

Füstös Julianna, Vas Tímea, Károly Krisztián

Légi forgalmi irányítók képzésének és kiválasztásának perspektivikus lehetőségei XR-alapokon humánteljesítmény-diagnosztikai támogatással

A légi forgalom növekedése fokozott terhelést ró a légi forgalmi irányítókra, miközben egyre több emberre lenne szükség. A hagyományos képzési módszerek nem mindig alkalmasak a jelöltek bevalásának és képzési előmenetelének objektív mérésére, feltételezésünk szerint a bevalás egyik kulcsa az egyén teljesítőképessége fokozott igénybevétel mellett. Kutatásunkban XR-alapú szimulációval és humánteljesítmény-diagnosztikai mérésekkel vizsgáltuk többek között a stressz és a teljesítmény összefüggéseit. Az eredmények ígéretesek, de a módszer szélesebb körű bevezetéséhez további, nagyobb mintán végzett vizsgálatokra van szükség.

Kulcsszavak: légi forgalom, XR, virtuális valóság, képzés, kiválasztás, teljesítménydiagnosztika, stressz

1. Bevezetés

1.1. A légi forgalom növekedése

Az utóbbi években a légi forgalom jelentős növekedést mutatott. A 2000-es évek közepétől folyamatosan emelkedett, majd a Covid–19-járvány kitörésekor drámai visszaesést mutatott, ami globális szinten hosszú távú hatásokat gyakorolt a légi közlekedésre. A helyreállítás körülbelül két-három évet vett igénybe, és ennek eredményeként a forgalom fokozatosan visszatért a normális működéshez. A járvány utáni években azonban meg is haladta a 2019-es szintet, és az iparág új növekedési pályára lépett. Magyarországon 2024-ben a légi forgalom 6%-kal, míg nemzetközi szinten 10,4%-kal nőtt 2023-hoz képest, és az elkövetkező években is mérsékeltebb, de folyamatos növekedés várható a globális légi közlekedésben [1]. Mindemellett a 2022 februárjában kezdődő orosz–ukrán konfliktus okozta légtérzár az Európán keresztülhaladó légi forgalmat jelentősen átrendezte, ami a magyar légtérben jelentős forgalom-növekedést okozott [2].

Ezzel párhuzamosan a légi forgalmi irányítók munkája is drámaian megugrott, hiszen a növekvő forgalom nemcsak a járatok számát emelte, hanem a koordinálásukhoz szükséges beavatkozások számát is. Az irányítóknak folyamatosan biztosítaniuk kell, hogy minden járat biztonságosan és hatékonyan közlekedjen a légtérben, ami folyamatos koncentrációt és gyors döntéshozatalt igényel. Ez a megnövekedett munkaterhelés rendkívüli kihívások elé állítja

őket, különösen akkor, amikor a forgalom egyes területeken jelentősen sűrűsödik, ez pedig hatalmas stresszfaktor, és hosszú távon veszélyezteti a biztonságot.

Mindez azt eredményezi, hogy a légi forgalmi irányítók munkája egyre nagyobb mentális terheléssel jár. A fokozott koncentráció, a gyors döntéshozatal szükségessége, valamint az új típusú járművekkel való koordináció komoly kihívások elé állítja az irányítókat.

1.2. A légi forgalmi irányítók kiválasztásának kihívásai

A hosszú és nehéz képzés, a rendkívüli stressz, a túlterheltség és a meglehetősen speciális munkaerőpiaci kereslet mind arra mutat, hogy csak kevesen alkalmasak légi forgalmi irányítói munkakör betöltésére. A légi forgalmi irányítók száma nem az elvárt mértékben növekszik, és az ebből fakadó létszámhiány, illetve a megnövekedett munkaterhelés hátrányosan befolyásolhatja a repülés biztonságát. Ha a megfelelő számú és jól képzett irányító nem áll rendelkezésre, az késésekhez, szélsőséges esetben akár balesetekhez is vezethet.

A légi forgalmi irányítóvá válás azonban egy hosszú és összetett folyamat, amely több szakaszból áll. A jelentkezőknek pszichológiai és kognitív teszteken kell átesniük, amelyek a memóriát, a figyelmet, a döntéshozatali képességet és a stressztűrést mérik.

