

Szabó Sándor András¹

UAV (PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰ) MŰVELETEK HUMÁN TÉNYEZŐINEK ELEMZÉSE REPÜLÉSBIZTONSÁGI SZEMPONTBÓL²³

UAV műveletek során a műveleti célok eléréshez szükséges elvárt mentális teljesítmény, érzékszervi teljesítőképesség szükségessé teszi az adott beosztásra jelentkező operátorok megfelelő egészségügyi alkalmassági vizsgálatát, szelekciós kritériumok meghatározását. Ezek az egészségügyi követelmények természetesen eltérnek a valós repülést (légiharcot) végrehajtó pilóta élettani-teljesítmény mutatóitól, mivel a repülésélettani stresszorok súlya, repülésbiztonsági kockázati szintje eltérő. A fizikai tűrőképesség és szellemi teljesítőképesség prioritásait repülésbiztonsági, hadműveleti szempontból elemzi a cikk. Egyúttal hangsúlyozza az UAV operátori munkával járó kognitív-mentális teljesítmény igény, a kísérő pszichés stressz és a vegetatív kísérőtünetek együttes értékelésének szükségességét. Az UAV operátorjelöltek pszichés stressztűrő képességének értékelésével, szimulátorban nyújtott teljesítmény és az élettani stressz mutatók elemzésével validálhatjuk a szelekciós kritériumokat.

HUMAN FACTOR ANALYSIS IN UAV OPERATIONS FROM FLIGHT SAFETY ASPECT

In UAV operations the achievement of operational task is highly depends on the operators' proper mental performance, sensomotoric skills and abilities, so the medical screening shall be incorporated into the general selection process. The medical requirements naturally can differ from the physiological parameters of the pilot performing real flight (and real fight) because the weighted importance of aeromedical stressors and the level of flight safety risk are different. The priorities of physical tolerance (endurance) and mental performance are discussed from flights safety and operational aspects. The importance of simultaneous evaluation of cognitive performance, accompanying psychic stress and vegetative stress indicators is also emphasized. Based on the combined assessment of psychic stress tolerance, overall performance of UAV operators in ground-based simulator and physiological stress parameters the selection criteria might be validated prospectively.

BEVEZETÉS

A légierők stratégiai koncepciójának hosszútávú fejlődésében új irányt nyitott a pilóta nélküli légijárművek rendszeresítése és fejlesztése: míg például az Amerikai Hadsereg 2001 októberében 54 UAV eszközzel kezdte meg a harci műveleteket Hunter és Shadow típusokon, addig ma **csak a US Army több, mint 4000**, különböző méretű és képességű UAS⁴ platformot alkalmaz. A tapasztalatok alapján megszülettek azok a stratégiai elképzelések, amelyek gyökeresen új irányt szabnak a repülőeszközök alkalmazásának, új képességek költségghatékony kialakítását

¹ o. alezredes, MH Egészségügyi Központ Védelem-egészségügyi Igazgatóság Kecskeméti Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet Intézetvezető főorvos helyettese, sasi19620@gmail.com

²Új Széchenyi Terv: TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001. sz. pályázat; "Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások". Adatintegráció alprogram, A pilóta nélküli légijárművek alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálata

³ Lektorálta: Dr. Dunai Pál alez; egyetemi docens, NKE Katonai Repülő Tanszék, dunai.pal@uni-nke.hu

⁴ UAS: Unmanned Aerial System, Pilóta nélküli Repülési Rendszer

teszi lehetővé.⁵ Ez utóbbi egyértelmű: az UAV légijármű építésének, üzemeltetésének tényleges költsége nagyságrendekkel kisebb, mint a 4–5. generációs harci gépeké. Az egyik legátfontosabb erre vonatkozó tanulmány az amerikai hadsereg UAS Kiválósági Központjában készült el, ahol 2035-ig fejtek ki nagy ívű elképzelést az UAV platformok harci alkalmazásáról.⁶

Bár definíció szerint az UAV légijárművet nem fedélzeti pilóta irányítja, mégis olyan komplex repülési és harci rendszer, ahol a működtetésért felelős földi operátor felelőssége alapvető. Az ő kiképzésének, rendszerben tartásának anyagi vonzata is költséghatékonyan kezelhető: az UAV-t távolból irányító operátor kiválogatásának, kiképzésének és rendszerben tartásának költsége – az egészségügyi vizsgálatok spektrumának szűkítése, a szimulátoron történő képzés és az UAV irányítás analógiáján alapuló képzés egyszerűsítése – lényegesen alacsonyabb anyagi ráfordítást eredményez. Bizonyos típusú emberi hibák és hajlamosító háttértényezők (gyorsulás-túlterhelés és hypoxia okozta cselekvőképtelenség) pedig egyszerűen kiiktathatók, és az ellenük való technikai védelem, megelőző kiképzési eljárások (oxigénhiány demonstrációja barokamrában, gyorsulástűrő képesség fejlesztése centrifugában) fölöslegessé válnak.

Ugyanakkor az UAV légijárművek eszköztárának épsége – akár harcászati felderítésről, akár csapásmérésről van szó – nemcsak repülésbiztonsági, de nemzetbiztonsági problémát is felvet. Egyrészt polgári légtérben nem veszélyeztetheti a légiközlekedés biztonságát, másrészt műveleti területen nem kerülhet az ellenség kezébe, még műszaki meghibásodás esetében sem, még elemezhető roncsok formájában sem. Ilyen szempontból az operátor egészségi állapota, cselekvőképessége is ugyanolyan repülésbiztonsági, illetve harci-műveleti-tényező, mint például a „valódi” pilóta gyorsulás-túlterhelés elleni tűrőképessége. Az operátor munkavégző képességének elemzése, a humán faktor hiba lehetőségeinek kizárása ezért alapvető. Erre vonatkozóan például az Amerikai Repülőorvosi Társaság (ASMA) 2010-es kongresszusa (Phoenix, Arizona) már külön UAV szekciót⁷ szervezett, ahol az előadásokon nagy hangsúlyt kapott a kiválogatás szempontjainak elemzése, a szellemi teljesítmény magas szinten tartásának hatékony módszerei és a kifáradás megelőzésének lehetősége.

A szakirodalom releváns adatainak áttekintése és elemzése mellett saját vizsgálati protokoll kialakítását is folytatjuk, amely földi körülmények között, szimulátorban nyújtott repülési teljesítmény és mentális funkciók értékelésén alapul, és alkalmas a kognitív feladatot kísérő stressz reakció jellemzésére, ezáltal a tűrőképesség és beválási valószínűség megállapítására. Ez hosszú távon alátámaszthatja a szelekciós kritériumok életszerűségét és validálhatja a kiválogatás szempontjait.

⁵ Joint Capabilities Integration and Development System (JCIDS): Közös képességek Integrációja és Fejlesztési Rendszere

⁶ „Eyes of the Army” US ARMY Roadmap for Unmanned Aircraft Systems 2010-2035. UAS ARMY UAS Center of Excellence, Fort Rucker, Alabama url: [http://www-rucker.army.mil/usaace/uas/US Army UAS RoadMap](http://www-rucker.army.mil/usaace/uas/US%20Army%20UAS%20RoadMap), letöltve 2013. február 25-én

⁷ ASMA annual conference, www.asma.org, (2010. 12. 6.)

