesztésre is szükség volt, ezért Borland Delphi környezetben készítettem egy PC alapú kiolvasó, értékelő szoftvert. Továbbá a mérőrendszerben található mikrovezérlőhöz is készült szoftver MicroPascal környezetben, ami a mérés irányítását, az adatok fogadását, konvertálását és elmentését végzi. A mért adatokat SD memóriakártyára rögzíti az eszköz.

A mérőrendszer részét képező erőmérő szenzor a siklóernyő normál felszereléséhez tartozó karabinerekből alakítottam ki, amely így nem igényli a siklóernyő zsinórzatának megbontását (ellentétben a szakirodalomban található mérőrendszerekkel).

A kifejlesztett mérőrendszer hardverelemeit a 3. ábra mutatja, amin látható, hogy a rendszer mérete az eddigi hasonló rendszerekéhez képest jóval kisebb, felépítése egyszerűbb, előállítása olcsóbb.

A rendszert kalibrációs- és tesztméréseknek vettem alá a disszertáció céljai elérésére irányuló mérések előtt, így a kapott eredmények megbízhatóak és elfogadható hibával terheltek.



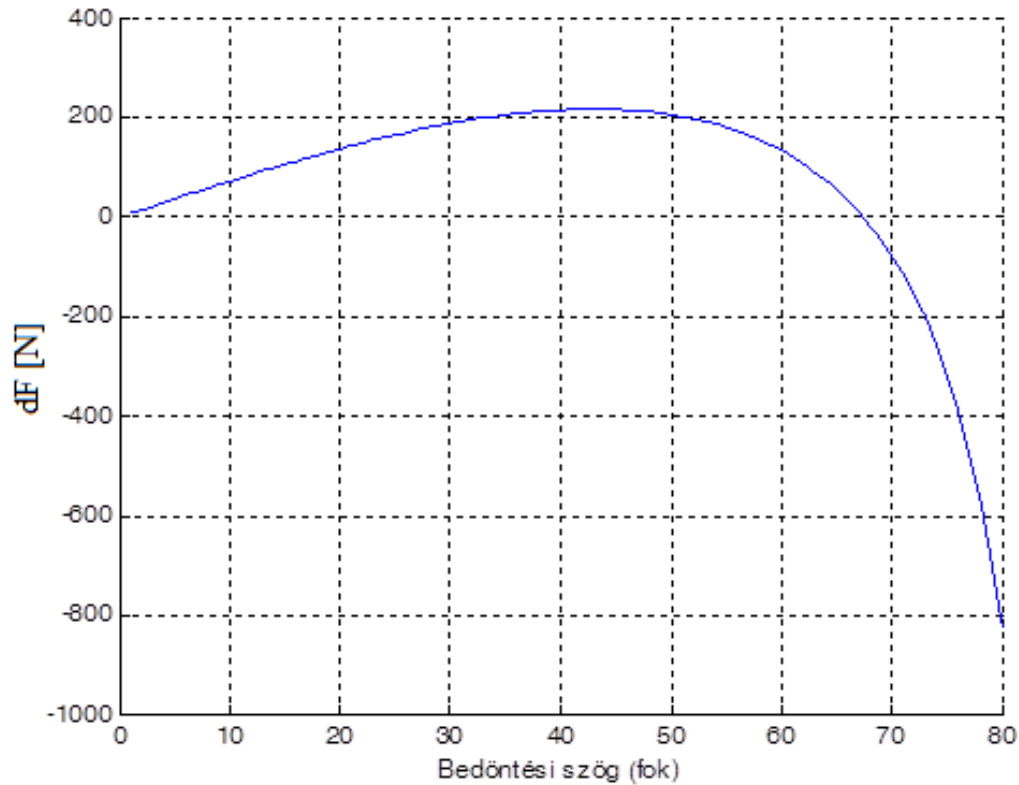
3. ábra: Kifejlesztett erőmérőszenzor (balra) és a mérő- és adatgyűjtő egység (jobbra)

3 Eredmények

A kifejlesztett mérési és szimulációs környezet segítségével egy konkrét típusú siklóernyő (Nova Rookie S) került vizsgálatra. A repülések közbeni méréseket magam végeztem, ezért 40 foknál nagyobb bedöntési szöggel - biztonsági okokból - nem történt mérés. A nagyobb bedöntéssel végrehajtott fordulókat többek között [A16]-ban készített felvételek elemzésére támaszkodva vizsgáltam meg.

