

Dr. Rohács József*

A személyrepülőgépek biztonsága II. rész

A személygépjármű módjára használható személyrepülőgép – a személyes légi forgalom megvalósulása – a jövő nagyszerű lehetősége. A tudományos és technológiai fejlődés eredményeként a közeljövőben épülő repülőgépek kedvező üzemeltetési költsége miatt várhatóan sokan fognak vásárolni vagy bérelni, és vezetni ilyen gépeket. A jövő repülőgép-vezetőinek azonban viszonylag kevés lesz a repülési gyakorlata, ezért a személyrepülőgépek biztonság-filozófiájának a kidolgozása elengedhetetlen feladat. Az új elvek egyik fontos eleme a repülőgép-vezetők szubjektív döntési mechanizmusának elemzése és a szubjektív döntések modellezése. A tanulmány három fő kérdéskörét tekintve az első rész a repülőgép irányítását vizsgálta, a második rész az irányítás szubjektív analízisét ismerteti, végül a szerző a vázolt elvek alapján elemzi egy repülőgép leszállását.

A MARKOV-MODELLEK

Az aktív rendszerek jövőbeni állapota (esetünkben a repülőgép repülési jellemzőkkel, mint állapotvektorral meghatározott állapota) függ a jelenlegi pillanatnyi állapotától, a rendszer jellemzőitől, tulajdonságaitól, valamint az alkalmazott irányítástól (kontrolltól). Általános esetben a vizsgált rendszer jövőbeni állapotát, pontosabban az állapotváltozás folyamatát nemlineáris, (aerodinamikai) késést és rendszer-anomáliákat (paraméter-bizonytalanságokat) tartalmazó sztochasztikus rendszerdifferenciál egyenletrendszerrel lehet leírni. A differenciál egyenletrendszerekkel meghatározott folytonos idejű, folytonos állapotterű folyamatok minden esetben approximálhatók folytonos idejű, diszkrét állapotterű Markov-láncokkal. [17]

A Markov-modellek³ lehetnek

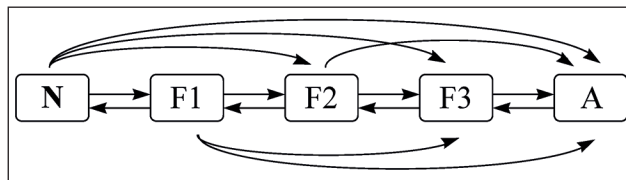
- állandósultak konstans transzfer (állapotváltási) mátrixszal,
- instacionárisak, idő invariáns átmeneti mátrix elemekkel,
- fél-Markoviak, amikor az átmeneti mátrix elemei gyakorlati eloszlásfüggvényekből meghatározottak,
- beépített Markov-modellek, mikor az átmeneti mátrix elemei sztochasztikusan, vagy más Markov modellekkel közelített módon változnak.

A Markov-modelleket a gyakorlatban rendkívül széles körben alkalmazzák, többek között a magyar repüléstudományban is. [18][19][20]

Esetünkben a cél a repülésbiztonság elemzése, ilyen szempontból először a repülőesemények vizsgálata szolgálhatja a kezdeti adatokat.

Amint azt a gyakorlat mutatja, egy veszélyes repülési helyzet és a repülőesemények kialakulásához több, a repülés biztonságát veszélyeztető, különböző súlyú, de egyidőben aktivizálódó körülmény (jelenség, hiba, meghibásodás) vezet el. [21][23] Ezek a hibák többnyire elvileg egymástól függetlenek, de egy időben jelentkeznek.

A repülőesemények bekövetkezéséhez tehát a 4. ábrán vázolt folyamat vezet el. [21] Itt N – normál, F1, F2, F3 –



4. ábra. A repülőgép repülési (légi üzemeltetési) folyamatának egyszerű gráfmodellje (A szerző szerkesztése)

egy, kettő, három meghibásodást tartalmazó állapotok, míg az A – a veszélyhelyzet, a baleset (accident) megjelenése. A nyilak a lehetséges állapotváltások irányát adják meg. Az állapotváltásokat ún. állapotváltás valószínűségének a sűrűségével jellemzik. Jelölje $\beta_{i,j}$ annak a valószínűség sűrűségét, hogy a rendszer az S_i állapotból az S_j állapotba vált, abban az esetben, ha már az S_i állapotban van.

Ekkor viszonylag egyszerűen a Markov-láncrea felírható egyenletrendszer egyértelműen meghatározza a folyamatot:

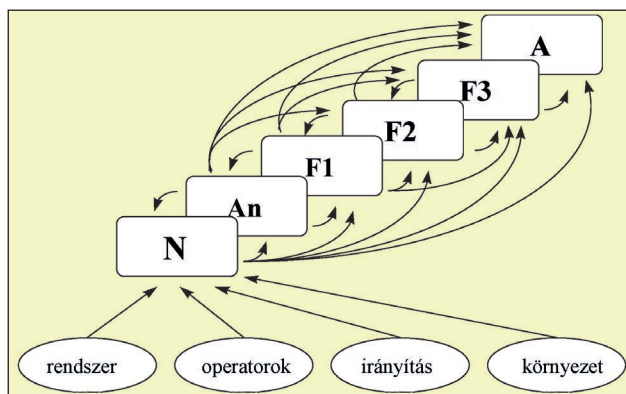
$$\dot{\mathbf{P}}(t) = \beta(t)\mathbf{P}(t), \quad (5)$$

ahol $\mathbf{P}(t) = [P_i(t)]$ annak a valószínűsége, hogy a rendszer éppen az S_i ($i = N, F1, F2, F3, A$) állapotokban tartózkodik, míg a $\beta(t) = [\beta_{i,j}]$ egy időfüggő átmenet-valószínűségi, helyesebben állapotváltási, vagy transzfer mátrix.

