



1. ábra. Szimulátoros repülőgépvezető-képzés a Thales cég szolnoki szimulátorával (Fotó: Angyalosi Andrea)

Dr. Rohács József*

A személyrepülőgépek biztonsága I. rész

A legújabb tudományos és technológiai eredmények már lehetővé teszik a biztonságos és gazdaságos személyrepülőgépek (Personal Air Transportation System – PATS) építését és alkalmazását. [1][2][3][4] A személyrepülőgépek használatával kapcsolatos költségek (fajlagos teljes élettartam költségei) egy felső-közép kategóriájú gépkocsi hasonló költségeivel azonosak [5]. Az új személyrepülőgépeket a közeljövőben a légi taxi vállalkozások professzionális pilótái mellett, a gépeket birtokló tulajdonosok, bérlők is nagy számban vezetik majd. Ez utóbbiak rendelkezni fognak a szükséges engedélyekkel (repülőgépvezetői jogosításokkal), de viszonylag gyakorlatlanok lesznek, mivel keveset repülnek majd. Ráadásul a repülő-

gép-vezetők úgynevezett „szituáció-elemző – döntési – végrehajtási” tevékenységi folyamata (vagyis a repülőgép vezetése) alapvetően szubjektív folyamat [6][7], amely függ a repülőgép-vezető elméleti ismereteitől, gyakorlati tapasztalatától és az egyéni pszicho-fiziológiai állapotától. Tehát a fejlesztés alatt álló, új személyrepülőgépeket kevésbé gyakorlott repülőgép-vezetők szubjektív rendszerben, aktív módon fogják irányítani. [6, 8] A repülőgépeket és az egész személyes repülési rendszert (PATS) úgy kell kialakítani, hogy az tolerálja az aktív, szubjektív irányítás alkalmazását, vagyis ilyen sajátos feltételek mellett is biztonságos legyen. [9] A repülés igény szerinti személyre szabásának képessége, nagymértékben elosztott légiköz-

ÖSSZEFOGLALÁS: A személygépjárművek módjára használható személyrepülőgépek, a személyes légi forgalom megvalósulása a jövő nagyszerű lehetősége. A feltételek megteremtéséhez nemcsak a technikai hátteret kell megteremteni, de új elveket kell alkotni, mivel a jövő repülőgép-vezetőinek többségében csak limitált repülési gyakorlata lesz. Az új elvek egyik fontos eleme a repülőgép-vezetők szubjektív döntési mechanizmusának elemzése és a szubjektív döntések modellezése. A tanulmány szerzője a repülőgépek vezetését aktív, endogén, szubjektív rendszernek tekinti, és ebből kiindulva elemzi a kisrepülőgépek biztonságát. Az eredményeket a kisrepülőgépek biztonságfilozófiájának kidolgozásakor mindenképpen érdemes figyelembe venni. A tanulmány három fő kérdéskört vizsgálva először a repülőgép irányítását, majd az irányítás szubjektív analizisét ismerteti, végül a vázolt elvek alapján elemzi egy repülőgép leszállását.

KULCSSZAVAK: döntéstámogatás, szubjektív döntés, döntési modellek, személyrepülőgép

ABSTRACT: Small Aircraft Transportation Systems that can be used in the same way as passenger cars, the realization of personal air traffic is a great possibility of the future. To create the conditions for this, the technical background is not enough it also needs to be created new principles, because most pilots of the future will have limited flying experience. An element of the important new principles is an analysis of the subjective decision-making mechanisms of pilots and the modelling of subjective decisions. The author of the study considers the control of small aircrafts as an active, endogenous, subjective system, and based on this analysis, he examines the safety of small aircraft. The results of the analysis is worth taking into account during working out the philosophy of small aircraft safety. Examining three main issues, the study firstly describes the control of the airplane, then the subjective analysis of the control, and finally analyses the landing of an airplane based on the outlined principles.

KEY WORDS: decision support, subjective decision, decision models, Small Aircraft Transportation System

* Professzor emeritus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repüléstudományi és Hajózási Tanszék. ORCID: 0000-0002-4607-9063

lekedési rendszer használatával eddig nem látott mértékű szabadságot és ellenőrzést biztosít. Ez az új képesség, a nagymértékben megnövelt mobilitás és sebesség mellett megköveteli, hogy az internet alapú, számítógépvézérelt jármű- és légtértechnológiák mindenütt megjelenjenek a légiközlekedési rendszerben. A NASA a légtérrel kapcsolatos kutatásokat ebben az új, kiscépes repülési kategóriában (Small Aircraft Transportation) a SATS-projekten keresztül végzi. Az űrügynökség járműtechnológiai fejlesztései a Járműrendszerek Program (Vehicle Systems Program) személyi légi jármű (Personal Air Vehicle – PAV) szektorában valósulnak meg. Természetesen számos más gyártó, kutatóintézet és egyetem is foglalkozik a személyrepülőgépek műszaki és repülésbiztonsági kérdéseinek megoldásával. Ezek a kutatások hasznosíthatók a pilótaképzés folyamatában is, hiszen a kiscépes repülésre történő felkészítés során a fentiekhez hasonló problémákkal találkozhatunk.