A mérési eredmények alapján becsült paraméterekkel végrehajtott szimulációk egyik eredményeként kapott diagramon (4. ábra) a fordulóban kialakuló, félszárnyakon keletkező légerők különbsége látható, a bedöntési szög függvényében. A félszárnyak légerőbeli különbségét kell a fordulóban tartáshoz megszüntetni, a megfelelő oldali fékzsinór lehúzásával, ami eredményeképpen megnövekszik (többek között) a lehúzott oldal állásszöge és felhajtóerő-tényezője. A légerő-különbség ebben a modellben pozitív, ha a forduló szerinti belső oldali félszárnyon keletkeznek kisebb légerők. Látható, hogy egy bizonyos bedöntési szögig (itt 40-45 fok) egyre nagyobb mértékű fékzsinór lehúzás szükséges, majd a nagyobb bedöntésű szabályos fordulóhoz egyre kisebb. Egy ponton pedig megszűnik a fordulóban a félszárnyak erőkülönbsége (ahol az ábrán a függvény metszi az x tengelyt), így ekkora bedöntésnél nem kell kitéríteni egyik oldali féket sem. Ezen a szögön túl egy adott bedöntésen tartáshoz a külső oldalon kell a felhajtóerőt növelni. Ahogy a 4. ábra mutatja, a siklóernyő a $dF(\Psi)$ görbe maximumáig stabil fordulóban marad, annál nagyobb bedöntéseknél instabil módon kezd viselkedni.

A szimulációs modell által adott eredmény, a repülési tapasztalat alapján egybevégt a siklóernyő viselkedésével, egy bizonyos ponton túl növelve a fék lehúzását, a siklóernyő automatikusan egyre nagyobb bedöntésű fordulóba megy.



4. ábra: Fordulóokban kialakuló légerő különbség a bedöntési szög függvényében

A mérőrendszer segítségével rögzített adatok alapján, a szimulációs modell paramétereit úgy változtattam, hogy a kapott $dF(\Psi)$ görbe minél inkább megközelítse a mérési pontokat, hibakritériumként a legkisebb négyzetek módszerét alkalmaztam.

Meghatároztam továbbá a szimulációs modell paramétereit egy konkrét siklóernyőhöz (Nova Rookie S), amelyek segítségével a $dF(\Psi)$ görbe szimuláció eredményéből is előáll.

Ezen modellparaméterek a következők:

- $C_F = 0,9$ (légerő-tényező)
- $C_F^\alpha = 5,6$ (légerő-tényező állásszög szerinti deriváltja)
- $z_1 = 0,39$ m (felszárnyakon keletkező légerő támadáspontjának z koordinátája)
- $y_1 = 2,7$ m (felszárnyakon keletkező légerő támadáspontjának y koordinátája)
- $k = 7,1$ (egyenes repülésben érvényes siklószám reciproka)

4 Tézisek

A disszertációmban bemutatásra került kutatási tevékenység során elért új tudományos eredményeket az alábbi tézisekben foglalom össze:

1. A siklóernyők műszaki, technológiai fejlődési folyamatának elemzésével meghatároztam az alábbi sajátosságokat:

- a. A Siklóernyők esetében – a fontos részeknek, mint a kupolának, vagy a kötélnetnek a tervezési, gyártási sajátosságokra kevésbé érzékeny kis tömegei miatt – a hagyományos repülőgépeknél alkalmazott tömegviszony, illetve létezési egyenlet nem használható az adott tulajdonságokkal rendelkező siklóernyők elkészíthetőségének az értékelésére.
- b. A siklóernyők alapvető repüléstechnikai paraméterei (pl. a siklószám) egy viszonylag gyors és jelentős (a kezdeti értékekhez képest az utóbbi 20 évben akár 120 – 150 %-os) változás után határértékhez közeledve, stabilizálódnak.
- c. A siklóernyők eddigi, alapvetően tapasztalati (empirikus) tervezését – fejlesztését most váltja fel egy tudatos vizsgálatokra (mérésekre) épülő multidiszciplináris cél és objektum orientált komplex fejlesztési – innovációs folyamat. (A sporteszközök mellett megjelentek az adott célokra kifejlesztett siklóernyők, ide értve a pilóta nélküli eszközöket is.)
- d. A siklóernyők szerkezeti sajátosságai (pl. a szellőkésekre érzékeny rugalmas szárny, a szárny és a pilóta, vagy teher súlypontja közti jelentős eltérés) miatt nagy szabadságfokú, nemlineáris egyenletekkel írhatók le, melyek alkalmazásához a szükséges alapadatokat csak kifejezetten erre a célra tervezett mérőrendszerek, repülőképes mérőplatform kifejlesztésével oldható meg.

