

Járművezetők szubjektív döntéseinek vizsgálata

Rohács J., Rohács, D., Jankovics I.

*Budapesti Műszaki és gazdaságtudományi Egyetem
Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék*

Budapest (jrohacs@vrht.bme.hu, drohacs@vrht.bme.hu, ijankovics@vrht.bme.hu)

Kivonat: A közlekedési rendszerek nagy szociológiai - ökológiai - technológiai rendszerek, melyek biztonságát, fenntarthatóságát meghatározó jelleggel befolyásolják a járművezetők és a forgalom irányítói. A járművezető, mint operátor a jármű irányítás egyik belső (endogén) eleme, aki aktívan avatkozik be a jármű irányításába. Eközben az irányítási döntéseit a valóságos szituációt, szituációs folyamatot elemezve a feladat, információ, munka és mentális (fizikai és pszicho-fiziológiai) leterheltségének, valamint a saját képességei, tudása és gyakorlata alapján szubjektív döntések sorozataként alakítja. A járművezetők szubjektív döntéseinek a vizsgálata új lehetőségeket nyit a járművezetés innovatív továbbfejlesztésére. Ez a cikk új modellt vezet be a járművezetők tevékenységének leírására, a szubjektív analízis módszereit alkalmazza a járművezetők döntési folyamatának az értelmezésében, és bemutatja az operátorok szubjektív döntéseinek a vizsgálatára kidolgozott eljárásokat és azok alkalmazását.

1. BEVEZETÉS

A közlekedési rendszerek nagy szociológiai - ökológiai - technológiai rendszerek, melyek egyfelől fontos társadalmi és gazdasági igényeket szolgálnak ki, biztosítják az emberek és áruk szabad mozgását; másfelől jelentős ráhatásuk van az ökológia rendszer alakulására, a fenntartható fejlődésre, a klímaváltozásra.

A közlekedési rendszerek biztonságát, fenntarthatóságát alapvetően meghatározzák a járművezetők és a forgalom irányítói. Ugyan különböző szinten, de mindketten operátori feladatokat látnak el. A valóságos folyamatokat, mint valóságos helyzetek folyamatát (szituációk sorozatát) elemezve hoznak irányítói, a rendszer további viselkedését, működését befolyásoló döntéseket.

A járművezető, mint a járműirányítás egyik belső (endogén) eleme, aktívan avatkozik be a jármű irányításába. Döntéseit a valóságos körülményeket, a valóságos forgalmi, környezeti, viszonyokat elemezve hozza meg. Ezeket a döntéseket a leterheltsége, terhelése és a saját képességei határozzák meg. A terhelést négy fontos elem befolyásolja: a feladat, az információ, a munka és a mentális (fizikai és pszicho-fiziológiai) terhelés. A saját képességek az egyéni fizikai és mentális képességek, az általános (pl. fizikai) és a szakmai (jármű szerkezeti, mozgásdinamikai) ismeretek, valamint a gyakorlati tapasztalatok együttesen jellemzik a járművezetők döntéseit (képességét a döntésre). A terheléstől és a saját képességektől függően a járművezetők szubjektív döntéseket hoznak. A döntéseket azonnal és aktívan a folyamatokba, a jármű irányításába beavatkozva hajtják végre. Ilyen formán a jármű és vezetője folytonos kölcsönhatásban van. Az ilyen

ember - gép kapcsolatot, amikor az operátor a teljes rendszer egyik belső, sajátos tulajdonságokkal rendelkező eleme, endogén és ergatikus rendszernek nevezik. Endogén mivel az irányítás az rendszer belső elemétől az operátortól ered. Ergatikus, mivel a az ember, a rendszer eleme.

Belátható tehát, hogy a járművezetés egy endogén, ergatikus, aktív és szubjektív rendszerben valósul meg. Ezen felfogás következménye, hogy a járművezetők viselkedésének és különösen a döntéseik modellezéséhez alkalmazni kell a szubjektív analízis módszereit.

A járművezetők szubjektív érzékelésével ötven évvel ezelőtt is foglalkoztak (lásd pl. (Denton 1966)). Már a kezdeti vizsgálatok során megállapították, hogy a járművezető és a jármű dinamikai jellemzői nem választhatók szét, azok kölcsönhatásban vannak (Rashevsky 1962). Ennek ellenére a járművezetők tevékenységét sokáig mégis két különböző nézőpontból vizsgálták. Egyfelől a járművezető modelljét transzferfüggvényként adták meg és annak paramétereiben vették figyelembe a vezető pszicho-fiziológiai tulajdonságait és a kapcsolódó ergonómiai sajátosságait (Macadam 2003). Másfelől kidolgozták a járművezetők mentális állapotának a mérésére szolgáló eljárások egész sorát (De Waard 1996) bele értve a szubjektíve tényezők vizsgálatát is. Közben jelentős munkát végeztek a járművezetők képességeinek a modellezésének a fejlesztése érdekében (Michon 1985) és a képességek és a közlekedési balesetek közötti kapcsolat feltárására (Evans 2004) . Végül a nagyfokú automatizálás, az intelligens rendszerek, intelligens közlekedés fejlesztése elvezetett a járművezetők kognitív (észlelési) és dinamikai modelljeinek az összekapcsolásához (Salvucci 2006, Boyraz et al. 2009).



CAETS

„IFFK 2015” Budapest

Online: ISBN 978-963-88875-3-5

CD: ISBN 978-963-88875-2-8

Paper 03

Copyright 2015 Budapest, MMA.

Editor: Dr. Péter Tamás

Ez a cikk továbbfejleszti a járművezetők modellezését: új modellt vezet be a járművezetők tevékenységének leírására, a szubjektív analízis módszereit alkalmazza a járművezetők döntési folyamatának az értelmezésében, és bemutatja az operátorok szubjektív döntéseinek a vizsgálatára kidolgozott eljárásokat és azok alkalmazását.