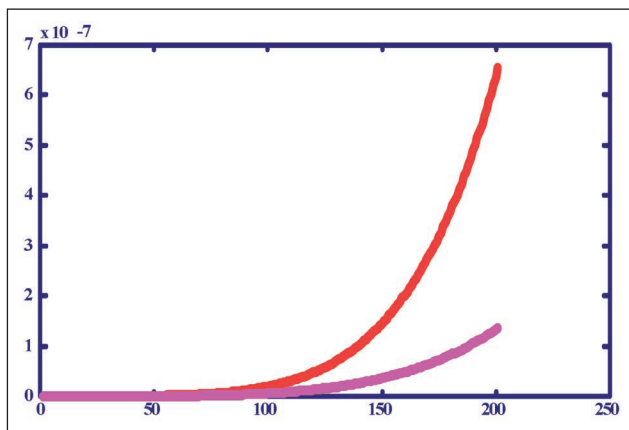
A gyakorlatban a rendszer több, a 4. ábrán vázolt, de „párhuzamosan” működő alrendszerre bontható [22] [23], úgymint rendszer (repülőgép), operátor (repülőgép-vezető), irányítás és környezet, amint az a 5. ábrán is látható.

Itt az An az anomáliák, azaz a névleges jellemzőktől történő eltérések megjelenésére utal. A folyamat sajátossága, hogy az elvileg egymástól független részfolyamatok mégis szoros kapcsolatban vannak. Amennyiben valamelyik alrendszerben megjelenik egy anomália, egy vagy két meghibásodás, akkor az összes többi alrendszerben a hibák megjelenési gyakorisága megnő. Vagyis a hibák megjelenése

5. ábra. Az együttes hibák megjelenésével számoló modell reprezentációja (A szerző szerkesztése)



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



6. ábra. Az anomáliák figyelembevételével (felső görbe) és anélkül (alsó görbe) számított repülési kockázat (A szerző szerkesztése)

nése az egyes alrendszerekben nem abszolút független, azok együttes megjelenésével számolunk. Ezt a

$$\beta_{i,i} = -\sum_{j=1}^m \beta_{i,j} \quad (i \neq j) \quad (6)$$

kapcsolat fejezi ki. Pontosabban az állapotváltási mátrix elemeit a

$$\beta_{ij} = \beta_{i,j,0} + \mathbf{K}_{i,j} \mathbf{P}(t) \quad (7)$$

formában kell megadni, ahol $\beta_{i,j,0}$ az eredeti, vagy kiindulási mátrix eleme, $\mathbf{K}_{i,j}$ az egyes állapotoknak az adott állapotváltási mátrixelemre gyakorolt hatásának a vektora. A $\mathbf{K}_{i,j}$ vektor elemei nullák, ha az adott állapotnak nincs hatása az adott mátrixelemre.

A $\mathbf{K}_{i,j}$ vektorok elemeit az anomáliák elmélete, a gyakorlati tapasztalatok és statisztikai adatok alapján lehet felvenni.

A szimulációs vizsgálatok azt mutatják, hogy az együttesen megjelenő hibákat figyelembe véve, a kockázat a hagyományos módon számított kockázatnak az 50-150-szerese. (6. ábra)

Elvileg ezek a Markov-modellek tartalmazhatják a szubjektív elemek hatásait is. A gyakorlatban azonban nehéz meghatározni, hogyan változnak a transzfer mátrix elemei a szubjektív hatásoktól.

A SZUBJEKTÍV ANALÍZIS ALKALMAZÁSA A REPÜLŐGÉP VEZETÉSÉNEK ELEMZÉSÉBEN

DÖNTÉSI MODELLEK

A szubjektív analízis alkalmazásával vizsgált döntési folyamatokban [17][24][25] általában a legfontosabb és egyben korlátozó tényező a döntéshez szükséges idő:

$$t^{req} = t_{ue}^{req}(\sigma_k) + t_{dec}^{req}(S_a) + t_{react}^{req}(\sigma_k, S_a), \quad (8)$$

amely az adott σ_k pillanatnyi (repülési szituáció) állapot megértéséhez és értékeléséhez szükséges $t_{ue}^{req}(\sigma_k)$ idő, egy adott S_a döntés kiválasztása érdekében meghozandó (irányítási) döntésre felhasználandó $t_{dec}^{req}(S_a)$ idő, valamint a döntés végrehajtására kellő $t_{react}^{req}(\sigma_k, S_a)$ idő összege. Itt a σ_k az összes lehetséges szituációt (állapotot), illetve annak egyik ténylegesen becsült megjelenését jelöli, míg az S_a a

lehetséges és alkalmazható irányítási megoldások halmából választott megoldást jelenti.

Az operátor szubjektív döntéseinek az ún. szubjektív tényezője a szükséges és a rendelkezésre álló időnek a viszonyából adódik [17][24][25]:

$$\bar{r}_k = \frac{R^{req}(\sigma_k)}{R^{disp}(\sigma_k)} = \frac{t^{req}(\sigma_k)}{t^{disp}(\sigma_k)}, \quad (9)$$

amelynek az alkalmazásával bevezethető a szubjektív aktív rendszer ún. endogén tényezője:

$$\varepsilon_k(\sigma_k) = \frac{\bar{r}_k}{1 - \bar{r}_k} = \frac{\tau^{req}(\sigma_k)}{\tau^{disp}(\sigma_k) - \tau^{req}(\sigma_k)}. \quad (10)$$

A (10) a τ a vizsgált rendszer jellemzők alkalmazott képzetes idő, a valós t idő helyett.