A tézishoz tartozó publikáció: [B6] [B7]

2. Igazoltam, hogy a siklóernyő repülés közbeni mérése, a fordulási tulajdonságok kvantitatív vizsgálata egyedi mérőrendszer segítségével megvalósítható.

- a. Kifejlesztettem és kísérleti alkalmazásban, légi vizsgálatokban teszteltem a mérőrendszer hardver és szoftver elemeit.
- b. A mérőrendszer a félszárnyakon keletkező légerőkkel arányos mennyiséget mér a siklóernyő karabinereibe integrált szenzorok segítségével.
- c. A repülési pálya 3D rekonstrukciójára készített szoftvert kiegészítettem egy olyan résszel is, amely meghatározza a repülés kinematikai és mechanikai

jellemzőit, pl. a forduló sugarát.

- d. A mérőrendszer elvárt szintű működéséhez - a siklóernyő mozgásdinamikai sajátosságainak figyelembevételével - 10 Hz-es mintavételezési frekvenciát határoztam meg.
- e. A kidolgozott mérőrendszer alkalmazza a jelölt (és társai) P12 00230 ügyszámon szabadalmaztatott megoldásait.

A tézishez tartozó publikációk: [B1] [B2] [B4]

3. Szimulációs eljárás készítésével igazoltam, hogy a siklóernyő stacioner, csúszásmentes fordulójának vizsgálatára statikus erőegyenletek alkalmazhatóak.

- a. A szimulációs modell a forduló erőviszonyait statikus módon vizsgálja, newtoni elveken felírt erőegyenletek segítségével.
- b. A szimulációs modell a siklóernyő két félszárnyának fordulóban jelentkező sebességbeli és légerő-tényezőbeli különbségeit, asszimetriáit veszi figyelembe.
- c. A szimulációs modellhez készítettem egy szoftvert Matlab© környezetben, amit kis bedöntési szögekre saját repülések tanulmányozása során alkalmaztam, míg nagy bedöntésű fordulók esetén a szakirodalomból vett repülésekre terjesztettem ki.

A tézishez tartozó publikációk: [B2] [B3] [B7]

4. A mérési környezet segítségével meghatároztam a szimulációs modell paramétereit egy adott siklóernyőre.

- a. A paraméterek meghatározását a modelltől kapott eredmények, mérési eredményekhez történő illesztésével végeztem, hibakritériumként a legkisebb négyzetek módszerét használtam.
- b. A mérőrepülésekhez használt Nova Rookie S típusú siklóernyő mért és számított modellparamétereire az alábbi, reális értékeket kaptam:
 - $C_F = 0,9$
 - $C_F^\alpha = 5,6$
 - $Z_1 = 0,39$ m
 - $Y_1 = 2,7$ m
 - $k = 7,1$
- c. A becsült paraméterek alkalmazásával végzett szimulációk jól alkalmazhatók a szabályos forduló tanulmányozására, szimulátorokban a siklóernyő

mozgásának a megjelenítésére.

A tézishez tartozó publikáció: [B3]

5. A kifejlesztett mérési rendszert és szimulációs eljárást alkalmazva, a siklóernyő állandó bedöntésű fordulójának fajtáit elemeztem és meghatároztam azok végrehajtásának feltételeit.

- a. Alacsony bedöntésű fordulók esetében a bedöntéssel arányosan növekszik a fordulóban tartáshoz szükséges kormánykitérítés.
- b. Mérsékelt bedöntésű fordulók esetén az egyre nagyobb bedöntésű fordulóban tartáshoz egyre kisebb kormánykitérítés szükséges.
- c. Nagy bedöntésű fordulók esetén ellentétes irányú kormánykitérítés szükséges a kívánt bedöntési szögű fordulóban tartáshoz.
- d. Az alacsony és mérsékelt bedöntésű fordulók közötti határ-bedöntési szög esetén, a félszárnyon, a kormánykitérítés által okozott légerőnövekedés maximális pozitív értékű.
- e. A mérsékelt és a nagy bedöntésű fordulók közötti határ-bedöntési szög esetén a félszárnyak közötti erőkülönbség zérus, így zérus értékű kormánykitérítés szükséges a fordulóban tartáshoz.
- f. A vizsgált siklóernyő típus (Nova Rookie S) esetén az 5-d) pontban leírt bedöntési szög 43° -ra, az 5-e) pontban leírt bedöntési szög pedig 68° -ra adódott.