Pilóta és operátor környezeti kihívásai

A 4–5. generációs vadászgépek korában a katonai repülésben magasan képzett, „tökéletesen egészséges”, a repüléssel járó kombinált élettani stressz helyzetekre földi szimulációs helyzetekben (centrifuga, barokamra, forgó GYRO laboratóriumi létesítményben) felkészített pilótákra van szükség. Az ilyen pilóták kiválogatásának, felkészítésének és rendszerben tartásának összköltsége vetekszik a korszerű harci technika és csapásmérő képesség árával.

Az RPA (Remotely Piloted Aircraft), azaz UAV műveleteiben az emberi hibaforrások skálája eltér az ember vezette légijárművön kiemelt szerepet játszó, a valós repülési környezetből és élettani stresszor tényezőkből eredő hibáktól. Míg a repülőgép fedélzetén a gyorsulás-túlterhelés, az oxigénhiány és a térbeli dezorientáció a leggyakoribb baleseti ok, addig az UAV műveletek során az első két okcsoport egészében kiesik, a térbeli tájékozódó képesség elvesztésének pedig új típusai kerülnek előtérbe, ahol nem a mozgási élmény, hanem annak hiánya csapja be az emberi érzékszerveket és vezet hamis helyzetérzékeléshez. Ennek átfogó elemzését a az USAF vezérkaránál végezték el.⁸

Az UAV „pilótakabinja” a repülőeszköztől térben és időben elszakadva új helyzetet teremt:

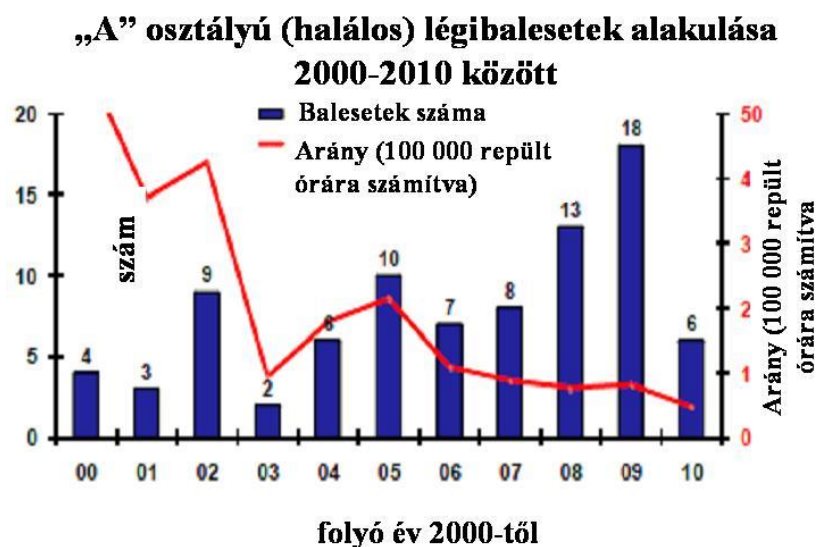
1. hiányoznak (korlátozottak) az érzékszervi ingerek: vizuális funkció tekintetében még több kamera képéből is nehéz összerakni a teljes látóteret. Hiányoznak a hang effektusok (hajtómű hangváltozása rendellenesség esetén, a szél és sebesség érzékelése). Atípusos a tapintás-nyomási ingerhiány (orrfutó leérése, rendellenesség okozat bukdácsolás);
2. pszichológiai szempont: a bevetés úgí történiok, hogy nem hagyja el a megszokott környezetét (maradhatnak a családi, helyi problémák, miközben „lélekben” a feladatra koncentráció miatt messze jár);
3. ergonómiai eltérések: más lehet a kapcsolók helyzete (gyújtás és fegyver indítás kapcsolója a gázkaron);
4. munkalétkör (nagy számú oktatót egy-egy kiképzőre, 50 fő 1 kiképzőre);
5. egyedi kiképzési kihívások, magas műveleti tempó.

Az amerikai szerzők összehasonlították az „A” osztályú UAV katasztrófák alakulását a 2000-es években („A” osztályú az esemény, ha halált – rokkantságot, vagy totálkáros megsemmisülést okozza a technikai eszköznek (vagy anyagi veszteség 2 millió dollárnál magasabb.). (1. ábra.)

A 2010-es év adatait a megelőző 10 év (2000–2009) átlagához viszonyítva megállapítható, hogy a megelőző években átlagosan 8 „A” osztályú légibaleset történt UAV-okkal (katasztrófa gyakoriság 11,72 – százezer repült órára számolva), addig 2010-ben 6 katasztrófa, és 4,69 a katasztrófa gyakoriság, ami tendenciájában biztató. (A statisztika magában foglalja az MQ-1 Predator, RQ-4 Global Hawk, és MQ-9 Reaper baleseteket.) Leglátványosabb csökkenés 2009–2010 trendfordulóján következett be, főleg a Predatoroknál: 2009-ben 13 MQ-1 baleset történt (6,99/100 000 repült óra), 2010-ben csak 6 eset volt (5,55/100 000 repült óra). Az is látható,

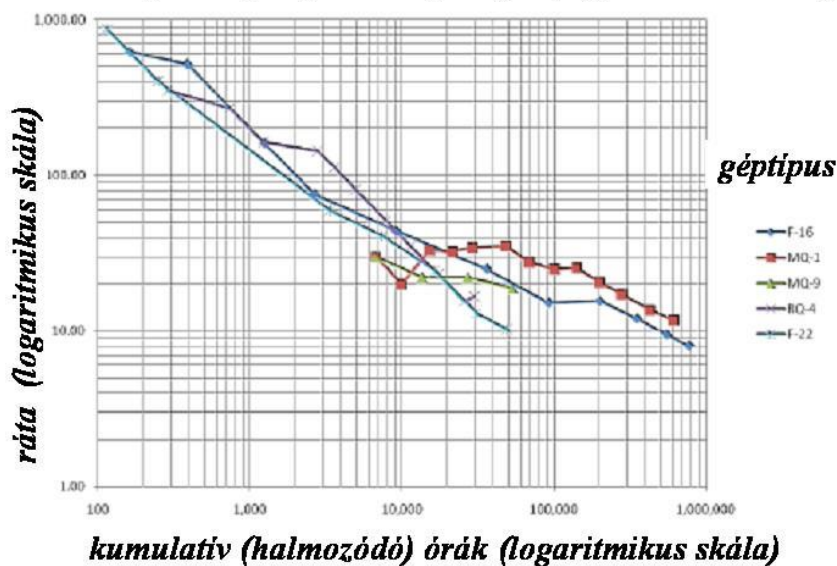
⁸ Farley, R., Heupel, K., Lee, K., Gardetto, P., Johnson, B.: Human Factors in Remotely Piloted Aircraft (RPA). HQ AFSC/SEHI DSN 246-0880, ASMA annual conference, www.asma.org, (2010. 12. 6.)

hogy a teljes UAV élettartamot figyelembe vevő kumulatív eseményráta nem különbözik alapvetően a pilóta vezette vadászgépek hasonló balesetei statisztikáitól. (2. ábra)



1. ábra UAV eszközök „A” osztályú légibaleset gyakorisága
(100 ezer repült órára számítva)