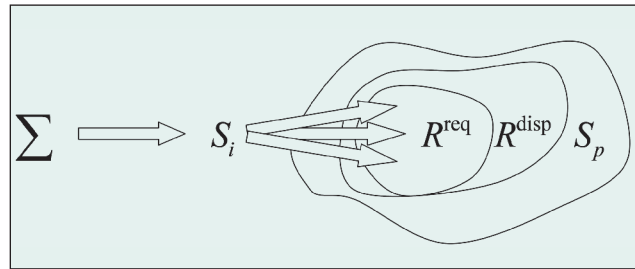
A Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Karán a közelmúltban újraindult pilótaképzést, valamint a NATO kanadai repülőképzésére (NFTC – NATO Flying Training in Canada) történő felkészítést is segítheti a repülőgép-vezetők szubjektív döntési mechanizmusának elemzése. Az elsősorban kiképzési feladatokra, így műrepülési, műszerrepülési, kötélekrepülési, valamint éjszakai kiképzési feladatokra alkalmazható, Zlin Z 143LSi és Z 242L típusú repülőgépek az összetett műrepülési feladatok során a jövő légijármű-vezetőinek kiválasztását segítik. Zlin típusok szolgálnak annak eldöntésére, hogy egy repülőgép- vagy helikoptervezető-jelölt alkalmas-e egy légi jármű vezetésére, a kellő időben a szükséges döntéseket meg tudja-e hozni. A repülőgépvezető pályára jelentkező fiatalok repülőorvosi vizsgálaton esnek át, amelyet a Magyar Honvédség Egészségügyi Központ Repülőorvosi-, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézetben végeznek. A vizsgálat célja annak eldöntése, hogy élettani és pszichológiai szempontból a jelölt alkalmas-e a pályára. Ezt követően kezdődhet a felkészítés annak érdekében, hogy egy repülés közben bekövetkező szituáció, esetleg vészhelyzet esetén a repülőeszköz vezetője a helyes döntést meghozva, a megfelelő eljárást alkalmazza. A repülőképzés¹ 45 óra repülési időből tevődik össze, ám a tizennegyedik repült óra után ellenőrző repülésre (check flight) kerül sor, ahol a repülést értékelő oktató eldönti, hogy a jelölt alkalmas-e önálló („safe for solo”) repülés végrehajtására. A kiképzésnek ebben a fázisában a jelölt az alapfeladatokat – indítás, gurulás, fel- és leszállás, iskolakör, légtér feladatok végrehajtása – már biztonsággal képes végrehajtani, illetve egyes vészhelyzeteket a tanultak alapján képes önállóan kezelni, elhárítani az általa hozott döntések alapján. Képes a szituáció felismerésére, és egy általa kiválasztott megoldás teljesítésére, például kényszerleszállás végrehajtására.²

A REPÜLŐGÉP IRÁNYÍTÁSÁNAK MODELLEZÉSE

ELVI ALAPOK

Napjainkban a fejlett tudományos vizsgálatok során a kutatók kénytelenek sztochasztikus, nemlineáris rendszerekkel dolgozni, amelyek paraméter-bizonytalanságot és rendszer-anomáliákat is tartalmazhatnak.

A rendszer aktív, ha a jövőbeni állapotát a pillanatnyi állapot becslése (ún. „szituáció-elemző – döntési – és végrehajtási”) tevékenységi folyamat) alapján alkalmazott aktív irányítás határozza meg [6][8][9]. A repülőgép-vezető tehát a rendelkezésre álló információk, és a tudása,



2. ábra. A repülőgép-vezető „döntési folyamata” a gép irányításáról (A szerző szerkesztése)

képességei, valamint a pillanatnyi pszichofiziológiai (leterheltsége és mentális) állapota alapján dönt, és aktívan (a kormánysszervek segítségével) befolyásolja a repülőgép további mozgását.

Amennyiben az aktív irányítás belső elemtől ered, akkor endogén rendszerről beszélünk. Mivel a repülőgép-vezető a repülőgép irányítási (vezetési) rendszerének egyik eleme, az irányítás ezért egy belső rendszerlemtől ered, annak értékelő és döntési képességétől függ, tehát a repülőgép irányítási rendszere egy endogén rendszer.

Ugyanakkor az operátor, azaz a repülőgépet vezető személy, mint a repülőgép irányítási rendszerének egyik eleme, szubjektív döntéseket hoz. A rendszer tehát szubjektív is.