A tézishez tartozó publikáció: [B3] [B7]

5 Az új eredmények gyakorlati alkalmazhatósága

Az elért eredmények felhasználásával lehetőség van a különböző típusú siklóernyők fordulási tulajdonságainak objektív összehasonlítására. A minősítésnél a fordulási jellemzők meghatározásához is felhasználhatók az itt közölt eredmények, tesztrepülésekkel és a paraméterek ismeretében szimulációval is lehetséges a $dF(\Psi)$ görbe maximum helyének meghatározása, ami a repülésbiztonság szempontjából fontos jellemző. Ezen pont után ugyanis instabil a forduló.

A bemutatott mérési és szimulációs környezet nem csak sport és kedvtelési célú siklóernyők vizsgálatára alkalmas, hanem vizsgálható vele bármilyen hasonló felépítésű repülő szerkezet is. A NASA X-38-as projektjében, a nemzetközi űrállomás tervezett mentőrendszer visszatérő egysége hajlékony szárny (gyakorlatilag egy siklóernyő) se-

gítségével ért volna földet. Főleg katonai alkalmazás a terhek repülőgépről történő precíziós célba juttatását végző irányított paplanernyő, amely a bemutatottakkal szintén vizsgálható.

6 A témához legszorosabban kapcsolódó idegen publikációk

- [A1] M. Ward: Adaptive Glide Slope Control For Parafoil And Payload Aircraft, PhD dissertation, Georgia Institute of Technology, 2012
- [A2] P. V. Zaitsev, A. M. Formal'skii: Autonomous Longitudinal Motion of a Paraglider. Mathematical Simulation, Synthesis of Control, Journal of Computer and Systems Sciences International Vol.47 No.5, 2008
- [A3] A. M. Formal'skii, P. V. Zaitsev: Mathematical modeling of controlled longitudinal motion of paraglider, Computational Mathematics and Modeling, Vol. 24, No. 3, 2013
- [A4] C. Toglia, M. Vendittelli: Modeling and motion analysis of autonomous paragliders, Technical Report n. 5, 2010
- [A5] DHV safety test description: <http://www.dhv.de/web/en/safety/safety-tests/safety-checks-on-ltf-a-and-b-class-paragliders-part-2/>,
letöltve: 2014.04.17
- [A6] Air Turquoise SA: Force measurement on each riser of Sky Paragliders Atis 2, 2007, (www.para-test.com)
- [A7] Z. Benedek, P. Simonics, G. Miklósi: Siklóernyőzés ABC-je, Geo-Agent Kft, 2002
- [A8] Mashud, M. and Umemura, A.: Experimental Investigation of Aerodynamic Characteristics of a Paraglider Wing, Trans. Jpn. Soc. Aeronaut. Space Sci., 2006
- [A9] T. Jann: Aerodynamic Coefficients for a Parafoil Wing with Arc Anhedral - Theoretical and Experimental Results, AIAA 2003-2106, German Aerospace Research Center
- [A10] Gi-Bong Hur: Identification of powered parafoil-vehicle dynamics from modelling and flight test data, PhD dissertation, Texas A&M University, 2005
- [A11] J. R. Chambers: Longitudinal dynamic modeling and control of powered parachute aircraft, PhD dissertation, Rochester Institute of Technology, 2007

- [A12] M.Kurashova; A.Vishnyak: Identification of a paraglider longitudinal aerodynamic characteristics, 13th Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference, 1995
- [A13] Gi-Bong Hur, J. Valasek, System Identification of Powered Parafoil-Vehicle from Flight Test Data, AIAA 2003-5539, AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference and Exhibit, 2003
- [A14] G. Brown: Tethered parafoil test technique, AIAA 10th Aerodynamic Decelerator Conference, 1989
- [A15] M. MASHUD, A. UMEMURA: Three-Dimensional Measurements of Aerodynamic Characteristics of Paraglider Canopy Cells, Trans. Japan Soc. Aero. Space Sci. Vol. 49, No. 165, pp. 146–153, 2006
- [A16] GlideZeit Flugschule Tübingen: Steilspirale Manövervideo GlideZeit Sicherheitstraining, youtube oktatóvideók, letöltve: 2013. 10. 10. - <http://www.youtube.com/watch?v=SLZ84T7mUAo>