***UAV eszközök és pilóta vezette vadászgépek
kumulatív (halmozódó) eseményrátája (logaritmikus skála)***



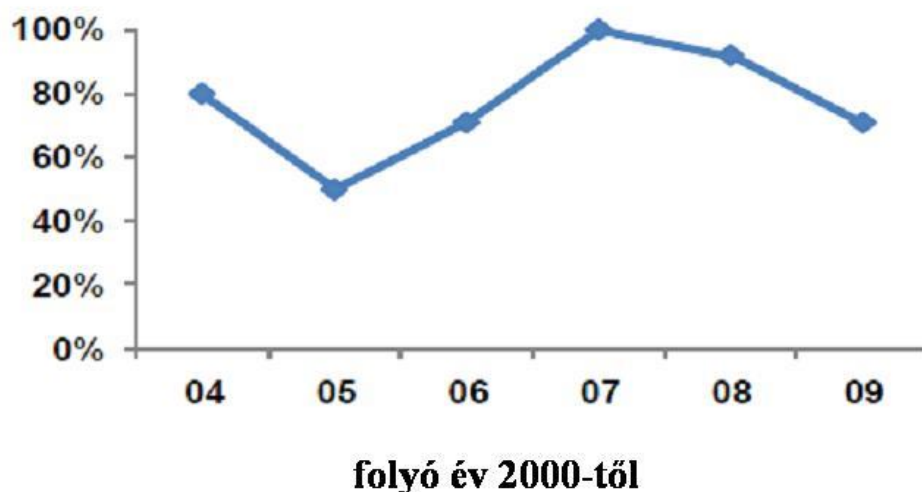
2. ábra UAV eszközök és pilóta vezette vadászgépek halmozódó eseményrátája

A beosztási tábla alapján az Amerikai Légierőben bevezetett számítógépes modell (WorkAwake) meghatározza a „veszélyes zónákat”, ahol a szellemi reakcióképesség csökken: ez ellen megfelelő személyzet cserével, a kezelők (operátorok) váltási idejének csökkentésével lehet tenni.

Az emberi hiba aránya magas és következménye sem elhanyagolható: míg az USAF légierős UAV baleseteinek 92 %-a volt emberi hibának tulajdonítható 2008-ban, addig 2009-ben ez 71 %-ra csökkent. (3. ábra)

UAV GÉPEK EMBERI HIBA OKOZTA ESEMÉNYRÁTÁJA

UAV GÉP BALESETEK SZÁZALÉKOS ARÁNYA HF (humán faktor, azaz emberi hiba) miatt



3. ábra UAV gépek emberi hiba okozta eseményrátája

Ugyanakkor az emberi hiba okozat kárösszeg csak kisebb mértékben csökkent: 58 millió dollárról 51 millió dollárra azonos időszakot tekintve. Az emberi hiba amerikai rendszerű hierarchizált csoportosításában⁹ mind eljárásbeli – felügyeleti-ellenőrzési (rendszerhibák), mind személyhez köthető hibák (hibás érzékelés, félreértelmezés, elvárt esemény, tévesztés) is előfordultak.

Valós hadműveletek repülésbiztonsági aspektusai

Műveleti-repülésbiztonsági oldalról tekintve a legfontosabb humán tényezőket, a szenzorok alapján történő közvetett térbeli tájékozódó képesség („a nagy kép megragadása”) és a **folyamatos** logikai információ feldolgozó képesség a legfontosabb, „mintha Bill Gatesnek dolgozna az ember, amíg a harci bevetést repüli”¹⁰. (Valós gépen a pitot cső fűtésének rákapcsolása csak egy rápillantást jelent a kapcsolóra, majd a kapcsolót „be” állásba fordítani. Ugyanez az UAV földi irányító paneljén: fel kell lapozni a képernyőn az utasítások menüsor, a billentyűzetten M6 kulccsal belépni a konfigurációs menüsorba, M4 kulccsal a jégtelenítés menüsorba, M2-M3 menüsorral a pitot cső fűtése menüsorba, majd kétszeri ESC gombbal vissza a Főmenübe, minden lépésnél vizuálisan visszaellenőrizve, hogy jó helyen vagyunk-e. Kettő helyett legalább hat lépés minden egyes alkalommal még akkor is, ha csak ellenőrizni akarjuk a fűtés meglétét!)

Különösen 2007-ben volt nagy a humán tényezők okozta baleseti ráta, a leszállási balesetek mindegyikében pedig egyértelműen azonosítani lehetett az emberi hiba szerepét. (1. táblázat)

⁹ HFACS: Human Factors Analysis and Classification System – Emberi Tényező Elemzése és Osztályozási Rendszere

¹⁰ Harris, T.: Human Factors Challenges in Remotely Piloted Aircraft Amerikai Repülőorvosi Társaság (ASMA) 2010-es kongresszusa (Phoenix, Arizona) www.asma.org, (2010. 12. 6.)



(A kódolt emberi hibaforrások: műveleti eljárás leírás hiánya, adatgyűjtés pontatlansága, műszeres és szenzoros visszacsatolás elmaradása, hibás érzékelés, negatív transzfer, jártasság és rutin hiánya, összetévesztés.)

KATEGÓRIA	Gyakoriság az összes "A" osztályú események számához viszonyítva	Humán faktor oki vagy hozzájáruló szerepe
Leszállási baleset	17 %	100 %
Energia ellátási üzemzavar	33 %	50 %
Fedélzeti rendszer meghibásodása	50 %	50 %

1. táblázat 2009 évi UAV baleseti statisztika és az emberi tényező szerepe az USAF Amerikai Légierőnél

Humán faktor hatásainak korrekciója UAV műveletekben

Az emberi hibák – megfelelő kódolt rendszerben az UAV balesetek esetén is adatbázisba és folyamatos elemzésre kerül, így az esetleges biztonsági kockázatok mennyiségileg becsülhetők és megfelelő korrekció tehető.

- Légijármű tervezése** – bármilyen tervezési, konstrukciós hiba a baleseti adatok alapján javítható.
- Földi irányító központ tervezése**
 - intuitív (az operátor szándékát „megérző”) műszerezettség, szenzoros visszajelzés;
 - automatizáció;
 - leszállást segítő rendszer (súly a futóművön terhelésérzékelő, perifériás látómező biztosítása, orrfutó érzékelő);
 - immerzív környezet (fokozottan valósághű kijelzők).
- Kiképzés:**
 - elméleti előadások, javított jegyzetek;
 - szimulátor repülés (javított MQ-9 modell), több vészhelyzeti eljárással (keresztzél);
 - valós repülések/UAV repültetések: szakképzett instruktorok, több idő a vészhelyzetek gyakorlására
- Egyéb operatív tényezők:**
 - vészhelyzeti ellenőrző lista, Technikai Karbantartási Utasítás kiadása;
 - akut és krónikus alvási problémák okozta kockázatok csökkentése;
 - személyzeti utánpótlás biztosítása.

A földi kiképző berendezések (szimulátor földi vezérlő állomások) nagy segítséget jelenthetnek, még akkor is, ha kívülről (kereskedelmi forgalomból) került a rendszerbe az első platform (RQ-1), alapvetően a mérnökök oktatására, nem kimondottan „pilóta-barát” kijelzőkkel. Utólag került beépítésre a szimulátorba például a rakétaindítási (Hellfire) imitáció (MQ-1 verzió). A későbbi Predator B (MQ-9) típus, még több fegyverzet imitációval és nagyobb sebesség tartományban szolgálta a kiképzést. Jelenleg Irakban hadműveleti területen (OIF és OEF hadművelet¹¹) 41

¹¹ OIF: Operation Iraqi Freedom, OEF: Operation Enduring Freedom (Iraki szabadság és Tartós szabadság hadművelet) A szövetséges erők hadműveletei Irakban

CAP¹² (harci járőr szolgálat) kerül végrehajtásra állandó készenléti rendszerben, a légierő komponens parancsnokának utasítása szerint forgó jelleggel. A növekvő hadműveleti igény miatt 2011 végére ez 65 CAP szolgálat ellátását teszi szükségessé, a személyzet dinamikus bővítésével együtt. Az átképzésbe bevonható repülő-hajózó állomány (vadász/szállító/bombázógép pilóta, navigátor) számára kialakult repülési ösztöneik ellen működik a kiképzési folyamat. A szenzor operátorok (akik a kijelzők adatait elemezve segítik elő a térbeli orientációt) alapvetően képfeldolgozó specialisták (nem feltétlenül a sorkatonai állományból kerülnek felvételre).

