

PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉP REPÜLÉSSZABÁLYOZÓ RENDSZEREINEK MINŐSÉGI KÖVETELMÉNYEI

I. BEVEZETÉS

A pilóta nélküli repülőgépek (Unmanned Aerial Vehicle – UAV), vagy mai modern elnevezéssel, a pilóta nélküli repülő-rendszerek (Unmanned Aerial Systems – UAS) úgy katonai, mint a polgári alkalmazási területeken kiválóan alkalmazhatóak információgyűjtési célból. Mivel a gyakorlatban nagyon sokszor a vizuális látótávolságon túl kell repülni, ezért felmerül a repülés egyes fázisai (pl. felszállás, útvonalrepülés, süllyedés, leszállás stb.) automatizálásának problémája. A legfontosabb kérdés, amely megválaszolása nélkül nem épülhet repülésszabályozó rendszer: milyenek az automatikus repülésszabályozó rendszerrel szemben támasztott minőségi követelmények?! A szerzők célja elsőként bemutatni, hogy az elmúlt időszakban általuk elvégzett végzett tudományos felmérés, és az abból levont következtetések hogyan alkalmazhatóak az UAS rendszerek automatikus repülésszabályozó rendszerei minőségi követelményeinek meghatározására.

II. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az UAV, illetve az UAS rendszerek repülésszabályozó rendszerei mind a mai napig nem rendelkeznek előírt minőségi követelményrendszerrel. Felmerül a kérdés, hogy milyen módon határozzuk meg az UAS rendszerek minőségi követelményeit?! Magától kínálkozik egy egyszerű elv: a pilóta által irányított repülőgép automatikus repülésszabályozó rendszerei rendelkeznek előírt minőségi követelményrendszerrel, így hát alkalmazhatjuk azokat. Tekintettel eme több évtizedes szabályozó-rendszerre, felmerül a kérdés, hogy a benne foglalt normák hogyan alkalmazhatóak az UAS rendszerekre?! Szűkíteni, vagy bővíteni kell azokat?! A pilóták által irányított légi járművekkel szemben támasztott kormányozhatósági-, és irányíthatósági követelményrendszert – összegezve több évtized szakmai tapasztalatát, és kultúráját – az [1] katonai szabvány adja meg. SZEGEDI [2] részletesen foglalkozik UAV repülőgépek repülésszabályozó rendszere szabályozóinak előzetes tervezésével. A UAV és az UAS alkalmazások lehetőségeivel a [7] irodalom mutatja be egy tudományos kutatási program főbb elemeit. Az UAV és az UAS polgári alkalmazásainak lehetőségeit a [3, 6, 9] irodalmak mutatják be részletesen, míg a katonai alkalmazásokkal a [8] irodalom foglalkozik, és mutatja be egy reprezen-

¹ ZMNE BJKMK Automatizálási és Robotikai Intézet, egyetemi docens, oktatási és minőségbiztosítási dékánhelyettes, intézetigazgató, 1581 Budapest, Pf. 15., Email: szabolcsi.robert@zmne.hu

² ZMNE BJKMK Katonai Műszaki Doktori Iskola, PhD hallgató, 8630 Balatonboglár, Móricz Zs. u. 2/a., Email: qualiprox@externet.hu

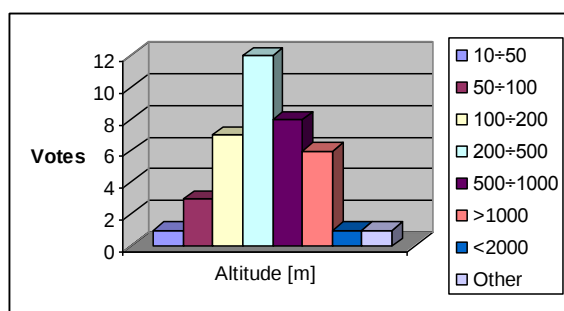
tatív, tudományos felmérés eredményeit. A légköri turbulencia sztochasztikus, és determinisztikus matematikai modelljeit a [4, 5] irodalmak mutatják be. POKORÁDI [10] részletesen foglalkozik a sztochasztikus jelek statisztikai leírásával. A repülőgépek földi kiszolgálásának matematikai modellezésére a Markovi-, és a fél-Markovi sztochasztikus folyamatok leírását alkalmazta, míg a légijárművek fedélzeti műszaki rendszerei diagnosztikai problémáinak leírására, és megoldására szintén a statisztikus módszert alkalmazta.