Ez a munka közvetlen kapcsolódik a BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszékén folyó kutatás-fejlesztéshez, azon belül a matematikai modellek (Zare, Veress és Beneda 2013; Bicsak, Hornyak és Veress 2012) szimulációs eljárások (Beneda 2013), a szimulátorok (Korody 2007; Nagy, Jankovics 2012; Hargitai, Simongati 2015) és a mikroérzékelők (Nagy, Rohacs és Rohacs 2014) fejlesztéséhez, alkalmazásához és a humán tényezők, a járművezetők szubjektív döntéseinek vizsgálatára alkalmas eljárások kutatásához (Korody 2003; Nagy, Rohacs és Szabó 2012, Rohacs 2012).

2. A JÁRMŰVEZETŐ MODELLJE

A modell a valóságnak a vizsgálat szempontjából fontos tulajdonságainak a visszatükrözése. A modell sokféle formában megjelenhet. Léteznek elvi, fizikai, matematikai, vagy más osztályozás szerint verbális, vizuális, analitikai, demonstrációs, stb. modellek.

A járművek irányítása szempontjából a járművezető modelljének a megalkotásakor a megismerésnek, a szituáció elemzésnek, azaz a kognitív képességeknek kell a központban állniuk. A szituáció a valóság pillanatnyi elemét jelenti. A járművezetés szempontjából a pillanatnyi helyzetet, az adott pillanatban a jármű helyzete, dinamikai állapota és a környezet (infrastruktúra, környezeti, időjárási viszonyok, környező forgalom) állapota együttesen határozzák meg. A szituáció elemzés, más néven helyzetfelismerés a helyzet és az azt értékelő egyén interakciója során valósul meg. Endsley (1995a) szerint a szituáció megismerés (helyzetfelismerés) az elsődleges alapja a döntéseknek, a dinamikus rendszerek üzemi jellemzőinek a biztosításában. A szituáció megismerés és döntés lényegében három szinten valósul meg (Endsley 1995b):

- i. a helyzet "körülhatárolása" és kulcselemeinek a megismerése,
- ii. a pillanatnyi helyzet megértése és ezen tudás integrálása, egyeztetése a rendszer üzemeltetési (működési) céljaival,
- iii. képesség a rendszer jövőbeli állapotainak az előrelátására.

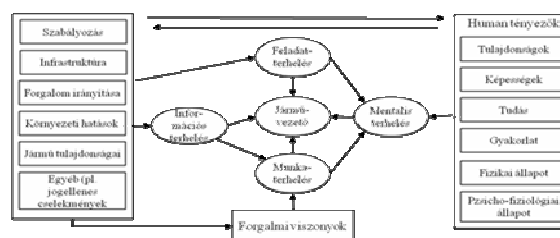
A járművezetők pontosan a helyzetértékelés ezen három szintjén áthaladva jutnak el a szükséges irányítás és az annak végrehajtását biztosító beavatkozások felismeréséhez, illetve meghatározásához. A beavatkozás hatására és az idő haladásával a jármű új helyzetbe, szituációba kerül. A járművezetőnek ezt az új helyzetet is fel kell ismernie.

A helyzetfelismerés és döntés természetesen függ a járművezető személy (human) tulajdonságaitól, képességeitől, tudásától, gyakorlatától és terhelésétől (leterheltségétől). A helyzetfelismerést a stressz segíti, a mentális terheltség csökkenti.

A helyzetértékelés - elemzés - döntés folyamat tanulmányozásának már a korai szakaszában Rasmussen (1986) három szintet határozott meg:

- i. képesség alapú irányítás - normál, szokványos helyzetekben a járművezető könnyen felismeri a valós helyzeteket, a jármű mozgásállapotát, könnyen dönt és - a gyakorlati tapasztalata, tudása alapján - szinte automatikusan avatkozik be, irányítja a járművet,
- ii. szabály alapú irányítás - a járművezető a helyzetet értékeli és a szabályokat (közúti közlekedésben a KRESZ-t) követve cselekszik,
- iii. tudás alapú irányítás - konfliktus, veszélyes helyzetekben a járművezető a saját tudása és gyakorlata alapján dönt a szükséges beavatkozásokról.

Az értelmezettek alapján a járművezető modelljét az 1. ábra szerint lehet megadni.



1. ábra: A járművezető modellje

A modell azt mutatja, hogy a járművezető munkáját közvetlen befolyásolja a végrehajtandó feladat, feladatok mennyisége. A rendelkezésre álló információ, mely egyre gyakrabban több forrásból elérhető és a előfordul, hogy az elérhető információk nem harmonizálnak (pl. a rádió más időjárásról beszél, mint ami körülveszi a vezetőt). Az információ mennyisége és "többcsatornás" megjelenése ma már gyakran információs terheléshez, egyfajta információs leterheltséghez, sőt "túlterheltséghez" vezet (Pauzié, Manzano 2007). Egyébként a vezető támogató rendszerek egyelőre inkább növelik a járművezető terhelés. Közismert pl. mennyi bal esetet okoz a GPS használata, a navigációs rendszerek hibásan "felkínált" útvonalának a követése. A munkaterhelés függ a jármű adottságaitól (pl. szervokormány, automata sebességváltó), a forgalmi viszonyoktól a járművek mennyiségétől és a forgalom intenzitásától), a környezeti adottságoktól (az úttest felületétől, légköri viszonyoktól, csapadéktól) és persze a járművezető fizikai és mentális adottságaitól. Végül a járművezető tényleges mentális (fizikai és pszicho-fiziológiai állapota - fáradtsága, reakciósebessége, stb.) is külön figyelmet érdemel. A mentális állapotot gyakran összefoglalóan a járművezető állapotaként határozzák meg (Carlsten 2010).

A mentális terhelés és a vezetői tulajdonságok közt egyértelmű a kapcsolat (Pereira da Silva 2014). Sajnos még az is feltételezhető, hogy a vezetők egy része nincs felkészülve (nem alkalmas) a mai modern, nagysebességű személygépkocsik, motorkerékpárok vezetésére (Pereira da Silva 2014).