A szubjektív analízis alkalmazásakor felteszik, hogy a σ_k lehetséges szituációk szubjektív valószínűsége $P(\sigma_k)$, amely a preferenciák kanonikus eloszlását feltételezve az alábbi formában adható meg:

$$p(\sigma_k) = \frac{P^{-\alpha}(\sigma_k) e^{-\beta \varepsilon_k(\sigma_k)}}{\sum_{q=1}^2 P^{-\alpha}(\sigma_q) e^{-\beta \varepsilon_k(\sigma_q)}}, \quad (11)$$

ahol a $p(\sigma_k)$ a negatív szempontból a lehetséges legjobb alternatívák eloszlását (annak sűrűségfüggvényét) írja le. A kifejezésben szereplő időinvariáns α és β koefficiensek az alkalmazott modell endogén tényezői, azaz a repülőgép-vezető – operátor szubjektív pszicho-fiziológiai sajátosságait jellemzik, amelyek természetesen a repülőgép-vezető leterheltségétől, mentális állapotától is függenek. A repülőgép-vezetők irányítási „minősége” sok tényezőtől, sajátosságtól függ, amelyek között egy „periodikus bizonytalanság” is megjelenik. A döntésre rendelkezésre álló idő lejárta felé közeledve a repülőgép-vezető „bizonytalan” a döntés meghozatalában vagy elvetésében.

Általánosságban elmondható, hogy a $\bar{r}_k = \frac{t^{req}(\sigma_k)}{t^{disp}(\sigma_k)} \rightarrow 0$

esetben a preferenciákat csak a $P(\sigma_k)$ szubjektív valószínűség határozza meg, míg a $\bar{r}_k \rightarrow 0$ esetben a preferenciák nullába „fordulnak”. [24]

Elméleti megfontolások alapján belátható, hogy a (11) a következő függvény megoldásából ered [24]:

$$\Phi_p = -\sum_{k=1}^N p(\sigma_k) \ln p(\sigma_k) - \beta \sum_{k=1}^N p(\sigma_k) \varepsilon_k(\sigma_k) - \alpha \sum_{k=1}^N p(\sigma_k) \ln P(\sigma_k) + \gamma \sum_{k=1}^N p(\sigma_k) \quad (12)$$

Ennek a függvénynek a sajátosságát a szubjektív valószínűség logaritmikus függvényeit tartalmazó hatékonysági függvény szerkezete adja meg:

$$\eta_p = -\sum_{k=1}^N (\alpha \ln P(\sigma_k) + \beta \varepsilon_k(\sigma_k)) p(\sigma_k). \quad (13)$$

A repülőgép-vezető – operátor döntésének komplexitását a (repülési) szituációk értékelésére rendelkezésre álló információk bizonytalansága, a rendszerben meglévő anomáliák (paraméter-bizonytalanságok) és az operátor bizonytalansága (döntési képessége) befolyásolja. Ez utóbbi a rendelkezésre álló döntési idő végéhez közeledve egyre nő. A döntés kialakításához a repülőgép-vezető – operátornak át kell lépnie a saját H_p „entrópia válaszfalát”, amelyet a bizonytalanság normájaként lehet meghatározni a lehet-



séges döntési alternatívák N számának a függvényében [17][24][25]:

$$\bar{H}_p = \frac{H_p}{\ln N}. \quad (14)$$

Az emberi agy működésének sajátosságai

A repülőgép-vezető – operátor legfontosabb sajátossága, hogy döntéseit az agyban lejátszódó folyamatok határozzák meg.

Arisztotelész⁴ azon a véleményen volt, hogy az érzékelés és a gondolkodás szerve a szív, az agy pedig a szív hűtésére tervezett „radiátor” [26]. Persze ma már ezt nem így gondoljuk, de az emberi agy működése még ma sem eléggé ismert.

Az ember „tevékenységeit”, illetve „működését” az agy irányítja, amely a központi idegrendszer legfontosabb része és a külső idegrendszer működésének irányítója. Az emberi agy mérnöki szemmel egy nagy, összetett rendszer, amely alapvetően az egymással kommunikáló idegsejtek, a neuronok hálózatára épül. A neuronokban az információ, mint elektromos folyamat a dendritektől indul, majd a sejtmagon keresztül az axonon át, pontosabban a másik idegsejt dendritjeihez közel lévő axon végződéseken jut el a következő neuronig. Két idegsejt közt az információ egy vegyi folyamat eredményeként adódik át. Ilyen formán vegyi és elektromos folyamatok alapján millió és millió idegsejt kapcsolódik össze az információ feldolgozása, kiértékelése és a megfelelő válaszjelek kialakítása érdekében. [27][28][29]

Az agy, valamint az agy elektromos és vegyi működésére jellemző, hogy

- az agy mintegy százezermilliárd idegsejtet tartalmaz,
- tömege elérheti az 1,4 kg-ot, amely az átlagos ember súlyának 2%-a,
- az agyban az információtovábbítás sebessége eléri a 300 ezer km/h sebességet,
- az agy használja fel az emberi test által felvett oxigén ötödét,
- amennyiben az oxigénellátás 10 másodpercre megszakad, az ember elveszti az eszméletét.

Az emberi agy biztosítja a szervezet működését, homeosztázisát, ugyanakkor felel az érzékelés-észlelés, a gondolkodás, a tanulás és emlékezés magasabb rendű folyamataiért is.