A legelterjedtebb ilyen teszt (amelyet a HungaroControl¹ is alkalmaz) a FEAST² teszt. Ez egy olyan feladatsor, amely során a jelentkezők kognitív képességeit (észlelés, információ-feldolgozás, memória, döntéshozatal, angol nyelvtudás) és a munkakör ellátásához szükséges személyiségjegyeket mérik és vizsgálják. Az EuroControl³ kifejezetten a jelöltek kiválasztására fejlesztette ki ezt a tesztet, azonban a képzés nagyon szigorú, és a jelentkezők nagy része az első évben kiesik. Ennek az egyik oka lehet, hogy a hagyományos kiválasztási módszerek nem mindig tudják pontosan előre jelezni, hogy egy jelölt valóban alkalmas lesz-e a munkára, illetve ezen alkalmassági tesztek elsődleges célja az egyértelmű alkalmatlanság megállapítása.

A Magyar Honvédség számára a Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Karán (továbbiakban: NKE HHK) a Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék keretében zajlik a katonai légi forgalmi irányítók képzése. A képzésre történő jelentkezéshez a hallgatóknak meg kell felelniük bizonyos feltételeknek: egészségügyi, pszichikai és fizikai alkalmassági vizsgálatokon kell jól teljesíteni az előzetes középfokú tanulmányi eredményeken túl. A jelöltek alkalmassági kiválasztását a Repülőorvosi Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet végzi, ennek az előszűrésnek is az egyértelmű alkalmatlanság megállapítása a célja.

A pszichológiai alkalmassági vizsgálatok is gyakran támaszkodnak önbevallásos tesztekre és szubjektív értékelésekre, ami nem mindig ad teljes képet egy adott jelölt valós teljesítőképeségéről. Ezért megfogalmazódott az igény újabb módszerek bevonására, amelyek pontosabban és objektívebben tudják mérni a jelöltek alkalmasságát.

¹ A magyar légtérben légi forgalmi szolgáltatásokat nyújtó állami tulajdonú vállalat.

² First European Air Traffic Controller Selection Test.

³ Európa légi közlekedésének biztonságáért felelős szervezet.

1.3. A képzés fejlesztésének szükségessége

Ha valaki bekerül a légi forgalmi irányítói képzésbe, akkor több szakaszon kell végigmennie ahhoz, hogy légi forgalmi irányítónak válhasson. Ezek közé tartozik az elméleti oktatás, a szimulátoros gyakorlás és a valós forgalomban történő betanulás. Ez így összesen két évet vesz igénybe, ami nemcsak költséges, hanem időigényes is.

A hagyományos szimulátorok ugyan jól modellezik a munkakörnyezetet, de nem tudják visszaadni teljesen a valóság érzetét, valamint nincsenek felszerelve olyan humánteljesítmény-diagnosztikai szenzorokkal, amelyek képesek megfelelően mérni a munkaterheléssel jelentkező stresszértékeket.

Az NKE HHK légi forgalmi irányító képzése négy évig tart, amely során a repülésirányító mellett honvédtiszt felkészítés is zajlik. Az elméleti oktatáson túlmenően gyakorlati szimulációs körülmények között végezhető képzést is kapnak a hallgatók. Ugyanakkor az egyéni kompetenciák és a képzésben való előrehaladás mérése és dokumentálása nem megfelelően biztosított. Nagyobb hangsúlyt kellene kapnia az egyéni fejlődés többoldalú nyomon követésének.

Összességében tehát nemcsak több irányítóra van szükség, hanem hatékonyabb és gyorsabb képzési módszerekre is. Ebben segíthet részben az XR,⁴ vagyis a kibővített valóság technológia, amely egyre nagyobb szerepet kap a szakmai képzésekben (akár orvosi területen – sebészeknél, mérnöki területen stb.), ennek megfelelően a légi forgalmi irányítás területén is komoly lehetőségekkel bír [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9].

1.4. Az XR-technológia szerepe a képzésben

Az XR egy gyűjtőfogalom, amely magában foglalja a virtuális (VR⁵), a kiterjesztett (AR⁶) és a kevert (MR⁷) valóságokat. Ezek mind immerzív⁸ technológiák, amelyek a hagyományos szimulátorokhoz képest részletgazdagabb és dinamikusabb környezetet kínálnak azáltal, hogy a felhasználó szemszögéből mutatják be az adott folyamatot, elősegítve a felhasználók teljes elmerülését a digitális munkakörnyezetben. Ennek eredményeként a tanulási folyamat hatékonyabbá és gyorsabbá válik a hagyományos módszerekhez képest.