Egy pilóta operátor mellett akár 4 szenzor operátor is dolgozhat, akik csak az érzékelők információit dolgozzák fel. Még így is túl sok feladat hárulhat egy operátorra, nőhet a cselekvési idő. (főleg MAC – Multi Aircraft Control –többgépes környezetben, ahol az UAV-ok „rajokban” repülnek.) Ebben a felállásban akár 4 gépet is irányíthat egy csapat az LVC-IA¹³ hangsúlyozottan valóság-hű környezetben. Ez megköveteli az ember-gép rendszer elemeinek teljes integrációját a HSI¹⁴ alapelveinek megfelelően. Ennek legfontosabb része a **HMD – sisakcélzó (head mounted display)**.

Előnyei

- a) könnyű, nappali fényviszonyok között is olvasható kivetítés, mely javítja a térbeli tudatosságot;
- b) mélységlátás sztereoszkópikus feldolgozás révén;
- c) vestibuláris (egyensúlyozó szerv felőli) információk alapján mozgásélmény generálása;
- d) már átkutatott területek képi információinak megőrzése;
- e) földi célpontok/tárgyak gyors beazonosítása;
- f) fejmozgás vezérelt dóm kivetítés.

Hátrányai

- a) térbeli dezorientáció;
- b) szimulátor betegség;
- c) térbeli feloldás nehezítettsége;
- d) időbeli késés;
- e) cél kijelölés duplikált folyamata.

Kifáradás

Külön kell elemezni a tartós munkavégzésből fakadó szellemi teljesítmény deficitet. A valós repülést végrehajtó harci pilótánál (pl. bombázó bevetésen) jól ismert probléma a hosszútávú repülés közben fellépő idegi fáradtság és testi vegetatív tünetek jelentkezése, a szellemi teljesítmény hanyatlása jól korrelál a véralkohol szint emelkedésével. Az UAV operátorok munkája során szintén jelentkezhetnek a folyamatos munkavégzés okozta problémák: felborul a 24 órás napi munkarend és a munkahét ciklusa, miközben a folyamatos váltáshoz szükséges állomány

¹² CAP: Combat Air Patrol

¹³ Live, Virtual, and Constructive (LVC) simulation- -LVC Integrating Architecture (LVC-IA) hangsúlyozottan valóság-hű (élő, virtuális, konstruktív szimuláció, integrált szerkezettel)

¹⁴ HSI: Human System Integration – ember-gép integrációja

általában nem áll rendelkezésre.¹⁵ Ennek következtében a kognitív éberség, mentális reakció-képesség adott napszakhoz köthető szintje felborul az alvás és munkafázis rendszertelen változásával. A hosszantartó UAV műveletek és az aktív munkaidőszak napszaki vándorlása aktív Predator pilótánál is okozott már hirtelen teljesítménycsökkenést, a műveleti helyzet átláthatóságának elvesztését és „bealvást”. A kognitív éberség időbeli alakulását függvényként felfogva számos algoritmust dolgoztak ki (Rajaraman, 2009) különböző változókkal, ahol a legfontosabbak: a pillanatnyi teljesítmény potenciál, a teljesítmény hanyatlás időgörbéje, az alvás alatti regeneráció időgörbéje, és a napszaki együttható értéke. Ezeket együttesen a napi ébrenlét és alvás mennyiségi viszonya határozza meg, amelyek alapján komplex kockázat elemzés végezhető az elemi és járulékos domének tényezőinek súlyozott analízisével. (4. ábra).

A nappali és éjszakai műszak periódust összehasonlítva megállapítható, hogy az éjszakai műszak (22 ó 30 p és 07 ó 00 p) **első nyolc napjában** a munkahatékonyság a kritikus 75 % alá csökkenhet. (A program nem veszi figyelembe az egyéni különbségeket és a gyógyszeres, pszichostimulánsok okozta teljesítmény növekedést és természetesen valódi műveleti körülmények között elvárt és mért teljesítmény adatokhoz kell hasonlítani. Ilyen értelemben a végfelhasználók a Predator századok, ahol a WorkAwake beosztást tervező program használhatósága eldől.

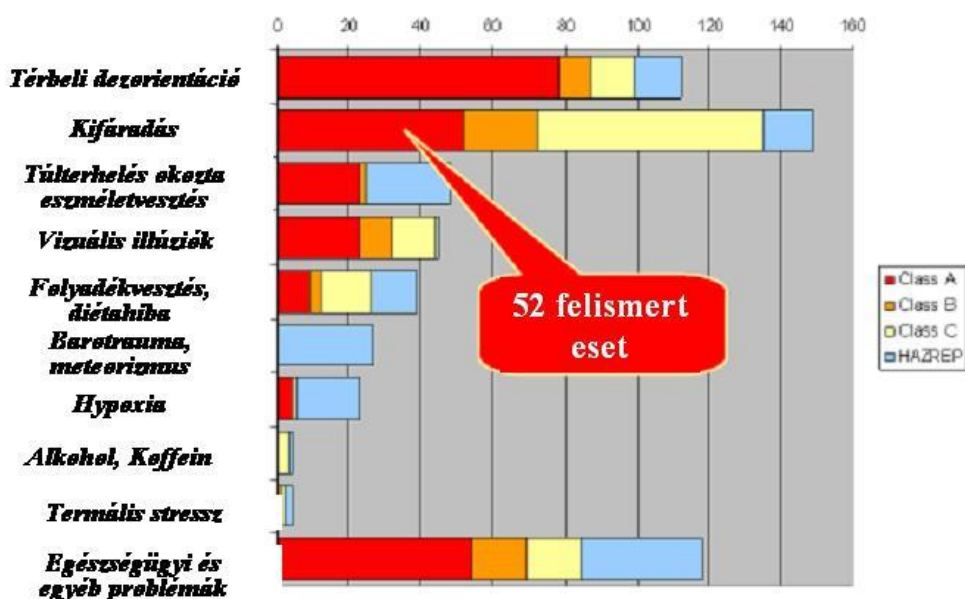


4. ábra Kifáradás elemei és járulékos tényezői

Az US NAVY Amerikai Haditengerészet szintén nagy erőfeszítést tesz a fáradtság okozta műveleti problémák megelőzésére: a két évtizedet átívelő felmérésben közel 150 légieseményben igazolták a kifáradás elsődleges oki szerepét, ebből 52 eset „A” osztályú légikatasztrófa volt. (2000–2006 között 20 ilyen eset volt) (5. ábra)

¹⁵ Lee, L, Wesensten, N: Fatigue Risk Mitigation in UAS Operations. , www.asma.org, (2010. 12 6.)