III. KÍSÉRLETI UAS AUTOMATIKUS REPÜLÉSSZABÁLYOZÓ RENDSZEREINEK MINŐSÉGI KÖVETELMÉNYEI

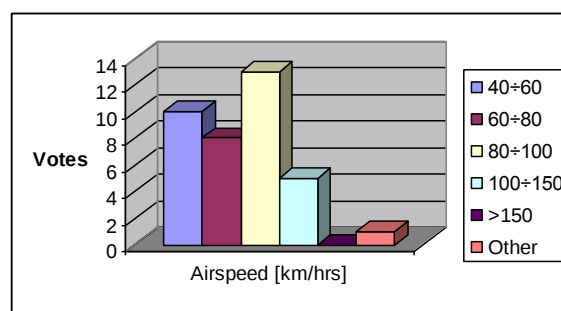
A pilóta nélküli repülőgépek lehetséges polgári, és katonai alkalmazásával kapcsolatban SZABOLCSI országos, reprezentatív tudományos felmérést végzett [3, 8, 9], és kutatási programot hirdetett [7]. E kutatás eredményeképpen, felmérve az alkalmazók elvárásait, az UAS rendszerek, valamint azok automatikus repülésszabályozó rendszerei számára az alábbi fontosabb megállapítások tehetők:

3.1. Kísérleti UAS repülési tartománya

A felmérés eredményeképpen, a kísérleti UAS rendszer repülési tartománya a következő paraméterekkel írható le (1. ábra) [3, 6, 7, 8, 9]:

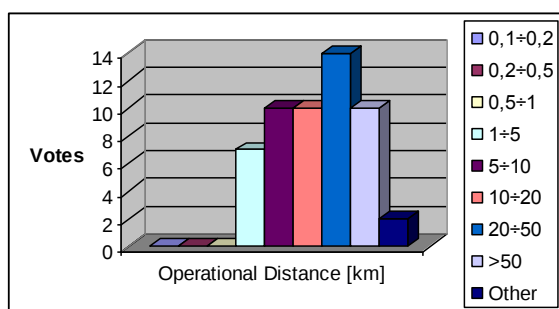


1-a. ábra. Repülési magasság [m].



1-b. ábra. Repülési sebesség [km/h].

Mint az az 1-a., és az 1-b. ábrákon is jól látható, az UAS elvárt tipikus repülési magassága – a válaszadók jelentős része szerint – a $H \leq (50 \div 1000) m$ repülési magassági tartományban helyezkedik el. Az UAS rendszer elvárt repülési sebessége a $v \leq (40 \div 150) km/h$ tartományba esik.



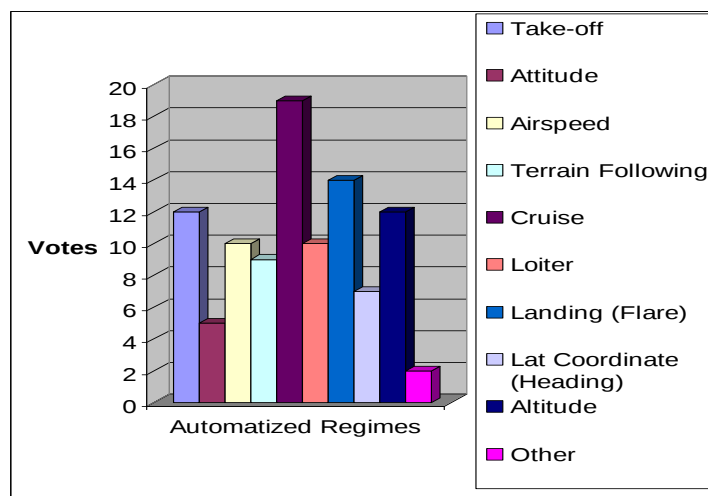
1-c. ábra. Hatótávolság [km].

Az UAS rendszerek elvárt repülési hatótávolsága – polgári alkalmazások esetén – tipikusan az $L \leq (1 \div 50) km$ tartományba esik. Az UAS katonai alkalmazások esetén a válaszadók egy nagy csoportja az $L_{max} \geq 50 km$, valamint attól nagyobb hatótávolságot jelölte meg elvárt követelményként.

Tekintettel a felmérés sajátosságaira, ami kisméretű, korlátozott manőverező képességű UAS rendszerek alkalmazását jelenti, elmondhatjuk tehát, hogy az elvárt hatótávolság maximális értéke $L_{\max} \leq 50 \text{ km}$. A kísérleti UAS rendszer elvárt repülési tartományának paraméterei alapján az UAS rendszer sárkányszerkezete, a hajtómű rendszere, és más repülő-gépészeti tervezése már elvégezhető.