A tanulmány célja az ilyen szubjektív, aktív endogén irányítási rendszerek [6][7][8] vizsgálata, és az eredmények felhasználása a személyrepülőgépek leszállásának elemzésére, a személyrepülőgépek biztonságfilozófiájának a fejlesztésben.

A repülőgép mozgása [10][11][12][13][14][15] függ:

- az aerodinamikai és repüléstechnikai jellemzőktől,
- a zavarásoktól (szél, turbulencia),
- az alkalmazott irányítástól.

A repülőgép-vezető (operator – szubjektum) [7][9][16], Σ ,

- azonosítja és megérti az S_i problémát (szituációt), majd
- az elérhető és lehetséges S_p megoldási módszerekből
- kiválasztja a rendelkezésre álló R^{disp} módszereket,
- döntést hoz, és
- alkalmazza a szükséges R^{req} módszereket, eljárásokat.

(2. ábra)

A repülőgép-vezetők aktív forrásokat (saját pszichofiziológiai adottságaikat, azaz fizikai, intellektuális és mentális képességeiket) alkalmaznak, amelyeket a passzív forrásokból (gazdasági, anyagi, informatikai, energetikai lehetőségeikből) határoznak meg:

$$R_a^{req} = f(R_p^{req}) \quad (1)$$

Az operátor (repülőgép-vezető) tevékenységét a passzív források aktívvá alakításának sebességével (v) is szokás jellemezni:

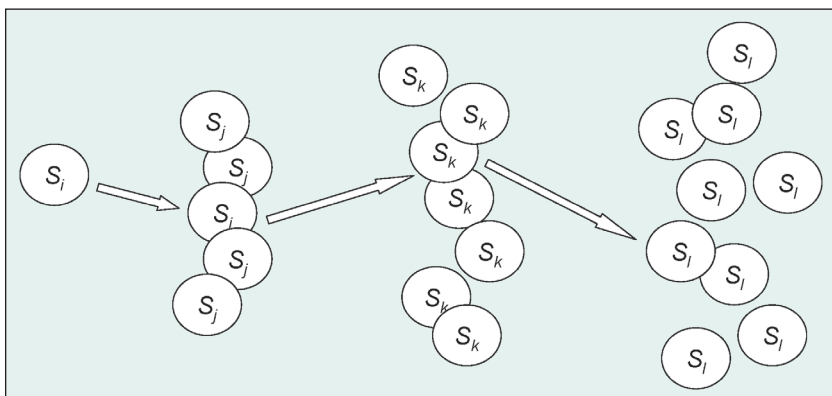
$$v_a^{req} = f_v(v_a^{req})v_a^{req}, \quad (2)$$

amelyet egyszerűbb alakban is megadhatunk:

$$v_a^{req} = \frac{dR_a^{req}}{dt}, \quad v_p^{req} = \frac{dR_p^{req}}{dt}, \quad f_v = \frac{\partial R_a^{req}}{\partial R_p^{req}}.$$

Két fontos sajátosság definiálható:

- a szituációelemzés – a döntés és beavatkozás folyamatsor függ a repülőgép-vezető fizikai és mentális terhelésétől,
- a válaszidő függ a repülőgép-vezető gyakorlottságától. →



3. ábra. A repülőgép-vezetési folyamat, mint szituációk egymásutánisága (A szerző szerkesztése)

SZITUÁCIÓS LÁNC

A repülés során a pillanatnyi állapotot a repülési jellemzők folytonos idejű és folytonos állapotú terében lehet meghatározni. Ez a folytonos – a zavarások és a repülőgép-vezető beavatkozása miatt folytonos sztochasztikus folyamat – időben és állapotterében is diszkrét formában, repülési szituációk egymásutániságaként adható meg. [9][15] A folyamat úgy alakul, hogy a repülőgép-vezető értékeli a pillanatnyi S_j repülési szituációt (3. ábra). Ezután alkalmazza az általa meghatározott irányítást, amelynek – valamint a közben fellépő zavarásoknak – a hatására a repülőgép átvált egy másik S_j repülési szituációba. Ez persze egy sor lehetséges szituációt jelent. A továbbiakban a repülőgép-vezető értékeli és meghatározza a repülőgép új S_j repülési szituációját (állapotát) és ismételten döntést hoz, amelyet alkalmazva a gép átmegy egy következő S_j állapotba. A folyamat így folytatódik tovább. Elvileg a repülési szituációk lehetséges száma egyre nő a repülőgép vezetésével, a repülőgép-vezető azonban – egy idő után – a lehetséges szituációk körét lecsökkentve, elég pontosan képes értékelni a lehetséges szituációt, és képes egyfajta követő rendszerként a repülőgépet a tervezett repülési profilnak megfelelő szituációk sorozatában megtartani.