A VR- és AR-alapú tréningek úgy vannak kialakítva, hogy egyszerre több tanuló is részt vehet ugyanabban a gyakorlatban, gyakran akár különböző helyszínekről is. Ez előnyt jelent a hagyományos szimulátorokkal szemben, mivel nincs szükség minden hallgató számára külön fizikai eszközre vagy szimulátorfülkére – egy VR-headset elegendő lehet. Emellett kevesebb oktató is elegendő, hiszen az XR-szimulációk gyakran tartalmazznak automatikus visszajelzési és értékelő funkciókat.

⁴ Extended Reality, kibővített valóság.

⁵ Virtual Reality, virtuális valóság.

⁶ Augmented Reality, kiterjesztett valóság.

⁷ Mixed Reality, kevert valóság.

⁸ Bevonó, magával ragadó.

2. A kutatás

2.1. Cél és alapkoncepció

A kutatásunk célja egyrészt az volt, hogy felfedezzük-megvizsgáljuk, mennyire hasonlít egy virtuális valóságban megjelenő légi helyzet kezelése azokra a kompetenciákra, amelyeket szeretnénk, ha a hallgatók a képzés során elsajátítanának. Másrészt ezek a szimulációk milyen élettani, elsősorban stressz-, illetve HRV⁹-értékeket produkálnak. Azt vizsgáltuk, hogy a szimulált környezet növeli-e a stressz-szintet, és ha igen, mennyire, valamint hogy a stresszérték és a HRV-érték milyen összefüggésbe hozható a nehezebb szituációkkal.

A mentális terhelésre és a fizikai reakciókra voltunk kíváncsiak, hogy objektív, tényszerű adatok alapján elemezhezzük az XR-technológia, valamint a légi forgalmi helyzet megoldásának hatásait. Ezzel kapcsolatban az egyik legfontosabb kérdés az volt, hogy mennyire terhelik meg az irányítók/irányítójelöltek szervezetét és idegrendszerét az XR-alapú (légi forgalmi) szituációk.

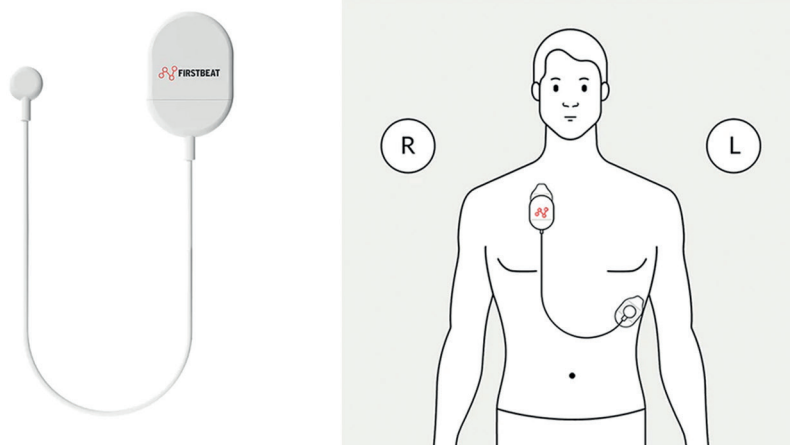
A figyelemre és a kognitív terhelésre adott hatásokkal azt akartuk megfigyelni, hogy vajon hozzá lehet-e szokni a VR-munkakörnyezethez, illetve a szimulációs feladatok megoldásához. Szükséges kiemelni, hogy a szimuláció során egy teljesen új perspektívából nézzük a légi forgalmi helyzetet. Az alkalmazott 2D-s radarkép helyett egy 3D-s madártávlati nézetből kellett a tesztalanyoknak megoldania a kialakuló konfliktusokat. Kíváncsiak voltunk arra, hogy az XR mennyire terheli meg a szervezetet: vajon volt-e olyan feladat, amelyet egy idő után nehezebben végzett el a jelölt, mert túl sokáig túl sok vizuális (immerzív) információ érkezett?

2.2. A kutatás felépítése

Mindezen kutatási célkitűzésekhez a Control Tower [10] nevű VR-alapú légiforgalom-kezelési szimulációt és a Firstbeat testszenzorát [11] használtuk. Utóbbi egy olyan készülék (1. ábra), amely a mellkasra ragasztva 3–5 napos mérési ciklusokban az illető aktuális állapotát: a stressz-szintjét, a pulzusvariációt (HRV), a fizikai aktivitást és az alvásminőséget képes mérni.