REPÜLŐORVOSI PROBLÉMÁK A JELENTETT LÉGIBALETEK (A,B,C osztály) és BALESET VESZÉLYES HELYZETEKBN



Capt. Davenport, N.: NSC data from Mr. J. Scott, FY 1990-2008

5. ábra Kifáradás oki szerepe az Amerikai Haditengerészt légi baleseteiben

Egyéb balesetekben is közel 20 %-ban hozzájáruló tényező volt, megháromszorozza a téves érzékelés és a repülési szabálysértési esetek gyakoriságát. Összesen 25 repülőeszköz elvesztéséért, 70 halálos áldozatért, és 560 millió dollár anyagi kárért felelős 2000-2008 között a haditengerészet vonatkozásában.¹⁶ Bár a haditengerészeti UAV műveletek során a közvetlen humán veszteség minimalizálható, az anyagi kár a repülőeszközök és speciális felszerelések egyre elterjedtebb alkalmazása miatt tovább nőhet, a repülési idők analógiájára heti-havi-éves bontásban az UAV operátorok számára is maximalizálni kell a szolgálatban töltött időt. Erre vonatkozóan saját számítógépes ütemtervező/beosztást készítő programjuk van, és oktatják is az alvászavarok, kifáradás operatív jelentőségét¹⁷ is.

Az FAA a polgári repülési hatóság keretein belül szintén elemzi a kifáradás okozta kockázatot hasonló állománycsoporton.¹⁸ (Az USA területén 316 létesítményben több, mint 15 ezer légiforgalmi irányító napi 55 000 repülőgépet irányít, akiknél a kifáradás okozta kockázat csökkentése alapvető.) Valamennyi irányító, felügyelő kérdőívet töltött ki, 15 irányító központban 208 légiforgalmi irányító pedig kéthetes kifárasztásos vizsgálatban is részt vett, ahol a teljesítményüket, fizikai aktivitásukat, alvásukat naplózták, pszichomotoros agyi teljesítményüket (vigilancia-éberség) monitorizálták. Ezek alapján módosítják a munkarendet, az elvárt feladat intenzitást, a munkaközi szüneteket, értékelik a potenciális alvászavarokat, nagy hangsúlyt fektetnek az oktatásra, egészségügyi felvilágosításra.

¹⁶ Davenport, N.: Fatigue in Naval Aviation. 2010. május 11. ASMA konferencia www.asma.org, (2010. 12. 6.)

¹⁷ FAST: Fatigue Avoidance Scheduling Tool (Kifáradás elkerülését célzó beosztás tervező eszköz.)

¹⁸ Huss, R.: Fatigue Risk Management, 2010. május 11. ASMA konferencia www.asma.org, (2010. 12. 6.)

Általános szempontok az UAV operátor jelöltek kiválogatásában

A modern légierő változó stratégiájában az azonnali reagálóképesség prioritást élvez. Ennek kvintesszenciája az új jelmondat: „Jelezd előre a jövő történéseit, győzd le a váratlant és formáld a jövőt.”¹⁹

A hagyományos, pilóta vezette csapásmérő eszközökhöz képest az USAF Amerikai Légierő RPA²⁰, azaz UAV műveleteiben a szimultán tömeges csapásmérő képesség új helyzetet teremt: míg a hagyományos vadászgép pilótája egyszerre néhány cél leküzdésére alkalmas fegyverzet közül választhat, kognitív döntés eredményeként, egyetlen „kibernetikus operátor”, azaz például egy UAV operátor, mint autonóm bevetés irányító számtalan légicélt tud kezelni, részben automatizált döntéshozatali mechanizmusok révén. Az új háborús zóna a telekommunikációs képességeket biztosító (hátszági) földi irányítóterem (ground control station) lesz, ahonnan az operátorok a bevetéseket irányítják. (Az USAF 330 ezres állományából jelenleg is 106 ezer ember (32 %) vesz részt speciális műveletekben, míg a tényleges hajózó állomány létszáma csak 23 800 fő (7 %)).

Természetesen ez azt is jelenti, hogy egyre nagyobb számú – magas színvonalú operátori munkára képes - szakállományt kell kiválogatni. A repülő-hajózó állomány kiválogatásának menete a legtöbb légierőben azonos: a jelöltnak először az általános, katonatiszti pályaalakmassági (beleértve az egészségügyi) vizsgálatokon kell megfelelnie, alapvető pszichomotoros (műszeres) és kognitív tesztekkel kell megoldania, speciális repülőorvosi vizsgálaton kell megfelelnie, utána pedig a repülő alapkiképzés során rendszeres szűrésen és válogatási teszteken kell átmennie, a legrosszabb teljesítményűek „kirostálásával”. Nyilvánvaló, hogy a specializált repülőorvosi intézetek képesek a többcélú, teljes szűrési igénynek megfelelni, akár több vonatkozó alkalmassági rendelet minősítését alkalmazva, ezzel térben és időben lerövidítve a szelekció folyamatát. Itt döntő szerepe van a pszichológiai műszeres vizsgálatok computerizált, számítógépes teszt bázisának, amelyek folyamatosan újra validáltak, előjelzik a jelölt teljesítménye alapján a beválási esélyt.

Ugyanez az elv követhető az UAV operátorjelöltek esetében, azzal a különbséggel, hogy tekintve a bevetések harcászati jellegét, a legtöbb légierő saját állományából válogat, és a korábbi repülőfedélzeti, pilóta tapasztalat határozottan előnyt jelent. Felmerül a kérdés, hogy a nagyobb, általánosabb populációból válogatva kiszűrhető-e a jelentkezők azon csoportja, akik jobb eséllyel, nagyobb valószínűséggel lesznek jó UAV operátorok. Erre a videojátékokban nyújtott teljesítményt vizsgálták a Német Repülőorvosi Intézetben, összevetve a pilóták minősítéséhez is használt tesztekben nyújtott teljesítménnyel.²¹

¹⁹ „Anticipate the Unknown, Overcome the Unexpected, & Shape the Future” in Ortega, B.: So what makes special duty special? Amerikai Repülőorvosi Társaság (ASMA) 2010-es kongresszusa (Phoenix, Arizona) www.asma.org, (2010. 12. 6.)

²⁰ Remotely Piloted Aircraft – földről távirányított repülőgép

²¹ Reeb, C., Eisl, M., Schwab, A.: PC-based flight simulator Experience as a predictor for Success in the German Armed Forces Pilot Aptitude Test Battery 2010. május 11. ASMA konferencia előadása, www.asma.org, (2010. 12. 6.)

Több szerző szerint a videojátékokat gyakran játékosnál jobb a szem-kéz koordináció, jobb a vizuális rövidtávú memória, és jobb a mentális térbeli forgatásos képesség. Gyorsabb lehet a reakcióidő, jobb a szelektív figyelmi képesség, tökéletesebb a párhuzamos feladatok megoldási képessége („multi-tasking”). A konkrét összefüggést a videojátékban és a pszichomotoros alkalmassági teszteken nyújtott teljesítmény között kevesebben vizsgálták: Goeters és Lorenz 1985-ben úgy találta, hogy egy adott videojáték (PAC MAN) javította a térbeli tájékozódó képességet és koncentrációt, felfogási-érzékelési sebességet, reakcióidőt és koordinációt. Lang-Ree és Martinussen pedig 2008-ban írta le, hogy a számítógépes PC szimulátorokon szerzett tapasztalatok javítják a pszichomotoros koordinációt és térérzékelést.