Sajnos még ma is viszonylag szerény ismeretekkel rendelkezünk az agy tényleges kapacitásáról, a gondolkodásról, az emlékezésről, az emlékezéshez szükséges információ „tárolásáról”, a tárolt információ „előhívásáról”, és így tovább. Neumann⁵ [30] is foglalkozott az agy működésével. Úgy vélte, hogy az emberi agy 10^{14} bit hosszú idejű memóriával rendelkezik. Ma a legtöbb tudós egyetért abban [28][29], hogy az emberi agyban mintegy 10^{14} kapcsolat van, és lehetséges, hogy mindegyik kapcsolat egy byte memóriát tartalmaz. Mivel minden neuron (idegsejt) képes 1000 számítást elvégezni másodpercenként. Az emberi agy tehát képes 10^{17} műveletet végrehajtani másodpercenként.

Kohler⁶ [31] meghatározása szerint kétféle nézet létezik a gondolkodás leírására. Az egyik szerint a gondolkodás topografikus, vagyis az idegrendszer működése olyan hálózathoz hasonlít, amelyben a kapcsolatok mindent meghatároznak. A másik a dinamikus gondolkodás, amelyben időfüggő és energiaátadással járó folyamatok játszódnak le az idegrendszerben.

Az emberi gondolkodás másik sajátossága az intuíció. Ez egyfajta megsejtés, a korábbi ismeretek alapján olyas-

minek a felismerése, olyasmire adott helyes reakció megtalálása, amivel korábban nem találkozott a gondolkodó elme. Természetesen jelentős különbség van az ember szándékolt gondolkodása és az állatok ösztönös viselkedése között.

Az ember képes folyamatosan tanulni, az információkat hosszú távon tárolni és akkor előhívni, amikor arra szükség van. A memóriát is többféle módon elemzik és osztályozzák. [27] Az egyik megközelítés szerint alapvetően egy rövid és egy hosszú távú memória létezik. Az első esetben képi, hangis hatásokkal együtt, rövid időre, és viszonylag kisszámú adat, esemény tárolható. A másik a hosszú távú memória, amely során a tapasztaltak jelentését és nem a pontos körülményeket tárolja az emberi agy. Ez utóbbi persze azt is jelenti, hogy előhívási hibák léphetnek fel. A hosszú távú memóriában tárolt információ, beirási, tárolási és előhívási hibák miatt is sérülhet.

Lényegében a gondolkodás lehet intelligencia jellegű, amely az implicit jellegű memórián alapszik, tehát a dolgok felidézése tudatos erőfeszítés nélkül, automatikusan megy végbe, és létezik kreatív gondolkodás, amely az ismereteket, a tárolt információt új formában is képes megjeleníteni.

Az információk tárolása az emlékezetben kapcsolódhat képekhez, szituációkhoz, szagokhoz stb., amelyek segítségével könnyebb a felidézés. Természetesen a tárolt információ lehet igaz vagy hamis, szándékolt vagy szándék nélküli, megértett vagy meg nem értett stb. Mindezek közben a tanulás, a felismerés, a problémaértés, az emlékezés, a döntés mind olyan képesség, amely meghatározza az emberi agy működését, amely nemcsak bonyolult, de gyakran „meglepő”, előre nem látható, mondhatni kaotikus eredményekhez vezethet. Két repülőgép-vezető, elvileg ugyanazon információ birtokában a szakmai tudása, korábbi gyakorlati tapasztalata, képességei és pillanatnyi állapotja alapján különböző megoldásokkal reagál ugyanazon helyzetekre. Ennek a kaotikus jelenségnek kell megjelennie a szubjektív analízisben.

Az operátor működésének endogén dinamikai modellje

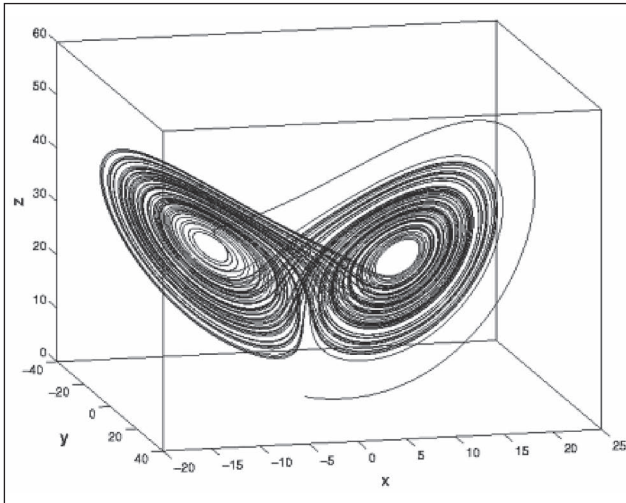
Az emberi gondolkodást egy sor sajátosság jellemezi:

- érzékletek szintaktikai és szemantikai feldolgozása,
- komplex rendszerek alkalmazása,
- párhuzamos gondolkodás és reakciók,
- tanulási képesség, rövid és hosszú távú memória,
- modellalkotási képesség,
- rejtett (gyakorlati) tudás megszerzése, alkalmazása,
- célirányos gondolkodás,
- intuíció,
- kreativitás,
- innovációs képesség stb.

Ezek a sajátosságok kaotikus eredményekhez vezethetnek a döntési folyamatokban. Kasyanov professzor⁷ javaslatára [32] az embernek, mint operátornak a döntési modelljét célszerű egy módosított Lorenz-attraktorral⁸ [33] modellezni:

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= aY - bX - hX^2 + f(t); \\ \frac{dY}{dt} &= -Y - XZ + cX - mY^2; \\ \frac{dZ}{dt} &= XY - dZ - nZ^2. \end{aligned} \quad (15)$$

A (15)-ben az a, b, c, d, h, m, n állandók, az f a zavarásokat veszi figyelembe. Amennyiben $h = m = n = 0$ és



7. ábra. A Lorenz-attraktor (A szerző szerkesztése)

$f(t) = 0$, akkor a modell a klasszikus Lorenz-attraktorra (7. ábra) egyszerűsödik.