A szívfrekvencia-változékonyság, azaz a HRV az egymást követő szívösszehúzódások közötti időbeni eltérés [12, pp. 85–93]. Korábban már számos kutatás bizonyította, hogy összefüggés van az autonóm idegrendszer és a szívfrekvencia-variabilitás között [13], [14]. A pulzusvariabilitás-értékek nagyon hasonlóak egymáshoz stresszes szituációban (például megterhelő üzleti tárgyalás) vagy kimerítő sporttevékenység közben is. Szimpatikus aktivitás (például stressz, fizikai aktivitás) során nő a pulzusszám és csökken a pulzusvariabilitás, paraszimpatikus aktivitás során (pihenés, feltöltődés) csökken a pulzusszám, nő a variabilitás, azaz a HRV.

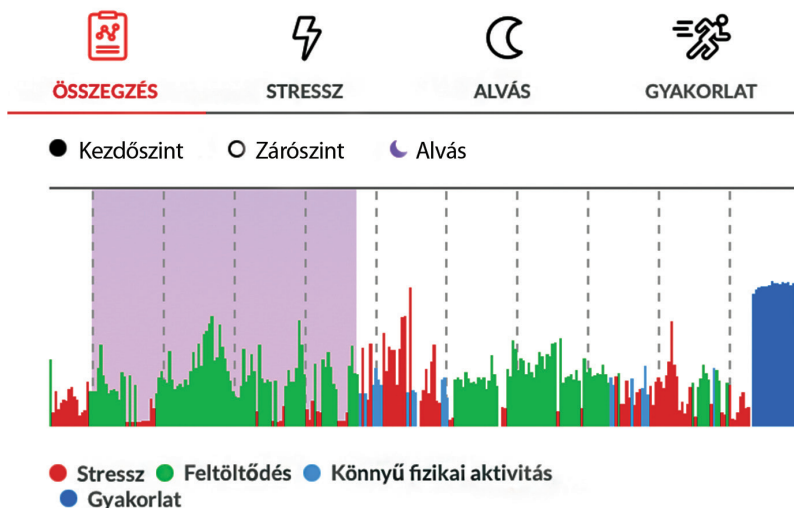
⁹ Heart Rate Variability, szívfrekvencia-változékonyság, pulzusvariancia.



1. ábra

Firstbeat bodyguard 3 készülék és annak felhelyezési módja [11]

Majd ezeket az értékeket és az értékekből kiszámolt adatokat a készülékkel párosított telefonon Firstbeat alkalmazásán lehet megnézni, amely egy grafikonon mutatja percre lebontva, hogy a nap folyamán bejegyzett tevékenységek során milyen értékeket mért a testszenzor (2. ábra). A stresszt piros, a feltöltődést (pihenést) zöld, a gyakorlatot (bármilyen fizikailag megterhelő tevékenységet) kékkel jelzi. Azért fontosak ezek az adatok, mert például a HRV az egyik mutatója a stressznek, mivel az autonóm idegrendszeri aktivitást jelzi (tehát alacsonyabb HRV nagyobb megterhelést jelent), a pulzus gyorsasága pedig remek visszajelzés a fizikai megterhelésről.



2. ábra

A Firstbeat telefonos alkalmazása és a grafikon [az applikáció alapján a szerzők]

A Control Tower egy repülésspecifikus szimuláció, amelyben a felhasználó a repülésirányító szerepébe lép – tehát a cél a repülőgépek biztonságos, hatékony és gyors koordinálása (3. ábra). A szabály nagyon egyszerű: mindegyik légi járművet (nagygépet, kisgépet, helikoptert, vitorlázó repülőt) a neki szánt futópályára kell leszállítani, miközben figyelni kell az elkülönítésükre is. Egy leszállított repülőgép egy pontot jelent, azonban ha egy légi járművet nem sikerül biztonságosan leszállítani, a szimuláció véget ér [10]. A gyakorlat akkor számít sikeresnek, ha minél több repülőgépet sikerül leszállítani, és ezzel együtt minél több pontot szerzünk.

A szimuláció kihívása nem a szabályrendszerében van, hanem az egyre nagyobb terhelésben, amit az egyre gyorsabb forgalomnövekedés okoz. A légi forgalom egyre sűrűbb, ezáltal egyre többfelé kell figyelni, hiszen az ütközéseket és a késéseket (elszalasztott repülőgépeket) el kell kerülni. Ez az alkalmazás nagyon jó lehetőség a légi forgalmi irányítók tesztelésére, mivel a stresszhelyzetek által fejleszthető a gyors döntéshozatal és a koncentráció képessége.