A szituációk egymásutániságával alkotott lánc matematikai modellje kompakt formában is felírható [7][9][15][16]

$$c(t): (x_0, t_0, \omega(t_f \in [t_0, t_0 + \tau]); R^{disp}(t_0), R^{req}(t_0), \dots), \quad (3)$$

amelynek általánosabb alakja a következő:

$$c(t): (P: \sigma_0(t_0) \rightarrow \sigma_j(t_f \in [t_0, t_0 + \tau]) \in S_f \subset S_a, R^{disp}(t_0), R^{req}(t_0), \dots) \quad (4)$$

ahol x_0 az állapotvektor és a t_0 az idő kezdeti értéke, σ a rendszer állapota az adott t időben, τ az a rendelkezésre álló idő, amely alatt a rendszer új ω állapotba megy át nem később, mint $[t_0, t_0 + \tau]$ alatt, P jelzi azt a feladatot, hogyan menjen át a rendszer egy új $S_f \subset S_a$ lehetséges állapotba a rendelkezésre álló τ idő alatt. Ezt nevezik szituációs láncnak (folyamatnak).

(Folytatjuk)

HIVATKOZOTT IRODALOM

[1] Small Aircraft Transportation System (SATS), The SATS Vision. <http://sats.larc.nasa.gov/main.html> (Letöltve: 2022.6.19.);

[2] Holmes, B.J., Durhan, M.H., Tarry, S.E.: „Small Aircraft Transportation System Concept and Technologies”. *Journal of Aircraft*, Vol. 41, No.1, January-February 2004;

[3] Moore, M. D.: NASA Personal Air Transportation Technologies, http://cafefoundation.org/v2/pdf_tech/NASA.Aeronautics/NasaPavTech.pdf (Letöltve: 2022.9.27.);

[4] Rohacs, J.: PATS, personal Air Transportation System, ICAS Congress, Toronto, Canada, CD-ROM, 2002, ICAS. 2002.7.7.4.1 -7. 7.4.11;

[5] Rohacs, D.: *Non-Linear Prediction Model for the European Small Aircraft Accessibility for 2020*, PhD Thesis, BME, Budapest, 2007.;

[6] Kasyanov, V. A. „Subjective analysis” (in Russian), National Aviation University, Kiev, 2007, p. 512.;

[7] Berger, J. O. *Statistical Decision theory and Bayesian Analysis*, Springer, New York, US, 1985.;

[8] Rohacs, J.: „Subjective Aspects of the less-skilled Pilots, Performance, Safety and Well-being in Aviation”, Proceedings of the 29th Conference of the European Association for Aviation Psychology, 20-24 September 2010, Budapest, Hungary, pp. 153-159.;

[9] Rohacs, J.: „Safety aspects of the personal air transportation system”, 27th International Congress of the Aeronautical sciences, ICAS (International council of the Aeronautical Sciences), 19 - 24 September 2010, Nice, France, ICAS 2010 CD-ROM Proceedings, ISBN 978-0-9565333-0-2, paper No. ICAS2010-10.7.5. p. 12.;

[10] Rácz, E.: „Repülőgépek, egyetemi jegyzet”, Tankönyvkiadó, Budapest, 1978;

[11] Etkin, B., Reid, L. D.: „Dynamics of flight: stability and control” John Wiley and Sons, Inc. 1995;

[12] Stengel, R., F.: „Flight dynamics”, Princeton University Press, 2004;

[13] Lebedjev, A. A., Bobronnikov, V. T., Krasiljsikov, M. N., Maliisev, V. V.: „Statistical Dynamics and optimisation of aircraft control” (in Russian), Masinostroenie, Moscow, 1985.;

[14] Lebedjev, A. A., Bobronnikov, V. T., Krasiljsikov, M. N., Maliisev, V. V.: „Statistical Dynamics of the Controlled Flight”, (in Russian), Masinostroenie, Moscow, 1986.;

[15] Kasyanov, V. A. „Flight modeling” (in Russian), National Aviation University, Kiev, 2004, 400 p.;

[16] Rohacs, J., Kasyanov, V. A.: Pilot subjective decisions in aircraft active control system, *J. Theor. Appl. Mech.*, 49, 1, pp. 175-186, 2011.

JEGYZETEK

- 1 A repüléshez szükséges ismereteket a pilótajelöltek a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar kötelékében, négy éven keresztül sajátítják el. A tényleges repülőképzés az 5-8. félévben történik, de a PPL (Private Pilot Licence – magánpilóta-szakszolgálati engedély) szintnek megfelelő ismereteket a Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszéken már a 4. félévben megszerzik.
- 2 Balla Tibor, Gáspár Tibor: „Zlin Z 242L és Zlin Z 143LSi típusú repülőgépek integrálása a Magyar Honvédség újraindult pilótaképzésébe” *Haditechnika* 55. évfolyam 6. (2021): 38-41. DOI: 10.23713/HT.55.6.07