A javasolt endogén dinamikai modellben az X – belső endogén paraméter, $Y = \alpha$ és $Z = \beta$ (lásd: 11-es számú képlet).

A SZUBJEKTÍV ANALÍZIS ÉS A REPÜLŐGÉP LESZÁLLÁSA

A REPÜLŐGÉP LESZÁLLÁSA

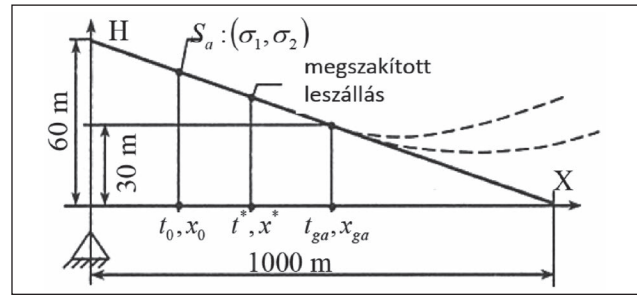
A repülőgép leszállása a repülés utolsó, földet érés előtti szakasza. A nemzetközi előírások szerint a leszállás 50 láb (15 m) magasan⁹ kezdődik, és három fontos szakaszból áll: siklás az előre megadott siklási szögön; felvétel (áttérés a vízszintes repülésre, amely a földet éréssel fejeződik be (amelyet kisrepülőgépek esetén egy ún. kilebegtetés előz meg), és a kigurulási (fékezési) szakasz. A repülésbiztonság szempontjából a bevezetés végső szakaszát is célszerű a leszálláshoz számítani (8. ábra).

1. táblázat. ILS (precíziós) megközelítési minimumok különböző megközelítési kategóriákhoz (A szerző szerkesztése [35] alapján)

Kategória	Döntési magasság
I. kategória	nem alacsonyabb, mint 60 m (200 láb)
II. kategória	60 méternél (200 lábnál) alacsonyabb, de 30 méternél (100 lábnál) nem alacsonyabb
III. A kategória	30 m-nél (100 lábnál) alacsonyabb vagy nincs elhatározási magasság
III B. kategória	15 m-nél (50 lábnál) alacsonyabb vagy nincs elhatározási magasság
III. C kategória	nincs döntési magasság-korlátozás

A sikeres leszállás tehát a bevezetés utolsó szakaszával kezdődik. Amennyiben bármilyen probléma adódik, akkor a repülőgép-vezetőnek fel kell azt ismernie, értékelnie kell, döntést kell hoznia és végre kell hajtania a döntést arról, hogy folytatja vagy megszakítja a leszállást. A teljes szituáció elemzésére, a döntésre és a végrehajtásra a repülőgép-vezetőnek addig van ideje, amíg el nem éri a H_{Dmi}^* minimális döntési magasságot.

A 8. ábra egy egyszerű döntési mechanizmust mutat. Amennyiben a t_0, x_0 repülési helyzetben probléma adódik,



8. ábra. Kisrepülőgép leszállása kevésbé felszerelt repülőtéren (A szerző szerkesztése a [35] alapján)

akkor – leegyszerűsítve az esetet – két döntési lehetőség nyílik meg a pilóta előtt, az $S_a : (\sigma_1, \sigma_2)$ formában, amelyben a σ_1 a leszállás folytatását, a σ_2 a leszállás megszakítását jelöli, amelyek döntési preferenciáit a $p(\sigma_1)$ és $p(\sigma_2)$ eloszlásfüggvények határozzák meg [17][24][34].

A preferenciák „oszcillálnak”, mivel a repülőgép-vezetők bizonytalanok a döntésükben. Ahogy közelednek a döntési magassághoz egyre bizonytalanabbak, leszálljanak-e vagy megszakítsák a leszállást. Ez a belső endogén elemek, folyamatok sajátossága. Ugyanakkor a t^*, x^* (a H_{Dmi}^*) eléréséig dönteniük kell, mivel a kormányzásra a repülőgép bizonyos késéssel reagál, és ha a gép nem kezdi meg a leszállás megszakítását a t_{ga}, x_{ga} repülési állapotig, akkor már nem tudja azt végrehajtani. A késedelmes döntés azt jelenti, hogy a szituáció bonyolultabbá, összetettebbé válik, és előfordulhat, hogy a leszállás megszakítása, a σ_2 esemény már nem lesz a lehetséges megoldások között.

A változatok értelmében a szituációelemzés a következők szerint alakul [24][34]:

$$S_a : (\sigma_2); p(\sigma_2) \begin{cases} \rightarrow S_{a1} : (\sigma_2); p(\sigma_2) = 1; p(\sigma_1) = 0 \\ \rightarrow S_{a2} : (\sigma_1); p(\sigma_1) = 1; p(\sigma_2) = 0 \end{cases} \quad (16)$$

$$p(\sigma_1) + p(\sigma_2) = 1 \quad t \geq t^*$$

A repülőgép-vezető bizonytalanságát az információ-elméleti entrópia értékével szokás jellemezni:

$$\bar{H}_p = \frac{H_p}{\ln N} \quad \bar{H}_p = \frac{p(\sigma_1) \ln p(\sigma_1) + p(\sigma_2) \ln p(\sigma_2)}{\ln 2}, \quad (17)$$