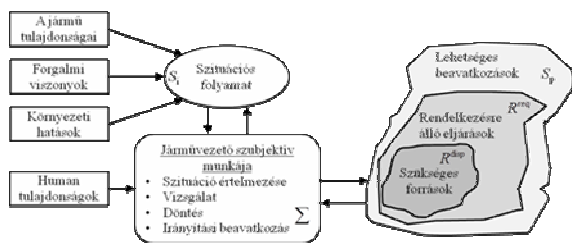
3. A JÁRMŰVEZETŐ HELYZETFELISMERÉS - ELEMZÉS - DÖNTÉS MODELLJE

A járművek mozgása függ

- a járművek teljesítmény adataitól, dinamikai tulajdonságaitól,
- a közlekedési körülményektől, ide értve a pálya sajátosságait, a természeti (időjárási) körülményeket, a közlekedésben résztvevő járművek összetételét, a forgalom intenzitását, a forgalom irányítását,
- a zavaró hatásoktól (oldalszél, jegesedés, pályahibák, balesetek),
- és az aktív, a járművezető által alkalmazott irányítástól.

A járművezető helyzetértékelés - döntés alapján irányítja a járművét. Ez a folyamat szubjektív döntésekre épít. Ezért célszerű a helyzetfelismerés - elemzés - döntés folyamat vizsgálatához bevezetni a szubjektív analízis módszereit (Kasyanov 2007; Rohacs, Kasyanov 2011; Rohacs 2012).

A járművezető helyzetfelismerés - elemzés - döntés folyamatát a 2. ábrán bemutatott folyamat alapján lehet értelmezni.



2. ábra: A járművezető helyzetfelismerés - elemzés - döntés folyamata

A járművezető (operator - szubjektum), Σ ,

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

az elhatározott működési célok (biztonságos utazás és az úti cél) elérése érdekében.

A járművezető ilyenkor un aktív forrásokat (saját pszichofiziológiai adottságait, azaz fizikai, intellektuális és mentális képességeit) alkalmazza, melyeket a passzív forrásokból

(gazdasági, anyagi, informatikai, energetikai lehetőségeikből) határoz meg:

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

Az operator (járművezető, vagy akár a forgalom irányítója) tevékenységét a passzív források aktívvá alakításának a sebességével (v) is szokás jellemezni:

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

amit egyszerűbb alakban is megadhatnak:

$$v_a^{req} = \frac{dR_a^{req}}{dt}, \quad v_p^{req} = \frac{dR_p^{req}}{dt},$$

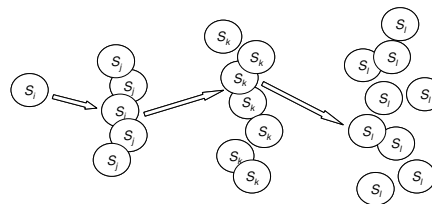
$$f_v = \frac{\partial R_a^{req}}{\partial R_p^{req}}.$$

Két fontos sajátosság definiálható:

- a helyzetelemzés - értékelés - döntés és beavatkozás folyamatsor függ a járművezető fizikai és pszichofiziológiai terhelésétől,
- a reakció idő pedig a járművezető gyakorlottságától (gyakorlati tapasztalatától) függ.

A jármű mozgásakor a pillanatnyi állapotot a mozgásjellemzők folytonos idejű és folytonos állapotú terében lehet meghatározni. Ez a folytonos, a zavarások és a járművezető beavatkozása miatt folytonos sztochasztikus folyamat, időben és állapotterben is diszkrét formában, mozgásállapot (szituációk) egymásutániségként adható meg.

A folyamat úgy alakul, hogy a járművezető értékeli a pillanatnyi S_i mozgásállapotot, helyzetet (3. ábra). Ezután alkalmazza az általa meghatározott irányítást, melynek és a közbe fellépő zavarásoknak a hatására a jármű átmegegy egy másik S_j mozgásállapotba. Ez persze, a véletlen zavaró hatások (oldalszél, pályaeegyenletlenség, másik jármű mozgása, stb.) miatt egy sor lehetséges új mozgásdinamikai állapotot jelent. A továbbiakban a járművezető értékeli és meghatározza a jármű új S_j mozgásállapotát (helyzetét) és ismételtent döntést hoz, melyet alkalmazva a jármű átmegegy egy következő S_k állapotba. A folyamat így folytatódik tovább.



3. ábra: A járművezetés folyamat, mint mozgásállapotok egymásutániséga (szituációs folyamat)

Elvileg a jármű lehetséges mozgásállapotainak lehetséges száma (a további zavaró hatások és az alkalmazott irányítás függvényében) az idő előre haladásával egyre nő. A járművezető a tevékenysége során viszont folyamatosan követi az előre elhatározott célját ezért sikeresen csökkenti a lehetséges szituációk körét, eléggé pontosan tudja értékelni a lehetséges mozgásállapotokat (szituációkat) és képes egyfajta követő rendszerként a járművet a céljainak (feladatainak) megfelelő szituációk sorozatában megtartani, azaz a járművet biztonságosan és az úticéljának megfelelő irányba vezetni.

A szituációk egymásutánosságával alkotott lánc matematikai modellje elég kompakt formában is felírható (Berger 1985; Rohacs, Kasyanov 2011; Rohacs 2012):

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

melynek 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, mely 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).

A szituációs folyamat jövő beli állapota csak a jelen állapottól függ és nem függ a korábbi állapotoktól. Az ilyen véletlen folyamatokat Markov folyamatnak nevezik (Brucha-Reid 1960). A szituációs folyamatot Markov folyamattal approximálva jól vizsgálható a jármű mozgása, biztonságos működése, műszaki üzemeltetési folyamata, vagy a kevésbé gyakorlott operátorok tevékenysége (lásd pl. (Pokoradi 1996; Rohacs, Bathory 2004; Rohacs 2010))

4. SZUBJEKTÍV ANALÍZIS ALKALMAZÁSA A JÁRMŰVEZETŐ DÖNTÉSEINEK VIZSGÁLATÁBAN

A szubjektív analízis alkalmazásával vizsgált döntési folyamatokban általában a legfontosabb és egyben korlátozó tényező a döntéshez szükséges idő (Kasyanov 2007; Rohacs, Kasyanov 2011; Rohacs 2012):

$$t^{req} = t_{ue}^{req}(\sigma_k) + t_{dec}^{req}(S_a) + t_{react}^{req}(\sigma_k, S_a), \quad (5)$$

amely az adott σ_k pillanatnyi mozgásállapot (szituáció) megértésére és értékelésére szükséges $t_{ue}^{req}(\sigma_k)$ idő, egy adott S_a döntés kiválasztása érdekében meghozandó (irányítási) döntésre felhasználható $t_{dec}^{req}(S_a)$ 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 halmazából választott megoldást jelenti.