A pszichológia profil szempontjából amerikai szerzők a két legszélesebb körben alkalmazott UAV típus, az MQ-1 Predator és az MQ-9 Reaper operátorainak követelmény rendszerét elemezték.²² Műveleti pilóták és parancsnokok véleményét összegezték, hogy szerintük ki a „jó anyag” operátori kiképzésre a személyiségi jegyek, a kognitív szellemi képességek, és a motiváció szempontjából. (A hadműveleti „kereslet” oldaláról nagy a nyomás, 2010-ig 600 %-os a túlteljesítés a műveleti repülésekben, a Predator esetében a missziós repült órák száma elérte a 700 000 órát. Mindenképpen szükség van a válogatható – nem pilóta - populáció bővítésére, a lemorzsolódás csökkentésére, a minősítési szempontok egységesítésére)

Az általános intelligencián túlmenően a vizuális nyomkövetés, a feladatok tér- és időbeli rangsorolása (térbeli orientációs képesség), gyors reakcióidő, tartós és megosztott figyelmi képességek a fontos kognitív jellemzők. A személyiségi jellemzők vonatkozásában a döntési érettség és határozottság, a pozitív hozzáállás-csoportszellem, rugalmasság és kitartás optimális keveréke fontos szempont. A motiváció tekintetében a munkaköri elégedettség, az UAV platform, mint munkahely elfogadása és egyúttal a sajátos „háborús” szerep elfogadása (akár távolról ölni) elsőrendű. Ugyanakkor ezen követelmények aránya, fajsúlyossága nem tisztázott abban, hogy az UAV operátor sikeresen „repüljön”, harcoljon és győzzön. A témakör szakértőivel²³ (SME) folytatott beszélgetések, a szükséges tulajdonságok listáinak összeállítása után szükség volt a validálásra, a szempontok konszenzus alapján történő beválási valószínűségének értékelésére. Ez majd a kiképzés alatti és az operatív körülmények közötti teljesítmények összevetésével együtt ad átfogó képet mindegyik tényező vagy tulajdonság tényleges fontosságáról.

UAV SZEMÉLYZET VIZSGÁLATI PROTOKOLL

A vizsgálat alaphypotézise, hogy pozitív korreláció található a kedvezőbb (élettanilag normális vagy normálishoz közelebbi) paraméterek és a pszichológia tesztek során mérhető paraméterek, valamint az UAV szimulátorban különböző repülési helyzetekben mért teljesítmény között. Amennyiben a pozitív korreláció bizonyítható, az azt jelenti, hogy az alany kisebb stressz szint mellett (vagy jobb stressz tűrőképességgel) hajtja végre feladatát, akkor adott UAV operátor valós körülmények közötti teljesítménye előrejelezhető. (ANOVA statisztikai csomag, t-próba segítségével az összefüggés szignifikancia szintje előre jelezhető.)

²² McMillan, K., Chappelle, W., King, R., McDonald, K.: Psychological Profile of MQ-1 Predator & MQ-9 Reaper Pilots. Amerikai Repülőorvosi Társaság (ASMA) 2010-es kongresszusa (Phoenix, Arizona) előadás, www.asma.org, (2010. 12. 6.)

²³ SME: Subject Matter Expert: adott téma szakértője

Pszichomotoros koordináció

Elv: UAV szimulátoron adott repülési irány (irányszög, sebesség, magasság stb.) tartása, térbeli illetve a kísérő élettani stressz jelek (pulzus variabilitás) együtt értékelhetők a Schufried féle visuomotoros alappályás teljesítménnyel.

Hypothesis: Bármelyik repülési paraméterben bekövetkezett deviáció (száma, időtartama) korrelációja a pulzus eltéréssel nagyobb stressz szenzitivitást (esetleg szelektív figyelmi funkciót) igazol, és összevethető az alacsonyabb visuomotoros (osztrák Schufried műszeres teszt battérián nyújtott) teljesítménnyel is.

Vizsgálati csoportok:

1. csoport: 10 fő vizsgálati alany – valós repülési tapasztalattal (pilóta)
2. csoport 10 fő vizsgálati alany – nulla repülési tapasztalattal
3. csoport 10 fő vizsgálati alany – minősített légiirányító
4. csoport 10 fő vizsgálati alany – videojáték/szimulátor tapasztalattal

Módszer:

A., A pszichés teljesítmény jellemzése: a Hornyik József kutató munkatárs által összeállított virtuális repülési feladat végigrepülése: a laptop-on telepített UAV szimulátor program segítségével légtérrepülést kell végezni adott ideig (5 perc vizsgálati idő minimum), majd bizonyos tájékozási pontokat visszakeresni., összevetve a visuomotoros koordinációs teszt során nyújtott teljesítmény szinttel, a hiba-tévesztés számát külön értékelve. (Külön cikkben részletezve.)

B., Élettani jellemzők monitorizálása: valamennyi páciensnél a feladat végrehajtása során végig monitorozni kell a szívfrekvencia variabilitást. Több évtizede ismert, hogy döntően szellemi munkavégzés alatt is kimutatható testi változások jelennek meg, amiket objektív mérési módszerekkel ki lehet mutatni. Ezek a következők a teljesség igénye nélkül: idegrendszeri aktivitás (szummációs EEG-P300, fMRI, CFF), endokrin (kortizol), motoros (EMG, pupillatágasság), kardiovaszkuláris (pulzus, vérnyomás, szív frekvencia variabilitás) stb.²⁴. Az EKG alapú analízisek előnye a non-invazivitás és olcsóság, ezért a pszichés kognitív teszt feladat mellett szívfrekvencia variabilitás analízist és végzünk.

A szívfrekvencia variabilitás és a szellemi munka összefüggése először az a 60-as évek körül merült fel²⁵. Mégpedig általánosságban a megfigyelések alapján a mentális munkaterhelés összességében csökkenti a szívfrekvencia variabilitását. A szív ciklusok közötti idő normális körülmények között kismértékben, de ciklusról ciklusra változik. A ciklusok közötti idők mérésével kapott idősorokban kvázi-periodikus ingadozások figyelhetők meg, melyek egymásra rakódása, szuperpozíciója (más hullámtermészetű jelenségekhez hasonlóan) hozza létre a varia-

²⁴ Izsó, L (2001): *Developing evaluation methodologies for human-computer interaction* Ch 3 p: 11-43. Delft University Press, Delft, The Netherlands.

²⁵ Kalsbekk, JWH, Ettema JH (1963): Scored regularity of the heart rate pattern and the measurement of perceptual and mental load. *Ergonomics* 6, 306.

bilitást. Rövidtávon (másodperces-perces tartományokban) a szívciklusok ingadozásai frekvencia tartomány analízisekkel három fő összetevőre bonthatók le^{26,27,28,29}:

- magas frekvenciás komponens (0,15–0,45 Hz között), ami a légzési szinusz aritmiával, ezáltal a légzési frekvenciával kapcsolható össze, továbbá a paraszimpatikus szabályozás gátlásával megszüntethető³⁰;
- közepes frekvenciás komponens (0,1 Hz körül, irodalomban gyakran ez az alacsony frekvenciás tartomány), ami a vazomotor rendszer vezérelte vérnyomás változásokkal, a baroreceptorok aktivitásával hozható összefüggésbe²⁶. Ebben a tartományban az oszcillációk mind a szimpatikus, mind a paraszimpatikus rendszer által mediáltak³¹. Sayers vizsgálata alapján ez a frekvencia tartomány érzékenyen reagál szellemi munkára²⁷, valamint szenzitívebb erre a teljes spektrum varianciához képest³². Az előző vizsgálatok alapján a szellemi terhelés elnyomja az oszcillációt ebben a tartományban, továbbá a terhelés megszűntével egyféle visszacsapás jelenség figyelhető meg, utóbbi mértéke arányos a megelőző terhelés nagyságával. Másrészt, Izsó szerint, hosszabb ideig tartó, folyamatos terhelés során a középső frekvencia tartomány elnyomásának ingadozása az idő vetületében (szórás) arányos lehet a munkaterheléssel, amit egy adott feladat okoz az alanyak³³;
- alacsony frekvenciás komponens (0,03 Hz alatt, irodalomban nagyon alacsony frekvenciás komponens) élettani háttere nem pontosan tisztázott, a testhőmérséklet reguláció és a renin-angiotenzin rendszer periodikus változásai merültek fel lehetséges forrásként^{27, 29}.