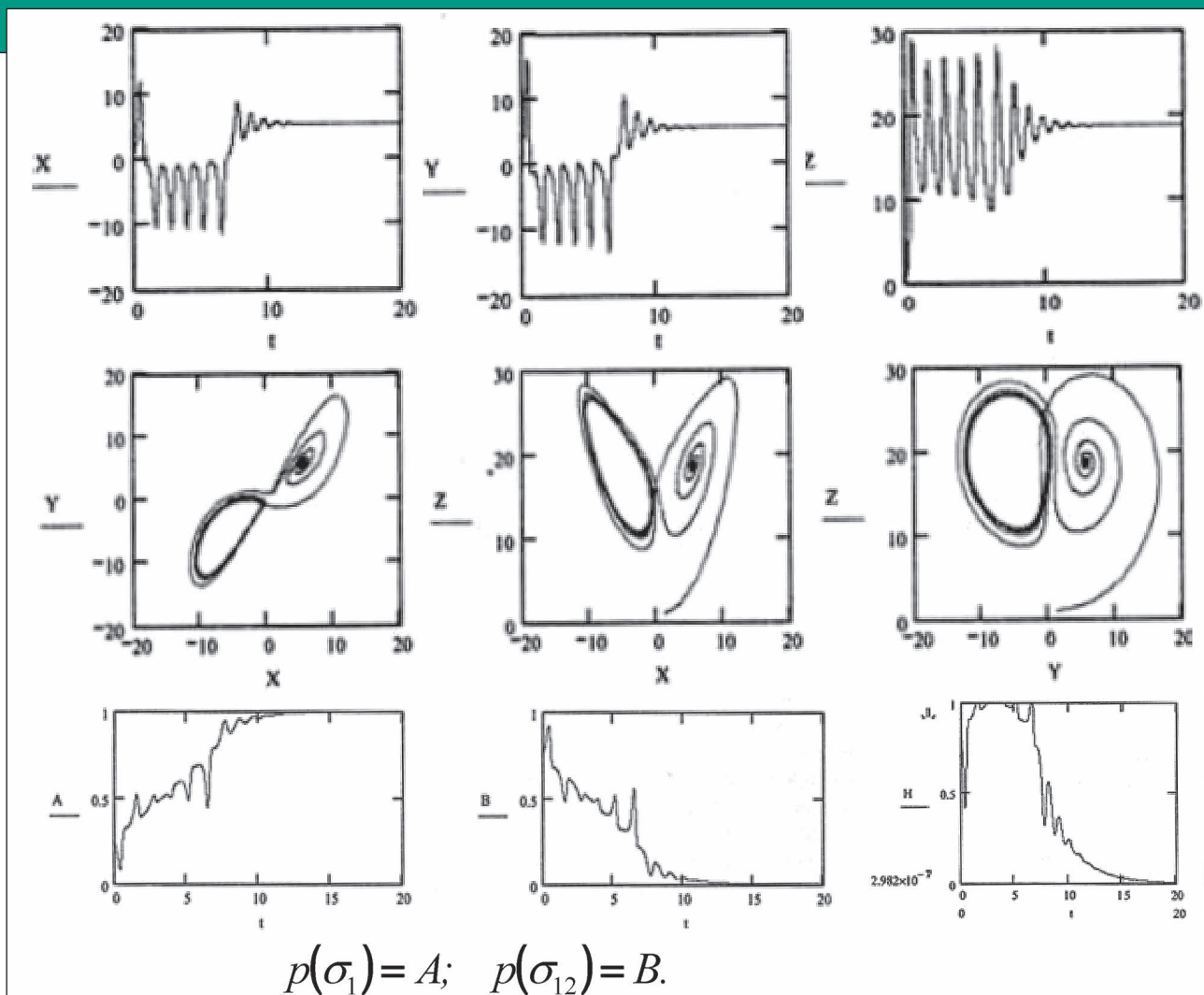
SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATOK

Kasjanov professzor széleskörű vizsgálatok és szimulációs elemzések után [24][34] meghatározta a javasolt endogén modell paramétereit, amelyek egy közepes méretű utas szállító repülőgép (repülőgép tömege: $W = 10^6$ N; szárnyfelület: $S = 100$ m²; szárny karcsúsága: $A = 7$; tolóerő: $T = 9,4 \times 10^4$ N; és a leszállási sebesség: $V = 70$ m/sec) egy kevésbé gyakorlott „hivatásos” repülőgép-vezető esetén a következő értékekre adódnak: $a = 8$; $b = 8$; $c = 20$; $d = 43$; $f = 0,8$; $h = 0,065$; $m = 0,065$; $n = 0,065$. Ezek felhasználásával és a lehetséges esetekre a $P(\sigma_1) = 0,53$, $P(\sigma_2) = 0,6$, valamint a $\varepsilon_1 = 5,5 + 0,01t$, $\varepsilon_2 = 5,4 + 0,04t$ értékeket megválasztva lehetséges két eseményre a következő valószínűség sűrűségfüggvényeket kapjuk:

$$p_1(\sigma_1) = \frac{p_1^{-0,01Z} e^{-Y_{\varepsilon_1}}}{p_1^{-0,01Z} e^{-Y_{\varepsilon_1}} + p_2^{-0,01Z} e^{-Y_{\varepsilon_2}}}, \quad (18)$$

$$p_2(\sigma_2) = \frac{p_2^{-0,01Z} e^{-Y_{\varepsilon_2}}}{p_1^{-0,01Z} e^{-Y_{\varepsilon_1}} + p_2^{-0,01Z} e^{-Y_{\varepsilon_2}}}$$





9. ábra. A kidolgozott szimulációs modell alkalmazása egy közepes méretű repülőgép professzionális repülőgép-vezetőjének a leszállás során követett döntési mechanizmusára (A szerző szerkesztése)

A szimulációs modellt alkalmazva a 9. és a 10. ábrákon bemutatott eredményekhez jutunk.