Az operátor szubjektív döntéseinek az un szubjektív tényezője a szükséges és a rendelkezésre álló időnek a viszonya:

$$\bar{i}_k = \frac{R^{req}(\sigma_k)}{R^{disp}(\sigma_k)} = \frac{t^{req}(\sigma_k)}{t^{disp}(\sigma_k)}, \quad (6)$$

melynek az alkalmazásával bevezethető a szubjektív aktív rendszer un endogén tényezője:

$$\varepsilon_k(\sigma_k) = \frac{\bar{i}_k}{1 - \bar{i}_k} = \frac{\tau^{req}(\sigma_k)}{\tau^{disp}(\sigma_k) - \tau^{req}(\sigma_k)}. \quad (7)$$

Itt a τ a vizsgált rendszer jellemzők alkalmazott képzetes időt jelenti, a valós t idő helyett.

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

$$p(\sigma_k) = \frac{P^{-\alpha}(\sigma_k) e^{-\beta \varepsilon_k(\sigma_k)}}{\sum_{q=1}^n P^{-\alpha}(\sigma_q) e^{-\beta \varepsilon_k(\sigma_q)}}, \quad (8)$$

ahol a $p(\sigma_k)$ a negatív szempontból a lehetséges legjobb alternatívák eloszlását (annak sűrűségfüggvényét) írja le. A kifejezésben szereplő idő invariáns α és β koeficiensek az alkalmazott modell endogén tényezői, azaz a járművezető - operátor szubjektív, pszicho fiziológiai sajátosságait jellemzik, melyek természetesen a járművezető terhelésétől (leterheltségétől), mentális állapotától is függenek.

A járművezetők irányítási "minősége" sok tényezőtől, sajátosságtól függ, melyek közt egy "periodikus bizonytalanság" is megjelenik. A döntésre rendelkezésre álló idő lejártához közeledve a járművezető "bizonytalan" a döntés meghozatalában, vagy elvetésében.

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

ben a preferenciákat csak a $p(\sigma_k)$ szubjektív valószínűség határozza meg, míg a $\bar{i}_k \rightarrow 1$ esetben a preferenciák nullába "fordulnak" (Kasyanov 2007).

Elméleti megfontolások alapján belátható, hogy a (8) a következő függvény megoldásából ered (Kasyanov 2007):

$$\Phi_p = - \sum_{k=1}^N p(\sigma_k) \ln p(\sigma_k) - \beta \sum_{k=1}^N p(\sigma_k) \varepsilon_k(\sigma_k) - \alpha \sum_{k=1}^N p(\sigma_k) \ln p(\sigma_k) + \gamma \sum_{k=1}^N p(\sigma_k) \quad (9)$$

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

$$\eta_p = -\sum_{k=1}^N (\alpha \ln P(\sigma_k) + \beta \mathcal{E}(\sigma_k)) p(\sigma_k). \quad (10)$$

A járművezető - operátor döntésének komplexitását a szituációk (a jármű mozgásállapotainak) 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 járművezető - operátornak át kell lépnie a saját H_p "entrópia válaszfalát", melyet a bizonytalanság normájaként lehet meghatározni a lehetséges döntési alternatívák N számának a függvényében:

$$\bar{H}_p = \frac{H_p}{\ln N}. \quad (11)$$

5. A SZUBJEKTÍV DÖNTÉSEK MODELLVIZSGÁLATA

A leírt eljárást sikeresen alkalmazta az EU által támogatott Pplane (2009 - 2012) projekt. A kisrepülőgépek új generációját úgy tervezik, hogy a repülőgépek személyes repülési célokra is alkalmazhatók legyenek. Ez azt jelenti, hogy a szabályos engedélyekkel (pilótaigazolvánnyal) rendelkező repülőgépvezetők, akik viszonylag ritkán repülnek, kevésbé gyakorlottak. Az új kisrepülőgépeknek alkalmasnak kell lenniük arra, hogy az ilyen un kevésbé gyakorlott vezetők (less-skilled pilots) is biztonságosan irányítsák. A Pplane projekt keretében ezt külön is elemezték. Az szubjektív analízis módszereit alkalmaztuk a kevésbé gyakorlott pilóták leszállás megszakítását elemző döntésekben (Rohacs, Kasyanov 2011; Rohacs 2012). A feladat megoldásakor Kasyanov (2007) professzor javaslatára az operátor (repülőgépvezető) döntési folyamatát egy módosított Lorenz attraktor (Strogatz 1994) modelleztük:

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= aY - bX - hX^2 + f(t); \\ \frac{dY}{dt} &= -Y - XZ + cX - mY^2; \\ \frac{dZ}{dt} &= XY - dZ - nZ^2. \end{aligned} \quad (12)$$

A (12)-ben az a, b, c, d, h, m, n állandók, az f a zavarásokat veszi figyelembe. Amennyiben $h=m=n=0$ and $f(t)=0$, akkor a modell a klasszikus Lorenz attraktorrá egyszerűsödik.

A javasolt endogén dinamikai modellben az X - belső endogén paraméter, $Y = \alpha$ és $Z = \beta$ (lásd (8)).

A gyakorlati alkalmazási tapasztalatok két fontos sajátosságra hívták fel a figyelmet:

- nincs olyan gyakorlati vizsgálat, mely egyértelműen bizonyítja a Lorenz attraktor alkalmazhatóságát az operátorok szubjektív döntéseinek a leírására (bár az eredmények összhangban vannak a Kasyanov (2004) professzor által folytatott gyakorlati vizsgálatokkal), és

- nincs elég mérési adat az operátorok leterheltségének a modellezéséhez, a modellekben alkalmazandó tényezők egyértelmű és általános meghatározására.

A gyakorlati alkalmazások tehát közvetlen igénylik a szubjektív döntések vizsgálatát, az 1. ábrán vázolt járművezető modell és a járművezető helyzetfelismerés - elemzés - döntés folyamat modellek alkalmazásához szükséges tényezők meghatározását.