A fentiek alapján közepes tartomány, a vazomotor tónus ingadozása az autonóm idegrendszer egyensúlyi állapotának változását tükrözi. A kapcsolatot az autonóm idegrendszer, a központi idegrendszer valamint szellemi erőfeszítés között Boucsein és Backs integrált modellje írja le, mely szerint az „erőfeszítés rendszer” az input-output össze- és szétkapcsolásáért felelős a kontrollált információ feldolgozás folyamata során, elősegíti az analízist (időt nyer szükség esetén szétkapcsolással) a kortikális, szubkortikális (kérgi és kéreg alatti) körökben. A hippocampus a fő idegrendszeri struktúra ahol ez megvalósul és innen kerülhetnek ki az autonóm idegrendszert befolyásoló ingerek is³⁴ (a frontális lebeny és a hipotalamusz egyes vegetatív magjai a

²⁶ Hyndman, BW, Kitney RI, Sayers, B (1971): Spontaneous rhythms in psychological control systems. *Nature*, 233, 5B18: 339.

²⁷ Sayers, B (1973): Analysis of heart rate variability. *Ergonomics*, 16, 17-32.

²⁸ Womack, BF (1971): The analysis of respiratory sinus arrhythmia using spectral analysis and digital filtering. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 18, 399-409.

²⁹ Akselrod S, et al (1981): Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science* ;213:220-223

³⁰ Porges, SW et al (1981): The influence of methylphenidate on spontaneous autonomic activity and behaviour in children diagnosed as hyperactive. *Psychophysiol.* 18, 42-48

³¹ Weise, F, Heydenreich, F, Runge, U. (1987): Contributions of sympathetic and vagal mechanisms to the genesis of heart rate fluctuations during orthostatic load: a spectral analysis. *J. Auton. Nerv. Syst.*, 21, 127-134

³² Mulder, G, Mulder-Hajonides van der Meulen, WREH (1973). Mental load and the measurement of heart rate variability. *Ergonomics* 16, 69-83.

³³ Izsó, L (2001): Developing evaluation methodologies for human-computer interaction. Ch 4. p 88 Delft University Press, Delft, The Netherlands.

³⁴ Boucsein, W, Backs RW (2000): Engineering psychophysiology as a discipline: Historical and theoretical aspects. In *Engineering psychophysiology: issues and applications* Backs, RW, Boucsein, W (Eds). Publisher:

hippocampussal együtt a magasabb szintű szimpatikus központok közé tartoznak).

A vizsgálatok során az UAV operátor jelöltekre/pilótákra csatlakoztatjuk a Láng, Horváth és munkatársaik³⁵³⁶ által kifejlesztett ISAX (Integrated System for Ambulatory Cardio-Respiratory Data Acquisition and Spectral Analysis) 5.0-ás prototípusát. A készülékkel folyamatosan rögzítjük az EKG alapú szív ciklusokat, a kognitív stressz mérési fázisoknak megfelelően pedig idő-tartomány (közepes frekvencia tartományra, time-domain) és frekvencia-tartomány (frequency-domain) alapú elemzéseket végzünk. Az általunk használt készülék csak online üzemmódban alkalmas adat rögzítésre, ezt folyamatos USB alapú számítógép csatlakozással (netbook) hidaljuk át. A vizsgálat vezető nyomógombos távkapcsoló segítségével jelölőket helyez el a mérési fázisok (nyugalmi és feladat fázis, feladatváltás/vészhelyzet szimuláció fázisa) kezdésénél és végénél a rögzített EKG jel sorozatokban, ezáltal azonosíthatóvá válnak az általunk vizsgálni kívánt szakaszok. Új távkapcsolókat fejlesztettünk ki a készülékhez, amik visszajelzést adnak az alanynak a jelölők elhelyezéséről. (Jelölők nélkül a pontos értékelés kivitelezhetetlen.) A készülék és a csatlakozó szoftver működési elve: az EKG jelsorozatról időablak-eltolással, periodikusan mintavételezést végez, majd gyors Fourier transzformációval meghatározza a jelek frekvencia komponenseit és relatív intenzitásukat.

Idő-tartomány analízisben a demonstráció céljából bemutatásra kerül a közepes frekvencia tartomány elnyomása a feladat alatt és a „visszacsapás” jelensége a feladat végeztével. Megvizsgáljuk a közepes frekvenciatartomány intenzitásának változását az idő függvényében, meghatározzuk az értékek szórását a mérés előtt, alatt és után. Frekvencia-tartomány analízisben meghatározzuk a közepes frekvenciatartomány intenzitásának alakulását a mérések alatt és az azt követő időszakban, továbbá meghatározzuk a közepes/magas frekvencia tartományok intenzitásának arányát. A fenti adatokat a stressz és nyugalmi szituációk illetve a feladatok bonyolultsága függvényében értékeli. A statisztikai elemzésekhez internetes alkalmazásokat használunk.³⁷

ÖSSZEFOGLALÁS

1915-ben Nikola Tesla disszertációjában vázolta fel egy pilóta nélküli repülőgép koncepcióját, amely képes lesz az Egyesült Államok védelmére. A pilóta nélküli repülőeszközök napjainkban már ígéretes komplett rendszert alkotnak, a jövőben „a hadsereg szemei” lehetnek. Ugyanakkor az operátor emberi esendősége, hibahajlama változatlan kockázati tényező, még a hagyományos pilóta vezette műveletekkel összehasonlítva is komoly költség kihatással jár katasztrófa esetén. A hadműveleti tapasztalatokra alapozva (OIF, OEF) ugyanakkor kimondható, hogy számottevően javítják a bevetések sikerességét, csökkentik a katonák közvetlen harci terhelését, és

Lawrence Erlbaum Associates. Place of Publication: Mahwah, NJ. Publication Year: 2000. pp: 6-7. Retrieved from: <http://www.questia.com/PM.qst?a=o&d=97191094> 2012.06.19

³⁵ Láng, E., Horváth G (1994): Integrated System for Ambulatory Cardio-Respiratory Data Acquisition and Spectral Analysis (ISAX). User's Manual. Budapest, Hungary.

³⁶ Láng E. (2001). Szívperiódus variabilitás. Oktatási segédanyag. Munka- és szervezetpszichológia Budapesti Műszaki Egyetem. Retrieved from url: <http://www.erg.bme.hu/szakkepzes/fiziolgia/2001szpv.pdf> (2013. 03. 07.)

³⁷ Lowry, R: VassarStats: Website for Statistical Computation. <http://faculty.vassar.edu/lowry/VassarStats.htm> Vassar College. Poughkeepsie, USA.

az ellenségnek történő közvetlen harci kitettséget, a sérülés veszélyét, fejlesztésük perspektivikus.³⁸ Az 1990-es évek elején fő feladatuk az információ gyors összegyűjtése, feldolgozása és visszaosztása volt, hogy lerövidítsék a szenzorok és a lövés/harci csapás között eltelt időt (A Sivatagi Vihar hadműveletben a pionírok 300 harci bevetést repültek). Jelenleg pedig minden szinten (zászlóalj szinten 25 km-ig 1–2 órás időtartamban, dandárszinten 125 km-ig 5–10 órás időtartamban, hadosztály szinten 200 km fölötti hatótávolsággal 16 óránál tovább tartó missziókban) alkalmazott, összesen 328 db rendszerben lévő UAS több, mint 1 millió órát repült eddig az iraki-afganisztáni hadműveleti övezetben. Csak az Amerikai Hadsereg 2100 fő UAV operátort képez 2012-ben, ami 2003 óta 300 %-os növekedést jelent.