A 9. ábrán látható, hogy a repülőgép-vezető döntési preferenciái (az A, vagy a B eset melletti döntések) gyorsan változnak. Elfogadva a döntési entrópia 0,7-es értékét (amely még mindig elég nagy bizonytalanságot jelent), a repülőgép-vezetőnek mintegy 7 másodpercre van szüksége, hogy döntsön. (Helyesebb azonban azt elfogadni, hogy a pilóta 10 másodperc alatt hozza meg a döntését.)

Egészen más eredményeket kapunk, ha egy kiváló repülőgép-vezetőre vonatkozó paraméterekkel ($a = 10; b = 10; c = 35; d = 1; f = 0; h = 0,065; m = 0,065; n = 0,065$ és $P(\sigma_1) = 0,53, P(\sigma_2) = 0,6$) számolunk (10. ábra). Ebben az esetben már 3 másodperc is elegendő a megfelelő döntés meghozatalára.

A GYAKORLATLAN REPÜLŐGÉP-VEZETŐK TEVÉKENYSÉGÉNEK SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEI

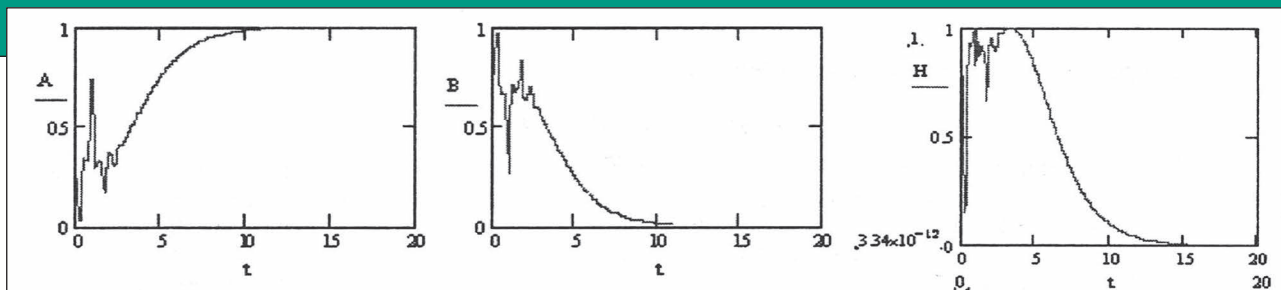
A személyrepülőgépeket többnyire gyakorlatlan (less-skilled) repülőgép-vezetők (tulajdonosok, bérlők) fogják vezetni. Könnyen belátható, hogy a gyakorlatlanabb pilótáknak mintegy ötször több időre van szükségük, hogy a szükséges szituációértékelés, döntés, végrehajtás folyamatot sikeresen megoldják. A 10. ábra alapján belátható, hogy a döntéshez szükséges repülési időt csak akkor lehet biztosítani, ha az előírt siklási szögön repülve a személyrepülőgép sebessége nem lépheti túl a 75 km/órát. A számí-

tott leszállási sebesség egyben azt is eredményezi, hogy a személyrepülőgépek biztonságos fel- és leszálláshoz elegendő egy 250–300 m-es pályával rendelkező, kb. 600 m hosszú repülőtér, amelynek a fel- és leszálló pálya melletti biztonsági zónával növelt része sem lépi túl az 1 km-t.

ÖSSZEZÉS

A személyrepülőgépek teljesen új piaci szegmenst nyitnak meg a polgári repülés fejlődése előtt. A legújabb tudományos és technológiai eredmények felhasználásával készülő repülőgépek üzemeltetési költsége várhatóan nem fogja meghaladni a közepes méretű repülőgépekéit, ezért sokan fognak vásárolni vagy bérelni, és vezetni ilyen gépeket. Mivel a repülőgép-vezetők többségének viszonylag kevés lesz a repülési gyakorlata, ezért egy sor kutatás indult a személyrepülőgépek biztonság-filozófiájának a kidolgozása érdekében. Ezek egyik eleme a gyakorlatlan (less-skilled) repülőgép-vezetők tevékenységének új alapokra helyezett értelmezése, elemzése.

A Kasyanov professzor által javasolt szubjektív analízis módszerét alkalmazva, a gyakorlatlan repülőgép-vezetők tevékenységét egy endogén, aktív, irányított dinamikus rendszerként lehet leírni. A repülőgép-vezetők a repülési szituáció értékelését, a döntést és a döntés végrehajtását tartalmazó folyamatot a saját gyakorlatuk, pillanatnyi pszicho-fiziológiai állapotuk, a repülési szituációk és a rendelkezésre álló ún. passzív és aktív lehetőségeket kihasználva



10. ábra. Kiváló képességű repülőgép-vezető döntési mechanizmusának szimulációs modellje (A szerző szerkesztése)

irányítják a repülőgépeket. A tanulmány bemutatta, hogyan lehet a folyamatot leírni; elemezte a repülőgép-vezetők tevékenységét, és a döntési folyamat leírására bevezetett egy módosított Lorenz-atraktorra épülő modellt, amelyet a repülőgép mozgását és a szubjektív analízis módszereit alkalmazva javasolt használni, és a vizsgálatok alapján a személyrepülőgépek leszállására vonatkozó legfontosabb követelményeket megállapítani.