6. ÉRZÉKELŐK, MÓDSZEREK FEJLESZTÉSE

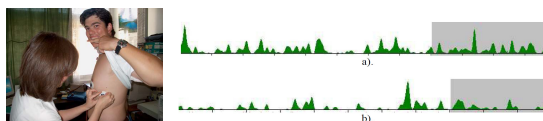
Az operátorok (járművezetők) szubjektív döntési folyamatainak a modellvizsgálata során nyert tapasztalatok alapján a BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék a korábbi repülésszimulátor kutatásokat folytatva, és a HungaroControl jelentős támogatásával érzékelő és eljárás fejlesztésbe kezdett.

A korábban és most is doktori kutatásokhoz kapcsolódó, új módszertani, elméleti és gyakorlati eljárások kidolgozását eredményező fejlesztéseknek hármas célja van:

- érzékelők fejlesztése és rendszerbe integrálása a human jellemzők, tulajdonságok mérésére,
- az operátorok (járművezetők) tevékenységének, leterheltségének folyamatos monitorizálására alkalmas rendszer kialakítása,
- operátorok helyzetfelismerés - elemzés - döntés folyamatát támogató rendszer fejlesztése.

Az érzékelők terén három megoldás kínálkozik.

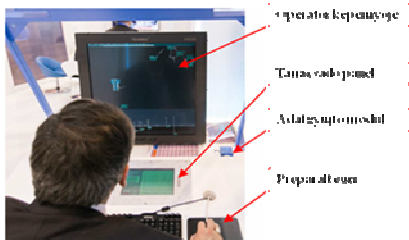
Az első a hagyományos és elérhető eljárások alkalmazása. A 4. ábra (Korody 2007) példaként bemutatja az EKG (elektrokardiogram) mérésből nyert szívperiódus variabilitás értékeit. A tanszéki repülés szimulátorban ugyanaz a pilóta az egyik esetben (4.a. ábra) az Airbus által alkalmazott oldalra helyezett kiskormány (sidestick), míg a másik esetben (4.b. ábra) a hagyományos oszlopkormány használatával hajtotta végre ugyanazt a repülési feladatot. Az alacsonyabb szívperiódus variabilitás nagyobb szellemi tevékenységre utal.



4. ábra: Az EKG érzékelők felhelyezése (kép), és repülés szimulátorban sidestick (a) és oszlopkormány (b) alkalmazásával végrehajtott repülések során kiértékelt szívperiódus variabilitás diagramok (az idő függvényében)

A megoldások második csoportjába sorolható az új kisméretű érzékelők, új adatgyűjtési és új adatfeldolgozási eljárások, technológiák kifejlesztése. Az eddigi eredmények közül érdemes megemlíteni a siklóernyők függesztő zsinórtat karibereinek a preparálását a bennük ébredő erők mérésére, a mérési eredmények alapján optimált irányítás meghatározás-

sára (Nagy 2004; Nagy, Rohacs és Rohacs 2014), könnyű légi sporteszközök repülési jellemzőinek a mérésére és kijelzésére készített, és mobil telefonra alapozott eljárás-rendszer (Nagy, Rohacs, Szabó 2012), vagy a az operátorok által alkalmazott egerekbe integrált érzékelők (5. ábra) fejlesztését (Jankovics, Nagy, Rohacs 2014). Ez utóbbi rendszerben az operátor munkája során használt egérbe (i) gyorsulásmérő, (ii) bőrellenállás érzékelő, (iii) bőr hőmérsékletmérő és (iv) szívritmus mérő lett beintegrálva.



5. ábra: Operátorok leterheltségének monitorizálására és a helyzetfelmérés - elemzés - döntés támogatására szolgáló rendszer

Végül a harmadik módszer az állapotfelügyelő rendszer elemeinek a munkakörnyezetbe integrálása. Ebben a körben már olyan eszközök is megjelennek, mint a beszéd folyamatos digitális analízisa, vagy videó és infra kamerák alkalmazása, melyekkel lehet pl. az arcpír érzékelni, illetve meg lehet figyelni az operátor fej-, vagy szemmozgását.

Az utóbbihoz, a szemmozgás detektálásához kapcsolódik egy további lehetőség, az operátor számára azon információk kiemelése a megjelenítésben, melyekre éppen figyel. Ezt a megoldást ez év tavaszán a tanszék a HungaroControllal közösen a Madridi Légiforgalmi Menedzsment Kiállításon már sikeresen be is mutatta.

Természetesen a fejlesztés további lehetősége, az új rendszerek, megoldások beillesztése a jármű fedélzeti műszerrendszerébe, és az forgalmi irányító központokba.

A gyakorlati kutatás - fejlesztés másik jelentős területe a járművezetők leterheltségének a folyamatos monitorizálása.

A terhelés meghatározására alkalmas és alkalmazott módszereket három csoportba lehet sorolni:

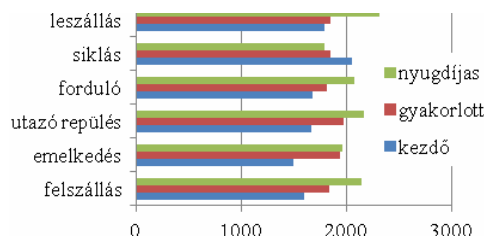
- szubjektív módszerek, amikor a járművezető saját maga értékeli tevékenységét és a terhelését,
- a járművezető fiziológiai jellemzőinek a mérése, pl. szívverés, bőrnedvesség, szemmozgás, arcpír, vagy akár az agyhullámok érzékelése,
- a járművezető tulajdonságainak a mérése, észlelési idő, reakció idő, verbális reakció, erő, stb.

A szubjektív módszerek közül pl. a NASA TLX (feladat terhelés index) elég széles körben használt eljárás (Hart,

Stqveland 1998), melyet a tanszéki repülés szimulátorban folytatott vizsgálatok során is alkalmaztunk.

A járművezetők fiziológiai tulajdonságainak a vizsgálatára egy sor eljárást próbáltunk és fejlesztettünk ki (lásd pl. a 4. és az 5. ábrákat).