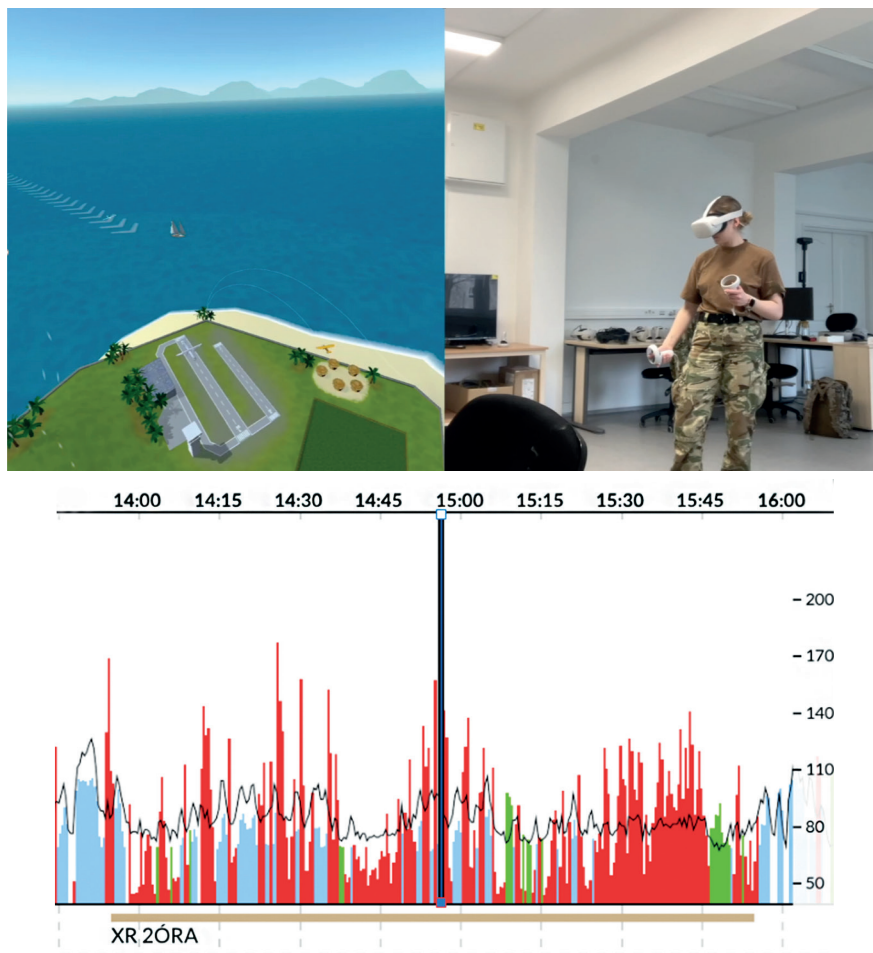
3. ábra
Control Tower szimuláció [10]

A mérési kampányt egy fő tesztalanyon hajtottuk végre, aki a Bodyguard testszenzort 5 napon keresztül folyamatosan viselte, illetve ezen belül egy 72 órás időtartamban összesen 31 alkalommal végzett tesztet.

A kutatásunk metodikája a következőképpen épült fel:

- A tesztalany felhelyezte az 1. ábrán látott módon a Firstbeat testszenzort – ezzel mértük a tesztek során fellépő pulzust és a HRV-t.
- Meta Quest 2 VR-szemüveg [15] használatával elindítottuk a Control Tower szimulációt, amelyet a szemüveg képernyőfelvételével rögzítettünk.
- A szimulációs tesztek végzését külső kamerával vettük fel, hogy a valós fizikai térben látható reakciókat is rögzíthessük.
- Majd összevetettük a kameraképen látott reakciókat a VR belső nézetes szimuláció képével, illetve a Firstbeat által mért adatokkal, mint ahogy az a 4. ábrán is látható.

A külső megfigyelés alapján többnyire nem volt beazonosítható a megnövekedett stresszhelyzet, amit azonban a testszenzoros visszacsatolás kimutatott, vagyis hogy a szimuláció tesztjei mikor váltak egyre megterhelőbbé, és ez növekvő stresszt váltott ki.



4. ábra

Az egymáshoz szinkronizált felvételek egy kiragadott pillanata (felül) és a stresszt jelző grafikon (alul) [a szerzők]

2.3. Eredmények

Az előbb bemutatott módszerrel három nap intenzív XR-tevékenység során számos tesztet folytattunk le pilotjelleggel a tesztalanyon. A tesztek átlagosan 4 perc 15 másodpercesek voltak. Látható, hogy ez rövid időtartamú, azonban a program ennyi idő alatt is viszonylag nagy munkaterhelést, ezzel együtt stresszt tudott előidézni.