3.2. Kísérleti UAS automatikus repülésszabályozó rendszere tervezett normál repülési üzemmódjai

A felmérés eredményeképpen, a kísérleti UAS rendszer normál repülési üzemmódjai az alábbiak (2. ábra) [3, 6, 7, 8, 9]:



2. ábra. Kísérleti UAS rendszer normál repülési üzemmódjai.

A felmérés eredményeképpen elmondhatjuk, hogy repülés automatizálása annak szinte összes repülési fázisára kiterjed (pl. automatikus fel-, és leszállás; térbeli szöghelyzet (dőlés, bólintás, irány) stabilizálás; repülési sebesség stabilizálása; kismagasságú repülések automatizálása – repülési magasság stabilizálása, emelkedés, süllyedés, egyéb más, magasság változtatással járó manőverek; programozott útvonalrepülések – a felszállás és a leszállás helye között; más üzemmódok – pl. statikus objektumok megfigyelése, adatvesztés esetén „hazatérés” automatikus végrehajtása).

A felmérés eredményeképpen elmondható, hogy a kísérleti UAS rendszerrel szemben támasztott követelmények „vadásziparológép”-szerűek. Könnyen belátható, hogy a kisméretű, korlátozott manőverező-képességű UAS rendszer minden felhasználói elvárást egyidőben nem teljesíthet, ezért szüksége van egy ésszerű kompromisszumra, ami első közelítésben kielégíti a lehetséges alkalmazókat.

A kísérleti UAS rendszer koncepcionális tervezése során az alábbi feltételekből indulunk ki:

1. csak és kizárólag polgári alkalmazásokkal foglalkozunk;
2. az UAS rendszer többször is alkalmazható;
3. az UAS felszállása, valamint a leszállás előtti manőverek, és maga a leszállás kézi irányítású.

Mindezen megfontolások alapján az UAS rendszer alábbi repülési üzemmódjainak automatizálása szükséges: térbeli szöghelyzet stabilizálás; repülési sebesség stabilizálása; repülési magasság stabilizálása. E repülési üzemmódokon a pilóta által irányított légijárművek esetén a minőségi követelményeket az [1] szabvány adja meg részletesen. Tekintettel az UAS rendszer sajátosságaira, a fent felsorolt repülési üzemmódokon az automatikus repülésszabályozó rendszer – megfelelő átmeneti függvényein értelmezett – fontosabb minőségi követelményei legyenek az alábbiak:

Üzem mód	Minőségi jellemzők																	
	Túlszabályo- zás, σ [%]			Csillapítási tényező, ξ			Tranziens idő, t_{ss} [sec] ($\Delta = \pm 10\%$)			Lengésszám, N			Erősítési tartalék, κ , [dB]			Fázistartalék, φ_t , [fok]		
	σ_x	σ_y	σ_z	ξ_x	ξ_y	ξ_z	$\omega_{x_{ss}}$	$\omega_{y_{ss}}$	$\omega_{z_{ss}}$	N_x	N_y	N_z	κ_x	κ_y	κ_z	φ_{t_x}	φ_{t_y}	φ_{t_z}
Csil- lapító auto- mata	$\leq 30\%$			$0,2 \div 0,8$			≤ 2	≤ 4	≤ 3	≤ 5			$\kappa \geq 2$			$\varphi_t \geq 15^0$		

1. Táblázat. A kísérleti UAS rendszer csillapító automatájának minőségi követelményei.

Üzem mód	Minőségi jellemzők					
	Túlszabályozás, σ [%]	Csillapítási tényező, ξ	Tranziens idő, t_{ss} [sec] ($\Delta = \pm 10\%$)	Lengésszám, N	Erősítési tartalék, κ , [dB]	Fázistartalék, φ_t , [fok]
ϑ stabi-lizálás	20	$\leq 0,3$	≤ 4	≤ 3	$\kappa \geq 5$	$\varphi_t \geq 30^0$
γ stabi-lizálás	20	$\leq 0,4$	≤ 3			
ψ stabi-lizálás	30	$\leq 0,3$	≤ 5	≤ 5	$\kappa \geq 2$	$\varphi_t \geq 15^0$