A járművezetők tulajdonságainak a mérését szintén megoldottuk. A 6. ábrán példaként a Stoop teszt eredményeket mutatja. Ebben a vizsgálatban kezdő, tapasztalt és nyugdíjas repülőgépvezetők vettek részt. A repülés szimulátorban azonos, meghatározott repülési feladatot kellett végrehajtaniuk, miközben különböző színű szavakat vetítettünk a repülési környezetet is megjelenítő nagy méretű ívelt vászonra. A Stroop teszt szerint a színes szavakként megjelenő információt kellett felismerni (Cohen, Dunbar és McClelland 1990). A pilótáknak a kormányoszlopra épített gombbal kellett jelezniük, mikor felismerték a szöveget.



6. ábra: A Stroop teszt alapján a repülőgépvezetők átlagos reakcióideje (ms) a repülés különböző fázisaiban

A 6. ábra valójában csak az előzetes vizsgálatok eredményeit mutatja. A tesztekben mindössze 14 repülőgépvető vett részt és mindannyian mindössze kétszer hajtották végre a mérési feladatot. Ez magyarázhatja, azt, hogy a kezdő repülőgépvető valószínűleg minden mozzanatra jobban odafigyeltek. A gyakorlott pilóták "lazább" hozzáállását bizonyítja, hogy a legnagyobb reakció időt a "legegyszerűbb" repülési fázisban, a siklásban produkálták. Közben a teljesítményük - a különböző repülési fázisokban mért reakcióidejük - eléggé egyenletes. Az, hogy a nyugdíjas repülőgépvető teljesítménye a leggyengébb, nem meglepő, az, hogy mennyivel igen. Egyébként a reakció idők szórását elemezve a "helyreállt" a várt sorrend, a gyakorlott repülőgépvető reakcióidejének a szórása volt a legkisebb, majd a kezdő és végül a nyugdíjas pilóták következtek.

7. TERHELÉS MONITORING ÉS TANÁCSADÁS

A járművezetők terhelését az 1. ábra szerint négy külön terhelési formát meghatározva kell vizsgálni.

A feladat terhelést elvileg könnyű megadni, mivel egy a cél (a járművet, az árut, az utasokat eljuttatni A -ból B -be) miközben adott részfeladatokat (pl. autópályán haladást) kell megoldani. Ennél azonban rögtön bonyolultabb lesz a feladat, ha a személygépkocsiban gyerekek is vannak, ha a pálya

jeges, a forgalom zsúfolt, és így tovább. A feladatot tehát a tényleges körülményekhez képest kell meghatározni.

Mivel a feladat meghatározza a biztonságos vezetéshez szükséges figyelmet, ezért javasolt, hogy a feladat "nagysága", komplexitása egy szánkóddal jelölve (és akár szövegesen is) a vezető (operátor) előtt legyen megjelenítve. Ez megoldható pl. az információnak a szélvédőre, vagy a forgalmi irányítók esetében - a munkahelyi képernyőre vetítésével. Hol, milyen formában még további jelentős kutatásokat igényel.

Az információ terhelést csökkenteni viszonylag könnyű, pl. fekete képernyők alkalmazásával, amikor a rendszerjellemzők, csak a normál állapottól eltérő esetekben, meghibásodásokkor jelennek meg. Eredményes lehet a járművezetők rendelkezésére álló információk előfeldolgozása, rendszerezése, és egyértelmű megjelenítése. Ugyanakkor az információ terhelést viszonylag nehéz meghatározni. Nehéz ellenőrizni pl. milyen tanácsokat ad a vezető számára az útvonaltervező és navigációs (GPS) rendszer, milyen rádióadást hallgat a vezető, milyen verbális kommunikáció éri az utasok részéről. Ennek tükrében valószínű az információ terheltséget csak közvetve lehet mérni, pl. rendszeres időszakonként éberségi és reakcióidő mérési tesztekkel.

A munkaterhelés a feladat és az információ terhelés mellett alapvetően a környezeti hatásoktól, a forgalmi helyzetektől függ. A jelenlegi felfogás szerint az adott környezetben mozgó járművek száma, a forgalom összetétele, és a forgalom dinamikája (sebessége) határozza meg a forgalmi helyzetet. Ezt kell a feladat és az információ terheléssel összhangban értékelni. Javasolt, hogy a munkaterhelést (ami a vizsgálatok szerint frusztráló a járművezetők számára) célra vezető a feladat terhelés módosításával megjeleníteni.

A mentális, azaz a fizikai és a pszicho-fiziológiai terhelés mérése talán a legkönnyebben és viszonylag objektíven megoldható. Javasolt a munkakörnyezetbe épített érzékelőket alkalmazni (lásd pl. 5. ábra), illetve a járművezető tevékenységében nem akadályozó távérzékelőket (pl. a munkakörnyezetbe integrált kamerákat, fej- és szemmozgás érzékelőket, stb.) elhelyezni.

A mentális terhelés, mely alapvetően fáradtság, dekoncentráltóság, a forgalmi viszonyokra késői reagálás, stb., illetve bonyolult forgalmi viszonyok, jelentő feladatterhelések esetén stressz formájában jeleneik meg, közvetlen hatással van a biztonságos vezetésre. Ezért annak kijelzésén túl azt is meg kell fontolni, hogy a járművezetőt a jármű irányításából akár ki is kell iktatni. Ilyenkor a járművet automatikus irányítással kell biztonságos zónába irányítani és "leállítani". Ugyanezt a feladatot pl. forgalom irányítók esetében az irányítók munkájának a menedzselésével lehet végrehajtani, pl. a fáradt operátort komplexebb, vagy veszélyes forgalmi helyzetekben fel kell váltani "frissebb" operátorral.

A járművezetők terhelésállapotának a folytonos értékelésével egy új ember - gép kapcsolat alakul ki. Itt most már - első sorban - nem ergonómiai feladat a megfelelő járművezető, forgalom irányítói környezet kialakítása. Ez egy teljesen új

szemléletet igényel. Ennek a szemléletnek, a fejlesztési filozófiákban is meg kell jelennie. Az ember a rendszer egyik, fontos eleme. Olyan körülményeket kell kialakítani, hogy az elvárt kimeneti jellemzők mindenkor a "legjobb formában" álljanak elő.

A járművezetők helyzetfelmérés - elemzés - döntés folyamatát támogatandó a 2 - 5. pontokban leírt szubjektív döntési modellt alkalmazva célszerű kialakítani a szükséges tanácsadó rendszert, mely kvázi virtuális segéd járművezetőként viselkedhet.