Az időben legtovább tartó teszt 10 perces volt (amin a legtöbb pontszámot érte el), ez az első nap következett be, és kiugró teljesítménnyel járt. A teszt alatt 89-es pulzust mért a szenzor, ami a 85,8-as átlagpulzusnál csak egy kicsit magasabb, azonban a HRV értéke 45 volt, ami jóval több az átlagos 38,7-nél. Ebből látható, hogy a háromnapos teszt során rögtön az első napon mutatkozott meg a csúcsteljesítmény, amely átlagos pulzus mellett az átlaghoz képest kiugró HRV-értéket jelentett, ezzel együtt ezt a tesztalany pozitív stresszként élte meg. Ezen mérés adatait az 1. táblázatban sárgával emeltük ki.

1. táblázat
Önkísérlet, 2025. március 8. [a szerzők]

A teszt száma	HRV	Pulzus	HRV-pulzus különbség (stressz)	Eredmény	Időtartam (perc)
1	52	70	18	18	6
2	50	79	29	2	2,5
3	40	80	40	4	3
4	48	80	32	6	5
5	43	80	37	4	4
6	42	85	43	4	4
7	45	92	47	5	3
8	45	89	44	54	10
9	20	79	59	9	5
10	42	80	38	31	7
11	39	82	43	7	4

2. táblázat
Önkísérlet, 2025. március 9. [a szerzők]

A teszt száma	HRV	Pulzus	HRV-pulzus különbség (stressz)	Eredmény	Időtartam (perc)
12	42	83	39	11	3,5
13	39	82	43	10	4
14	43	70	27	14	3,5
15	45	78	33	20	6
16	40	88	48	25	6
17	35	95	60	30	6
18	40	80	40	25	5
19	35	85	50	21	5
20	40	90	50	13	4

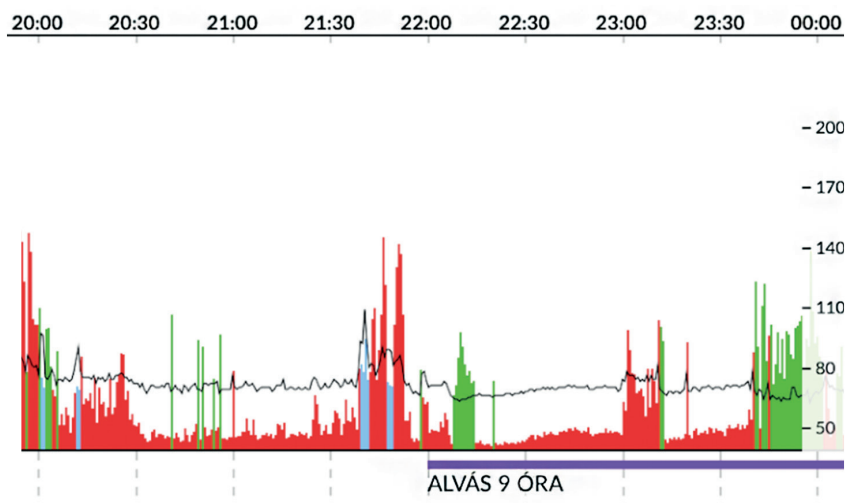
3. táblázat
Önkísérlet, 2025. március 10. [a szerzők]

A teszt száma	HRV	Pulzus	HRV-pulzus különbség (stressz)	Eredmény	Időtartam (perc)
21	33	82	49	8	4
22	32	100	68	25	6
23	31	87	56	N/A	5
24	31	100	69	9	3
25	37	92	55	21	5
26	35	82	47	0	0
27	31	100	69	34	7
28	31	100	69	N/A	4
29	37	95	58	N/A	3
30	38	85	47	11	3
31	38	90	52	9	3

A táblázatok eredményeiből a következőket vontuk le:

1. A pulzus növekvő, míg a HRV csökkenő tendenciát mutat a három nap során összességében – tehát a stressz szintje növekedett, amit a tesztalany is megerősített (hogy ez az XR-használat vagy maga a szimuláció miatt történt-e így, további kutatásra és kivizsgálásra vár).
2. Volt egy olyan sorozat, amelyet késsel jelöltünk a táblázatban a második nap folyamán (2. táblázat), amikor egyenletesen és folyamatosan (5 teszt erejéig) magas pontszámot ért el a tesztalany – ami további kutatási kérdéseket indukált: vajon mi volt más a stresszértékek és egyéb életviteli paraméterek terén (például alvás, evés), mint a többi tesztnél? Mi az a terhelés, ami optimális az egyenletes teljesítőképesség érdekében? További érdekesség, hogy az első napon, mint már említettük, egy teszt erejéig kimagasló csúcsteljesítményt hozott az alany, míg a második napon stabilabban teljesített átlagosan magasabb eredménnyel.
3. Az első nap tevékenysége olyan intenzív volt, hogy az alvás megkezdését követően az első másfél órában stresszértékeket mértünk, amit az 5. ábra jól mutat. További kutatást igényel, hogy ezt mi váltotta ki: az egész napi XR-technológia-használat és az adaptáció hiánya, ezért feltételezhetően a VR-mozgásbetegség,¹⁰ vagy pedig a megterhelő stresszes munkaterhelés.

¹⁰ VR okozta rosszullét akkor jelentkezik, amikor az agy ellentmondásos jeleket kap a mozgásról: például a szem mozgást érzékel, de a test egy helyben marad, ami okozhat hányingert, fejfájást stb.



5. ábra

A mért stressz alvás során a Firstbeat grafikon megjelenítésében [a szerzők]

Az 5. ábrán az látszik, hogy az alvás a kezdeti fázisában, körülbelül másfél órán keresztül nem volt pihentető (nem látunk zöld színű értékeket, ami a feltöltődést, a regenerációt jelzi), sőt még stresszes is volt (piros színű oszlopok).

Mindhárom megfigyelés további kutatásokat indukál, hogy minél szélesebb és pontosabb képet kapjunk a módszer légi forgalmi irányítók képzésébe történő integrálásának érdekében.

3. Zárógondolatok, jövőbeli lehetőségek

A kutatás eredményei ígéretesek, és előremutató lehetőségeket tárnak fel további vizsgálatokhoz és fejlesztésekhez. Habár az XR-eszközök folyamatosan fejlődnek, jelenleg még akadnak korlátok, például a kijelzők felbontása vagy a mozgáskövetés pontossága terén, ami hozzájárulhat a VR-mozgásbetegség kialakulásához, illetve fejlődésüktől a szimulációs élmény javulását is várjuk.

Minden személy más stressztűrő képességgel rendelkezik, amire tekintettel kell lenni a képzési programok kialakításakor. Az egyéni HRV- és pulzusváltozások figyelembevételével a gyakorlatokat adaptív módon lehet személyre szabni, így a képzés hatékonyabbá és a terhelés kontrollálhatóbbá válik. Ez nemcsak a tanulási élményt javítja, hanem segít megelőzni a túlzott stressz okozta teljesítményromlást és kiegészítést is. Mindemellett lehetővé teszi a gamifikációt és a jutalmazáson alapuló előrehaladást a képzésben.

A jelenlegi vizsgálatok még csak egy tesztalany bevonásával történtek, így az eredmények elsősorban iránymutató jellegűek. A hosszú távú cél az, hogy nagyobb csoporton, hosszú távú kutatással igazolni lehessen az XR-technológián alapuló szimulációk hatékonyságát a légi forgalmi irányítók képzésében és kiválasztásában. Így teremthető meg a módszer oktatási struktúrákba történő hiteles és alátámasztott integrációjának alapja.

Összességében az XR egy rendkívül ígéretes technológia a légi forgalmi irányítók képzésében. A személyre szabható tréningek és az immerzív gyakorlási lehetőségek jelentősen javítják majd a tanulási hatékonyságot. Noha technikai és kutatási szempontból még vannak kihívások, ezek megfelelő fejlesztésekkel leküzdhetők. A jövőben az XR akár alapjaiban is átalakíthatja a szakmai képzés struktúráját és gyakorlatát.