2. Táblázat. A kísérleti UAS rendszer robotpilótájának minőségi követelményei.

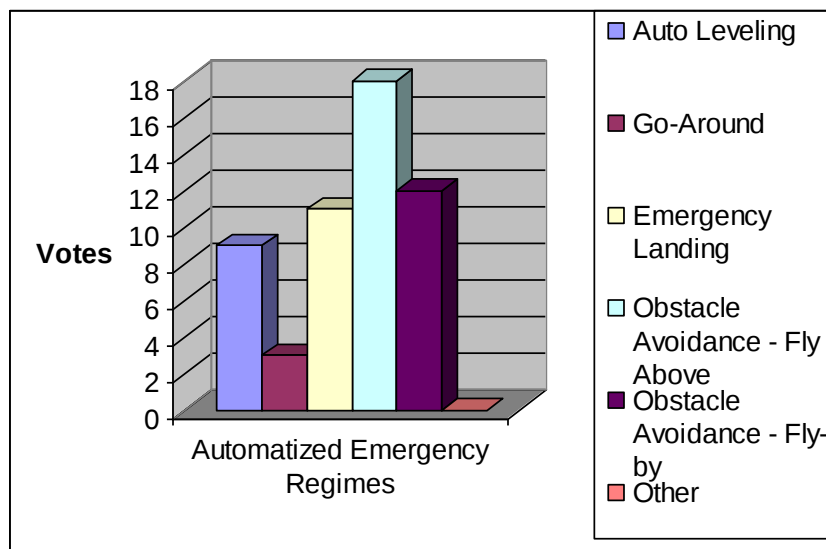
Üzem mód	Minőségi jellemzők					
	Túlszabályozás, σ [%]	Csillapítási tényező, ξ	Tranziens idő, t_{ss} [sec]	Lengésszám, N	Erősítési tartalék, κ , [dB]	Fázistartalék, φ_t , [fok]
„V” stabi- lizálás	5	≤ 0,5	≤ 10	≤ 3	$\kappa \geq 5$	$\varphi_t \geq 30^0$
„H” stabi- lizálás a	10		≤ 5	≤ 5		

3. Táblázat. A kísérleti UAS rendszer pályavezérlő rendszerének minőségi követelményei.

A fenti táblázatokban (1-3) foglalt minőségi követelmények nem teljes körűek, azokat csak és kizárólag a kísérleti repülőgép rövidperiodikus mozgására írtuk fel. Magától értetődik, hogy a későbbiekben a hosszúperiodikus mozgás minőségi jellemzőit is definiálni szükséges. Mivel az [1] katonai szabvány pilóta által vezetett repülőgépre állították össze, ezért mérlegelés tárgyát képezi, hogy az abban foglaltak mely részét fogadjuk el. Egyes részeit (pl. az automatikus repülésszabályozó rendszer alapja a csillapító automata, amely csökkenti a test-koordináta rendszer tengelyei körül a lengéseket), teljes egészében elfogadhatjuk. A szabvány egyes részeit (pl. az utasok komfort érzetét biztosító követelmények, terhelési többszörösök nagymértékű korlátozása stb.) teljes egészében elvetjük el, és végzetül, a szabvány egyes fejezeteit és normáit (pl. több előjelváltó lengés is megengedett), módosítással, az UAS rendszerre történt adaptálás után elfogadhatjuk. Nyilvánvaló, hogy a fenti módszertan csak és kizárólag vonalvezetőt ad a kísérleti UAS komplex minőségi követelményrendszerének meghatározásához. Könnyű belátni, hogy az UAS rendszerrel szemben támasztott funkcionális-, stabilitási-, klimatikus-, és egyéb feltételek meghatározása esetén a fedélzeti automatikus repülésszabályozó rendszerrel szemben támasztott követelmények a rendelkezésre álló szabványok segítségével, illetve a tervező döntéseivel egyértelműen meghatározhatóak.

3.3. Kísérleti UAS automatikus repülésszabályozó rendszere tervezett vészhelyzet-kezelő repülési üzemmódjai

A kísérleti UAS rendszer felhasználók által elvárt, és a veszélyes repülési üzemmódokat kezelő automatizált üzemmódjait a 3. ábra foglalja össze [3, 6, 7, 8, 9].



3. ábra. Kísérleti UAS rendszer vészhelyzet-kezelő automatikus repülési üzemmódjai.

A 3. ábrán jól látható, a legtöbb lehetséges felhasználó a vízszintes repülési helyzetbe történő kivezetést, a kényszerleszállást, valamint a tereptárgyakkal történő ütközés elkerülését tartja a legfontosabbnak.