8. GYAKORLATI ALKALMAZÁS

A leírt új módszerek és eljárások gyakorlati alkalmazására a HungaroControl támogatásával egy fejlesztési program indult. A cél a légiforgalmi irányítók számára egy új munkakör lény kialakítása és tesztelése.

A 7. pontban leírt eljárások alkalmazása, azaz a terhelés valós idejű megfigyelése, értékelése és a tanácsadó funkció kifejlesztése és tesztelése mellett a projekt fontos eredménye a munkahelyi környezet általános kialakítása.

A teszt környezetben megvalósuló forgalom irányítói munkahely un három rétegű megjelenítést alkalmaz.

Az információ un torony - nélküli megoldásban mesterséges képen jelenik meg.

Az első réteg a környezet (az irányított munkaterület) képi megjelenítése. Ez a valóságos körülményeknek az elsődleges radar adatok, más optikai rögzítők, a földi szolgálatok információi adatai és élethű képi modellek alkalmazásával valósul meg.

A megjelenítés második rétege teljesen új innovatív megoldást vezet be a légi forgalmi irányítók munkakörnyezetének a fejlesztésébe, kialakításába. A légiforgalmi irányító (operátor) fej-, pontosabban szemmozgását figyelve a rendszer azon a ponton, ahova, amely objektumra (pl. mozgó repülőgépre) az operátor figyel, plusz információkat (pl. az adott repülőgép, vagy munkagép azonosítására, mozgására vonatkozó adatokat) jelenít meg. Ide sorolható pl. a szabályozási elvek szükségessége megjelenítése is.

A harmadik réteg pedig vizsgálati célt szolgál. Például szimuláló az esetleges köd megjelenése, a havazás, vagy a trópusi eső hatása. Ugyanígy szimulációban vizsgálhatók pl. az eljárásrend változtatásának a következményei, új szabályozási elvek bevezetésének a hatásai, stb.

A kísérleti rendszer egyes elemeit már nemzetközi kiállításokon bemutattuk, A fogadtatás és az érdeklődés kiváló volt.

9. ÖSSZEFOGLALÁS

Ez a tanulmány a járművezetők szubjektív döntéseit vizsgálta. Megállapította, hogy a járművezetők munkájának a minőségét a feladat, információ, munka és mentális (fizikai és pszicho-fiziológiai) terhelés határozza meg. Ezért ezen terhe-

lések összességét figyelembe vevő új járművezetői modell vezetett be.

A járművezetők munkájának a további elemzése elvezetett annak a felismeréséhez, hogy a járművezetők helyzetfelismerés - elemzés - döntés tevékenysége mindenkor a járművezetők egyéni képességeitől, tudásától és gyakorlatától függő szubjektív döntésekhez vezet. A tanulmány alkalmazta a szubjektív analízis módszereit a járművezetők szubjektív döntéseinek a modellezésében, vizsgálatában..

A cikk javasolta a járművezetők gondolkodási folyamatának a leírását egy módosított Lorenz attraktorral.

Az így kidolgozott szubjektív döntési modell alkalmas arra, hogy alapja legyen egy a járművezetőket támogató tanácsadó rendszer kifejlesztésének. Ennek érdekében egy sor további vizsgálatot és fejlesztést kell végrehajtani.

Ez a munka röviden bemutatta a BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszéken folyó, a járművezetők és forgalom irányítók szubjektív döntéseinek a vizsgálatára alkalmas módszerek, eljárások fejlesztését. A tevékenység alapvetően a járművezetők és forgalom irányítók feladat, információ, munka és mentális terhelésének a valós idejű állapotfigyelésének, monitorozásának a megoldására irányul. Ennek érdekében új érzékelőket, mérési és adatfeldolgozási eljárásokat fejlesztettek ki, melyeket a járművezetők, forgalomirányítók környezetébe lehet beintegrálni.

A kidolgozott eljárások és módszerek vizsgálatára a tanszék továbbfejlesztett a repülés szimulátorát és a HungaroControlal együttműködve kialakította a légiforgalmi irányítók új munkakörülményeinek a fejlesztésére és tesztelésére alkalmas környezetet.

Az első mérési eredmények összhangban vannak a gyakorlati tapasztalatokkal és azt bizonyítják, hogy a leírt új eljárások, módszerek, elsősorban a járművezetők terhelési állapotának a értékelésére és a szubjektív döntéseinek a támogatására kialakított elvek, eljárások, rendszerek jól működnek. Azok az operátorokat a munkájuk közben nem zavarják. A kísérletekben résztvevő járművezetők és irányítók az új eljárásokat pozitívan ítélik meg.

IRODALOM

Beneda, K. (2013) CFD Simulation of Blade Load Distribution Control as Active Centrifugal Compressor Surge Suppression, *Acta Avionica*, 15:(25) pp. 13-20

Berger, J. O. (1985) *Statistical Decision theory and Bayesian Analysis*, Springer, New York, US

Bharucha-Reid, A. T. (1960) *Elements of the Theory of Markov Processes and Their Applications*. New York: McGraw-Hill

Bicsák, Gy., Hornyák, A., Veress, A. (2012) Numerical modelling and validation of the combustion in gas turbine, In: Seenith Sivasundaram (ed.) *ICNPAA 2012 Congress: Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences*. Bécs, American Institute of Physics, pp. 140-148.

Boyratz, P., Yang, X., Sathyanarayana, A., Hansen, J.H.L. (2009) Driver behaviour modelling using hybrid dynamic systems for

'driver-aware' active vehicle safety, In proceedings "21st International Technical Conference on Enhanced Safety for Vehicle", Stuttgart, Germany, pp. 1 - 8.

Cacciabue, P. C., Enjalbert, S., Sodenberg, H., Tapani, A. (2013) Unified Driver Model simulation and its application to the automotive, rail and maritime domains, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, (21), 315-327.

Carlsten, O. (2010) A simple model of driver behaviour to sustain design and safety assessment of automated systems in automotive environments, *Applied Ergonomics*, 41, pp. 187 - 197

Cohen, J. D., Dunbar, k., McClelland, J. L. (1990) On the Control of Automatic Processes: A Parallel Distributed Processing Account of the Stroop Effect, *Psychological Review*, Vol 97. No. 3. pp. 332 - 361

De Waard, D. (1996) *The Measurement of Drivers' Mental Workload*, PhD Thesis, The Traffic Research Centre VSC, University of Groningen, Groningen

Denton, C. G. (1966) A subjective scale of speed when driving three motor vehicle, *Ergonomics*, May (9) 203-10

Endsley, M. R. (1995a) Measurement of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 17, pp. 65 - 84.