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [17] Bharucha-Reid, A. T. „Elements of the Theory of Markov Processes and Their Applications”. New York: McGraw-Hill, 1960.;
- [18] Pokorádi L.: „Repülőgépek üzemeltetési folyamatainak markovi modellje”, Kandidátusi értekezés, MTA DT., Budapest, 1996.;
- [19] Bathory, Zs.: „Investigations on Aircraft Uncontrolled Stochastic Motions”, Ph.D. Thesis, Budapest University of technology and economics, Budapest, 2004.;
- [20] Rohacs, J. Bathory, Zs.: „Analysis of Approximation of Aircraft Stochastic Motion by Markov Models”, ICAS Congress, Yokohama, Japan, CD-ROM, 2004, ICAS. 2004.10.2.1 – 4.10.2.10.;
- [21] Rohacs, J., Simon I.: „Repülőgépek és helikopterek üzemeltetési zsebkönyve” (The handbook of airplane and helicopter operation) Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989.;
- [22] Rohács, J., Németh, M.: „Effects of Aircraft Anomalies on Flight Safety” *Aviation Safety VSP*, Utrecht, The Netherlands, Tokyo, Japan, 1997, pp. 203–211.;
- [23] Rohacs, J.: Risk Analysis of Systems with System Anomalies and Common Failures „Progress in Safety Sciences and Technology” Vol. II. Part. A. (edited by Li Shengcai, Jing Guoxun, Qian Xinming), Chemical Industry Press, Beijing, pp. 550–560;
- [24] Berger, J. O. *Statistical Decision theory and Bayesian Analysis*, Springer, New York, US, 1985.;
- [25] 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.;
- [26] Aristotle of Stagira, <http://agclark.myweb.uga.edu/aristotle.html> (Letöltve: 2022.9.27.);
- [27] Russel, P.: *The Brain Book*, Penguin Group, New York, 1979.;
- [28] *The Human Brain*, http://www.solarnavigator.net/human_brain.htm (Letöltve: 2022.9.27.);
- [29] Davidmann, M.: *How the Human Brain Developed and How the Human Mind Works*, <http://www.solbaram.org/articles/humind.html> (Letöltve: 2022.9.27.);
- [30] Neumann, J.: *The Computer and the Brain*, New Haven/London: Yale University Press, 1958.;
- [31] Pylyshyn, Z. W.: „Computers and the Symbolization of Knowledge”, <http://rucss.rutgers.edu/ftp/pub/papers/suffolk.pdf>; (Letöltve: 2022.9.27.);
- [32] Kasyanov, V. A. „Subjective analysis” (in Russian), National Aviation University, Kiev, 2007, p. 512.;
- [33] Strogatz, Steven „Nonlinear dynamics and chaos : with applications to physics, biology, chemistry, and engineering”. Perseus Books, Massachusetts, US, 1994.;
- [34] Rohacs, J., Kasyanov, V. A.: Pilot subjective decisions in aircraft active control system, *J. Theor. Appl. Mech.*, 49, 1, pp. 175–186, 2011.;
- [35] ICAO Annex 6, Operation of Aircraft Part I, International Commercial Air Transport — Aeroplanes Order Number: AN 6-1 ISBN 978-92-9231-536-8 © ICAO 2010 https://www.verifavia.com/bases/ressource_pdf/299/icao-annex-6-part-i.pdf (Letöltve: 2022.10.14.).

JEGYZETEK

- 3 Andrej Andrejevics Markov (Rjazany, Orosz Birodalom, 1856. június 14. – Pétervár, Szovjetunió, 1922. július 20.) Orosz matematikus, aki leginkább a sztochasztikus folyamatokkal kapcsolatos munkáiról ismert. Kutatásának elsődleges tárgya később Markov-láncok vagy Markov-folyamatok néven vált ismertté. (A szerk.)
- 4 Arisztotelész (Sztagira, Görögország, Kr. e. 384.– Évia, Görögország, Kr. e. 322.) Görög tudós és filozófus, a modern európai tudomány atyja és előfutára. Mesterével, Platónnal együtt a nyugati kultúra legnagyobb hatású gondolkodói közé tartozik. (A szerk.)
- 5 Margittai Neumann János Lajos (Budapest, 1903. december 28. – Washington, 1957. február 8.) Magyar származású matematikus, aki a kvantummechanika elméleti kutatásai mellett a digitális számítógép elvi alapjainak lefektetésével vált ismertté. (A szerk.)
- 6 Wolfgang Köhler (Reval, Orosz Birodalom, 1887. január 21. – Enfield, USA, 1967. június 11.) német származású amerikai pszichológus, gestaltpszichológus és fenomenológus, aki nagyban hozzájárult a gestaltpszichológia (alaklélektan) létrehozásához. (A szerk.)
- 7 Prof. dr. Volodimir A. Kasjanov, Nemzeti Repüléstudományi Egyetem, Mechanika tanszék, Ukrajna.
- 8 A Lorenz-atraktor három összekapcsolt nemlineáris, közönséges differenciálegyenletből álló rendszer, amelyet 1963-ban fogalmazott meg Edward Norton Lorenz (West Hartford, USA, 1917. május 23. – Cambridge, USA, 2008. április 16.) amerikai matematikus, meteorológus, a káoszelmélet egyik megalkotója. A differenciálegyenlet-rendszer matematikai egyenletek kaotikus viselkedésével próbálta megmagyarázni a való világ jelenségeit. (A szerk.)
- 9 A légi üzemeltetésről (Air Operations – OPS) szóló bizottsági rendelet tervezetének függelékai REV 29.02.2012 I. függelék p. 4. <https://www.easa.europa.eu/downloads/9799/hu> (Letöltve: 2022.6.22.)