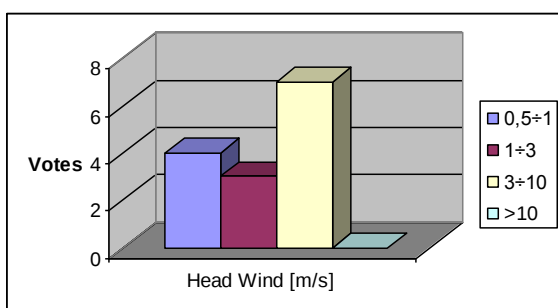
Felmerül a kérdés, hogy a veszélyes repülési üzemmódokon hogyan fogalmazzuk meg az UAS rendszerrel szemben támasztott stabilitási-, kormányozhatósági-, és irányíthatósági minőségi követelményeket?! Tekintettel arra, hogy az UAS többször is alkalmazható, a vészhelyzeti algoritmusok legyenek eleget a következő feltételeknek:

1. tegyék lehetővé a veszélyes repülési helyzetek elkerülését (pl. átrepülés tereptárgyak felett);
2. ha nem sikerül elkerülni a veszélyes repülési helyzetet, akkor tegye lehetővé a biztonságos, minimális sérüléssel járó leszállást.

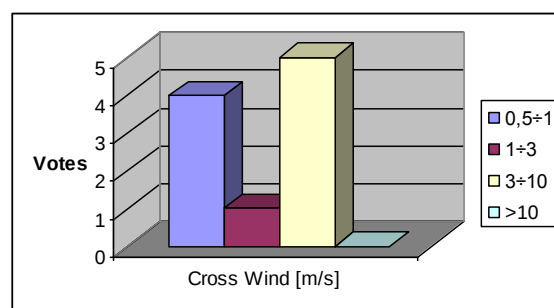
A vészhelyzeti repülési pályák megtervezése után a stabilitási-, kormányozhatósági-, és irányíthatósági minőségi követelményeket már meghatározhatóak. E követelményrendszer felállításához segítséget nyújthat a normál repülési helyzetekre megadott minőségi követelményrendszer.

3.4. Kísérleti UAS repülési feltételei

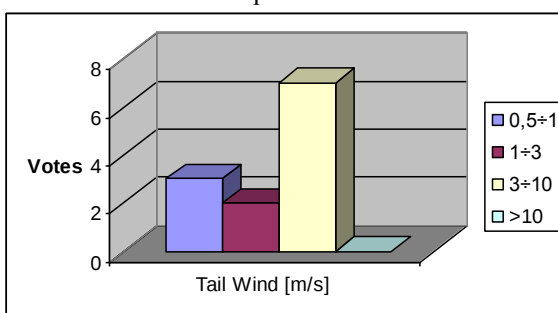
Az UAS rendszerek koncepcionális-, és előzetes tervezése során elengedhetetlen a repülési környezet néhány fontos paraméterének ismerete. A korábban is hivatkozott felmérés adatait a 4. ábra foglalja össze [3, 6, 7, 8, 9].



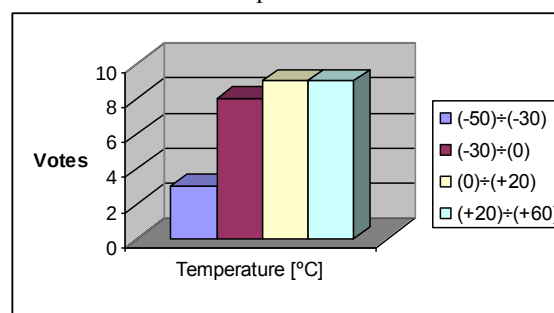
4-a. ábra. Repülés ellenszélben.



4-b. ábra. Repülés oldalszélben.



4-c. ábra. Repülés hátszélben.



4-d. ábra. A repülés környezeti hőmérséklete.

A 4-d. ábra alapján elmondható, hogy a kísérleti UAS tervezett alkalmazásai szélsőséges hőmérsékleti tartományban tartják szükségesnek. Más szóval, a hazánkban mérhető legalacsonyabb hőmérséklet mellett is biztosítani szükséges az UAS rendszer repülését. A felhasználói igények csapadékos időben, és meglehetősen nagy erősségű szélben is szükségesnek (4-a. – 4-c. ábra) tartják az UAS rendszer repülését. E probléma megoldását segítik, és nagyban támogatják a [4, 5] irodalmak, amelyek részletesen taglalják a determinisztikus és a sztochasztikus légköri turbulencia modellek jellemzőit, és azok meghatározását, majd számítógépes szimuláció segítségével – a repülésszabályozó rendszer sza-

bályozóinak előzetes tervezése során is jól alkalmazható – idősorokat hoztak létre kismagasságú turbulencia-modellekre. A széles időben történő UAS alkalmazások előre vetítik, hogy a zárt szabályozási rendszerek kellő robusztussággal kell, hogy rendelkezzenek – ellenkező esetben a repülés alapvető célja sem teljesülhet [4, 5].