Endsley, M. R. (1995b) Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, vol. 37. 1995. No. 1. pp. 32 - 64

Evans, L. (2004) *Traffic Safety*. Bloomfield Hills, Michigan: Science Serving Society, (ISBN 0975487108)

Hargitai Cs., Simongáti Gy. (2015) A belvízi hajózási szimulátorok lehetőségei és korlátai, „Innováció és fenntartható felszíni közlekedés” IFFK 2015 - Konferencia, 2015. október 15-16 paper 18

Hart, S. G., Staveland, L. E. (1998) Development of NASA-TLX (task load index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in psychology*, 1998. vol. 52, pp. 139-183.

Jankovics, I., Nagy, A., Rohács, D. (2014) Developing the air traffic controllers' decision supporting system In: Péter Tamás (ed.) *Innováció és fenntartható felszíni közlekedés, IFFK-2014*, Budapest, Magyar Mérnökakadémia, pp. 26-28.

Kasyanov, V. A. (2004) Flight modelling (in Russian), National Aviation University, Kiev, 2004, 400 p

Kasyanov, V. A. (2007) *Subjective analysis* (in Russian), National Aviation University, Kiev, 512. p.

Korody E. (2007) *Multifunkcionális, új generációs repülésszimulátor kifejlesztése és különböző kormányzási megoldások vizsgálatára* PhD értekezés, BME, Budapest

Korody, E. (2003) Human Factor Examination Possibilities on Flight Simulators, The 30th Session of Scientific Presentations "Modern Technologies in the XXI Century, Bucharest, Romania, 06-07 November, p.55-61, ISBN 973-640-012-3

Macadam, C. C. (2003) Understanding and Modelling the Human Driver, *Vehicle System Dynamics*, Vol. 40. Nos 1 - 3, pp. 101-134

Michon, J. A. (1986) A Critical View of Driver Behavior Models: What Do We Know, What Should We Do?, in book "Human Behavior and Traffic Safety" (ed. By Evans, L, Schwing, R. C.) Plenum Press, pp. 516 - 520

Nagy A. (2014) *Kisméretű légieszközök mozgásfolyamatát meghatározó mérési és szimulációs környezet fejlesztése (siklóernyők fordulási tulajdonságainak elemzése)*, PhD disszertáció, BME Budapest

Nagy A., Jankovics I. (2012) Tanszéki repülésszimulátor laboratórium modernizálása, *Repüléstudományi Közlemények*, No. 2. pp. 727 - 747

Nagy, A., Rohács, D., Rohács, J. (2014) Measurement platform development for the investigation of paraglider turning character-



CAETS

„IFFK 2015” Budapest

Online: ISBN 978-963-88875-3-5

CD: ISBN 978-963-88875-2-8

Paper 03

Copyright 2015 Budapest, MMA.

Editor: Dr. Péter Tamás

- istics, *International Journal of Mechanical Engineering and Automation*, 1:(4) pp. 223-228.
- Nagy, A., Rohacs, J., Szabo, A. (2012) Monitoring system for in-flight, continuous measurement of pilot's mental state. In: *AIRTEC*. Frankfurt am Main, Németország, 2012.11.07-2012.11.09. p. 1. Paper 5.
- Pauzié, A., Manzano, J. (2007). *Evaluation of driver mental workload facing new in-vehicle information and communication technology*. INRETS - National Research Institute on Transport and Safety. <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv20/07-0057-O.pdf>
- Pereira da Silva, F. P. (2014) Mental Workload, Task Demand and Driving Performance: What Relation? *XVIII Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística (PANAM 2014)*, Procedia - Social and Behavioral Sciences 162 , 310 – 319
- Pokorádi L. (1996) *Repülőgépek üzemeltetési folyamatainak markovi modellje*, Kandidátusi értekezés, MTA DT., Budapest.
- Pplane (2009 - 2012) - The Personal plane Project, EU FP7 project, <http://www.pplane-project.org/>
- Rashevsky, N.: (1962) Automobile Driving as Psychophysical Discrimination. *The Bulletin of Mathematical Biophysics* , 24, pp. 319 - 325.
- Rasmussen, J. (1986) *Information processing and human-machine interaction: An approach to cognitive engineering*. Elsevier Sciences Inc. New York. 1986
- Rohacs, J. Bathory, Zs.: (2004) 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.
- Rohacs, J., Kasyanov, V. A.: (2011) Pilot subjective decisions in aircraft active control system, *J. Theor. Appl. Mech.*, 49, 1, pp. 175-186
- Rohacs, J.: (2010) 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, (edited by A. Droog, M. Heese), ISBN: 978-90-815253-2-9 pp. 153-159
- Rohacs, J.: (2012) Subjective factors in flight safety Chapter 6 in book "*Recent Advances in Aircraft Technology*" (ed. Ramesh Agarwal), ISBN 978-953-51-0150-5, Intech, 2012, 263-286
- Salvucci, D. D. (2006) Modelling Driver Behaviour in a Cognitive Architecture, *Human Factor*, 48, pp. 362 - 380
- Strogatz, S. (1994). *Nonlinear dynamics and chaos : with applications to physics, biology, chemistry, and engineering*. Perseus Books, Massachusetts, US, 1994.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket fejezik ki a HungaroControlnak a jelen kutatás - fejlesztés többéves támogatásáért, a tanszéki repülésszimulátor fejlesztését, tovább fejlesztését anyagilag is támogató szervezeteknek, első sorban a HungaroControlnak és a Lufthansa Technik Budapestnek, valamint a az EU FP7 projektek keretében támogatott Pplane projekt során együttműködő kollegáknak.



CAETS

„IFFK 2015” Budapest

Online: ISBN 978-963-88875-3-5

CD: ISBN 978-963-88875-2-8

Paper 03

Copyright 2015 Budapest, MMA.

Editor: Dr. Péter Tamás