A dinamikusan növekvő, speciális szaktudást és képességeket igénylő operátori feladatkör a potenciális jelölt állomány költséghatékony és logikus, szekvenciális szűrését, a szelekciós kritériumok pontos meghatározását, és az igényeknek megfelelő folyamatos áttekintését követeli meg. Bár a gazdasági válság miatt a kiválogatási rendszer preferálja a már előképzettséggel, akár repülési tapasztalattal rendelkező állomány operátori szakkiképzést, a szelekciós elvek egy közös minimumra kell, hogy épüljenek, amelyek mindenkire egyformán vonatkoznak. A jelöltek kiképzése és végső gyakorlati oktatása is egységes elvek szerint történik, a kiképzettségi szint is elvárt, azonos. Ha ezt a kiképzés során az operátorok többsége képes teljesíteni, az már jól minősíti a szelekciós elvek életszerűségét.

Az általunk kiválasztott szimulátoros feladat végrehajtás és a kísérő pszichés stressz autonóm idegrendszeri egyensúlyvesztését leíró kísérleti módszer alkalmas lehet a pszichés stressz tűrőképesség jellemzésére, a jelölt alkalmasságának komplexebb megítélésére. A visszajelzés is fontos, a valós UAV repülések repülésbiztonsági adatainak retrospektív elemzése támpontot adhat arra nézve, hogy a kiválogatás során mely egyedi (érzékszervi és kognitív szellemi teljesítményt jellemző) paramétereket kell hangsúlyozni és részletesebben megítélni. Az elemzés arra is módot ad, hogy a humán faktor problémáit ergonómiai, döntést segítő (az emberi döntést kiváltó) automatizmusokkal minimalizáljuk, ilyen módon is segítve az UAV repülésbiztonság javulását.

Ebben a feladatban a Nemzeti Köszolgálati Egyetem és a MH Honvédkórház/Egészségügyi Központ szakállománya is részt vállal, TÁMOP pályázat keretében „A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálata” kezdődött meg. (TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001. sz. pályázat, "Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások").

³⁸ "Eyes of the Army" US ARMY Roadmap for Unmanned Aircraft Systems 2010-2035. UAS ARMY UAS Center of Excellence, Fort Rucker, Alabama url: <http://www-rucker.army.mil/usaace/uas/US Army UAS RoadMap>, (2013.02.25.)

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] AKSELROD S, et al (1981): Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science* ;213:220-223
- [2] BOCSEIN, W, BACKS RW (2000): Engineering psychophysiology as a discipline: Hystorical and theoretical aspects. In *Engineering psychophysiology: issues and applications* Backs, RW, Boucsein, W (Eds). Publisher: Lawrence Erlbaum Associates. Place of Publication: Mahwah, NJ. Publication Year: 2000. pp: 6-7. Retrieved from: <http://www.questia.com/PM.qst?a=o&d=97191094> (2012.06.19)
- [3] DAVENPORT, N.: Fatigue in Naval Aviation. 2010. május 11. ASMA konferencia www.asma.org, (2010. 12. 6.)
- [4] Eyes of the Army” US ARMY Roadmap for Unmanned Aircraft Systems 2010-2035. UAS ARMY UAS Center of Excellence, Fort Rucker, Alabama url: <http://www-rucker.army.mil/usaace/uas/US Army UAS RoadMap>, (2013. 02. 25)
- [5] FARLEY, R., HEUPEL, K., LEE, K., GARDETTO, P., JOHNSON, B.: Human Factors in Remotely Piloted Aircraft (RPA). HQ AFSC/SEHI DSN 246-0880, ASMA annual conference, www.asma.org, (2010. 12. 6.)
- [6] HARRIS, T.: Human Factors Challenges in Remotely Piloted Aircraft Amerikai Repülőorvosi Társaság (ASMA) 2010-es kongresszusa (Phoenix, Arizona) url.: www.asma.org, (2010. 12. 6.)
- [7] HUSS, R.: Fatigue Risk Management, 2010. május 11. ASMA konferencia url.: www.asma.org, (2010. 12. 6.)
- [8] HYNDMAN, BW, Kitney RI, Sayers, B (1971): Spontaneous rhythms in psychological control systems. *Nature*, 233, 5B18: 339.
- [9] IZSÓ, L Developing evaluation methodologies for human-computer interaction Ch 3 p: 11-43., Ch 4. p 88 Delft University Press, Delft, The Neatherlands. (2001):
- [10] KALSBEKK, JWH, Ettema JH (1963): Scored regularity of the heart rate pattern and the measurment of perceptual and mental load. *Ergonomics* 6, 306.
- [11] LÁNG, E., HORVÁTH G (1994): Integrated System for Ambulatory Cardio-Respiratory Data Acquisition and Spectral Analysis (ISAX). User’s Manual. Budapest, Hungary.
- [12] LÁNG E. (2001). Szívperiódus variabilitás. Oktatási segédanyag. Munka- és szervezetpszichológia. Budapesti Műszaki Egyetem. Retrieved from url: <http://www.erg.bme.hu/szakkepzes/fiziologia/001szpv.pdf> (2013. 03. 07.)
- [13] LEE, L, WESENSTEN, N: Fatigue Risk Mitigation in UAS Operations., url.: www.asma.org, (2010. 12. 6.)
- [14] LOWRY, R: VassarStats: Website for Statistical Computation. <http://faculty.vassar.edu/lowry/VassarStats.htm> Vassar College. Poughkeepsie, USA.
- [15] MCMILLAN, K., CHAPPELLE, W., KING, R., McDONALD, K.: Psychological Profile of MQ-1 Predator & MQ-9 Reaper Pilots. Amerikai Repülőorvosi Társaság (ASMA) 2010-es kongresszusa (Phoenix, Arizona) előadás, www.asma.org, (2010. 12. 6.)
- [16] MULDER, G, MULDER-HAJONIDES van der Meulen, WREH (1973). Mental load and the measurement of heart rate variability . *Ergonomics* 16, 69-83.
- [17] ORTEGA, B.: So what makes special duty special ? url.: www.asma.org, (2010. 12. 6.)
- [18] PORGES, SW at al (1981): The influence of methylphenidate on spontaneous autonomic activity and behaviour in children diagnosed as hyperactive. *Psychophysiol.* 18, 42-48
- [19] REEB, C., EISL, M., SCHWAB, A.: PC-based flight simulator Experience as a predictor for Success in the German Armed Forces Pilot Aptitude Test Battery 2010. május 11. ASMA konferencia előadása, www.asma.org, (2010. 12. 6.)
- [20] SAYERS, B (1973): Analysis of heart rate variability. *Ergonomics*, 16, 17-32.
- [21] WEISE, F, HEYDENREICH, F, RUNGE, U. (1987): Contributions of sympathetic and vagal mechanisms to the genesis of heart rate fluctuations during orthostatic load: a spectral analysis. *J. Auton. Nerv. Syst.*, 21, 127-134
- [22] WOMACK, BF (1971): The analysis of respiratory sinus arrhythmia using spectral analysis and digital filtering. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 18, 399-409.