IV. ÖSSZEFOGLALÁS

Az UAS rendszerek polgári-, és katonai alkalmazásáról készített felmérés jó alapot ad egy kísérleti UAS rendszer koncepcionális, és előzetes tervezéséhez. A felmérés számos területe fed le. A szerzők e területek közül kiválasztották egy hipotetikus, kísérleti UAS rendszert, amely néhány normál-, és vészhelyzeti repülési üzemmódján megadták a fedélzeti automatikus repülésszabályozó rendszer rövidperiodikus mozgásra vonatkoztatott minőségi követelményeit. A követelmények megfogalmazása során csak részben támaszkodtak a létező, de nem teljesen átvehető szabványokra. A hiányos területeken – saját tervezői tapasztalatuk alapján – maguk fogalmazták meg a minőségi követelményeket.

A normál repülési üzemmódokra a minőségi jellemzők követelmény-rendszere nagyrészt megfogalmazott, míg a vészhelyzeti repülési üzemmódokra a szerzők megfogalmazták az elvi követelményeket. Eme elvi követelmények alapján a vészhelyzeti repülési pályákat megtervezni szükséges, ezután pedig az egyes pályaszakaszokhoz a minőségi követelményeket már hozzá tudjuk rendelni. E feladatok megoldása további vizsgálatokat, és további tudományos kutatómunkát igényel, és a köz-eljövőben a szerzők kutatási területeinek fontos részét képezik.

OPUS CITATUM

- [1] MIL-STD-1797A, Notice 3, Flying Qualities of Piloted Aircraft, Department of Defense, Interface Standard, 2004.
- [2] SZEGEDI Péter: Repülésszabályozó rendszerek szabályozóinak számítógépes analízise és szintézise, PhD értekezés, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola, Budapest, 2005.
- [3] DR. HABIL. SZABOLCSI Róbert: Pilóta nélküli repülőgépek polgári alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata. Elektronikus Műszaki Füzetek IV, MTA Debreceni Területi Bizottság, Debreceni Akadémiai Bizottság, Műszaki Szakbizottsága, pp (59–65), Debrecen, 2007.
- [4] Dr. habil. SZABOLCSI Róbert: Mathematical Models for Gust Modeling Applied in Automatic Flight Control Systems' Design, CD-ROM Proceedings of the "5th International Conference in the Field of Military Sciences 2007", 13-14 November 2007, Budapest, Hungary.
- [5] SZABOLCSI Róbert — MÉSZÁROS György: Computer Aided Simulation of the Random Atmospheric Turbulences, CD-ROM Proceedings of the 6th International Conference on Crisis Management, ISBN 978-80-7231-510-9, pp(366-379), 14-15 May 2008, Brno, Czech Republic.
- [6] DR. HABIL. SZABOLCSI Róbert — MÉSZÁROS György: Pilóta nélküli repülőgépek polgári alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata. „70 éves a légierő” tudományos konferencia CD-ROM kiadványa, Repüléstudományi Közlemények, Különszám, 2008. április 11.
- [7] DR. HABIL. SZABOLCSI Róbert — MÉSZÁROS György: A new initiative – a new scientific research program „computer aided design and analysis of the vehicle systems”, CD-ROM Proceedings of the Vth International Symposium on Defense Technology, ”, HU ISSN 1416-1443, 21-22 April 2008, Budapest, Hungary.
- [8] DR. HABIL. SZABOLCSI Róbert: Some Thoughts on the Conceptual Design of the Unmanned Aerial Vehicle Systems Used for Military Applications, XVI. Magyar Repüléstudományi Napok, BME, 2008. november 13-14, (megjelenés alatt).
- [9] DR. HABIL. SZABOLCSI Róbert: Conceptual Design of the Unmanned Aerial Vehicle Systems for Non-Military Applications, Proceedings of the 11th MINI Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, VSDIA 2008, BUTE, 10-12 November 2008 (in print).
- [10] PROF. DR. POKORÁDI László: Rendszerek és folyamatok modellezése, ISBN 978-963-9822-06-1, Campus Kiadó, Debrecen, 2008.