7 A témához kapcsolódó saját publikációk

- [B1] Rohács J., **Nagy A.**, Rohács D.: Sportrepülő eszközök beágyazott repülés-technikai műszer-rendszere osztott szenzor rendszerrel, mobil központi egységgel és multifunkcionális kijelzővel, Szabadalmi bejegyzés, 2012.04.23 (közzétéve: 2013.10.28, ügyszám: P12 00230)
- [B2] **A. Nagy**, J. Rohacs: Measuring and Modelling the Longitudinal Motion of Paragliders, ICAS conferece 2012
http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2012/PAPERS/831.PDF
- [B3] **A.Nagy**: Investigation on Turning Characteristics of Paragliders, VSDIA 2014 (megjelenés alatt)
- [B4] **Nagy A.**: Mérőrendszer Siklóernyők Repülésdinamikai Vizsgálatához, Repüléstudományi Közlemények különszám, 2012
http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2012_cikkek/79_Nagy_Andras.pdf
- [B5] **A. Nagy**, J. Rohacs: Barometric sensor for smartphones used by sport and recreational pilots, 6th Int. Conference "Supply on the Wings", 2011, ISBN: 978-3-942939-01-0
- [B6] **A.Nagy**, J.Rohacs: Measurement platform for paraglider's motion simulation

and control, International Review of Aerospace Engineering Vol.6, N.2, 2012, ISSN: 1973-7459

- [B7] Rohács J., **Nagy A.**, Rohács D.: Measurement platform development for the investigation of paraglider turning characteristics, Vol. 1, No. 4, IJMEA-E20140630-6, 2014, ISSN: 2333-9179

8 A szerző további publikációi

- 1 **Nagy, A.**, Rohacs, J., Regert, T.: Investigation on the effect of hydrodynamic MEMS on airfoil, 26th International Congress of the Aeronautical sciences, ICAS (International council of the Aeronautical Sciences), 14 - 19 September 2008, Anchorage, Alaska, USA, ICAS 2008 CD-ROM Proceedings, ISBN 0-9533991-9-2, paper No. ICAS2008-3.10 ST: pp. 10.
http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2008/PAPERS/518.PDF
- 2 Veress, A., **Nagy, A.**, Rohacs, J., Palkovics, L.: Implementation and Testing of an Inverse Design Tool for Redesigning NACA 65-410 Wing Profile, ICNPAA 2010, ISBN: 978-1-908106-18-6
- 3 **Nagy, A.** Szabo A., Rohacs, J.: Monitoring system for in-flight, continuous measurement of pilot's mental state, AIRTEC 1st Aerospace Sensors Conference, 7-8 November, 2012, Frankfurt, Germany, ISBN 978-3-942939-09-6, pp. 1-9.
- 4 **A.Nagy:** Mérőrendszer hajlékony szárnyak repülési tulajdonságainak vizsgálata, Magyar Repüléstudományi Napok 2010, ISBN: 978-963-313-032-2
- 5 **A. Nagy, I. Jankovics:** Measurement of Small Aircraft Pilot's Reaction Time Variation With Psychological Load in Flight Simulator, AIRTEC 2012, ISBN: 978-3-942939-05-8
- 6 **A.Nagy, I.Jankovics:** Tanszéki repülésszimulátor laboratórium modernizálása, Repüléstudományi Közlemények, 2012
http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2012_cikkek/60_Jankovics_Istvan-Nagy_Andras.pdf
- 7 **A. Nagy, I. Jankovics:** Laboratóriumi berendezések mérő és adatgyűjtő rendszereinek korszerűsítése a BME Repülőgépek és Hajók Tanszék hő- és áramlás-technikai laboratóriumában, Repüléstudományi Közlemények, 2012
http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2013_1/2013-1-05-Nagy_Andras-Jankovics_Istvan.pdf

- 8 Rohács J., **Nagy A.**, Rohács D.: Gépek, járművek operator központú integrált felügyeleti rendszere, Szabadalmi bejegyzés, 2012.04.23 (közzétéve: 2013.10.28, ügyszám: P12 00241)
- 9 **Nagy, A.**, Gati, B., Cestino, E., Marzocca, P.: Improved Multibody Model of Flexible Wing, SAE Conference 2014, 10.4271/2013-01-2265
<http://papers.sae.org/2013-01-2265/>
- 10 M. Cassaro, P. Marzocca, **A. Nagy**, G. Ahmadi, M. Battipede: Novel Active Control Strategy for Lco and Flutter Suppression by a Coordinated Use of Multiple Distributed Surface Actuators, ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress & Exposition - IMECE2014
<http://www.asmeconferences.org/Congress2014/ViewAcceptedAbstracts.cfm>
- 11 I. Jankovics, **A. Nagy**, D. Rohács: Developing the air traffic controllers' decision supporting system, MMA Symposium - Innováció és fenntartható felszíni közlekedés konferencia 2014, ISBN: 978-963-88875-2-8