Felhasznált irodalom

- [1] *Rekordmennyiségű repülőgépet kezelt a HungaroControl 2024-ben*, Hungarocontrol. Online: <https://www.hungarocontrol.hu/sajtoszoba/hirek/rekordmennyisegu-repuloget-2024>
- [2] *Idén nyáron is jelentős késésekre számít az Eurocontrol*, AIRportal.hu, 2025. április 28. Online: <https://airportal.hu/iden-nyaron-is-jelentos-kesesekre-szamit-az-eurocontrol/>
- [3] Gangler F., *Teljesítmény-diagnosztikai vizsgáló eljárások alkalmazási lehetőségei a repülésirányítók professzionális tevékenységének objektív értékelésében a szenzomotoros teljesítmény változásainak alapján*, ITDK dolgozat, NKE HHK Egyetemi Könyvtár, 2022.
- [4] C. Hurter, M. Causse, M. Cordeil, „Past, Current and Future Trend for the Usage of Extend Reality (XR) in Aviation,” *Aerospace Psychology and Human Factors: Applied Methods and Techniques*, 2025. Online: <https://enac.hal.science/hal-04891766/>
- [5] K. Károly et al., „Extended Reality Possibilities in Air Traffic Management,” *2023 New Trends in Aviation Development (NTAD)*, Stary Smokovec, pp. 134–138. 2023. Online: <https://doi.org/10.1109/NTAD61230.2023.10380138>
- [6] S. Bagassi et al., „Human-in-the-Loop Evaluation of an Augmented Reality Based Interface for the Airport Control Tower,” *Computers in Industry*, 123. évf. 2020. Online: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103291>
- [7] N. Masotti, F. De Crescenzo, S. Bagassi, „Augmented Reality in the Control Tower: A Rendering Pipeline for Multiple Head-Trackable Head-up Displays,” in *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics*. L. De Paolis, A. Mongelli szerk. Cham, Springer, 2016. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-319-40621-3_23
- [8] R. Santarelli et al., *Towards a Digital Control Tower: The Use of Augmented Reality Tools to Innovate Interaction Modes*, SESAR Innovation Days, Budapest, 2022. december 5–8. Online: https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/sid/2022/paper_52.pdf
- [9] S. Bagassi et al., „Virtual/Augmented Reality-Based Human–Machine Interface and Interaction Modes in Airport Control Towers,” *Scientific Reports*, 14. évf. 2024. Online: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63731-3>
- [10] *Control Tower VR*. Online: <https://www.meta.com/experiences/control-tower-vr/5241829172562243/?srsltid=AfmBOorR2HbfjVaQ4KfL2NXFossCmVIDRuxYbeR94h0toFpVv-kjHSGcb>
- [11] *Firstbeat Bodyguard 3*. Online: <https://shop.firstbeatsports.global/products/firstbeat-bodyguard-3>
- [12] Dömötör E.: *Pulzuskontroll. Testsúlykontroll*, Budapest, Carita Bt, 2005.
- [13] T. Bogdány et al., „Validation of the Firstbeat TeamBelt and BodyGuard2 Systems,” *Magyar Sporttudományi Szemle*, 17. évf. 3. (67.) sz. pp. 5–12. 2016.

- [14] *Stress and Recovery Analysis Method Based on 24-hour Heart Rate Variability*, Firstbeat Technologies LTD Whitepaper. Online: https://assets.firstbeat.com/firstbeat/uploads/2015/10/Stress-and-recovery_white-paper_20145.pdf
- [15] *Meta Oculus Quest 2*. Online: <https://vr-compare.com/headset/oculusquest2>

Prospective Opportunities for the Training and Selection of Air Traffic Controllers Using XR Technology Supported by Human Performance Diagnostics

The increase in air traffic puts an increased burden on air traffic controllers, and more and more people are needed. Traditional training methods are not always suitable for objectively measuring the success and training progress of candidates, and we assume that one of the keys to success is the individual's performance under increased stress. In our research, we examined, among other things, the relationship between stress and performance using XR-based simulation and human performance diagnostic measurements. The results are promising, but studies on a larger sample are needed for the wider introduction of the method.

Keywords: *air traffic, XR – extended reality, VR–virtual reality, training, selection, human performance diagnostics, stress*

Füstös Julianna repülésirányító hallgató Állami légiközlekedési alapszak Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék fustos.julianna@gmail.com orcid.org/0009-0009-0732-2903	Julianna Füstös ATC student State aviation Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aerospace Controller and Pilot Training fustos.julianna@gmail.com orcid.org/0009-0009-0732-2903
Vas Tímea, PhD tanszékvezető, egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék vas.timea@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0082-0370	Tímea Vas, PhD Head of Department, Associate Professor Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aerospace Controller and Pilot Training vas.timea@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0082-0370

Károly Krisztián, PhD egyetemi tanársegéd Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék karoly.krisztian@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5835-7980	Krisztián Károly, PhD Assistant Lecturer Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aerospace Controller and Pilot Training karoly.krisztian@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5835-7980
---	---

A Kulturális és Innovációs Minisztérium EKÖP-2025-NKE-1-123 kódszámú
Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Program, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési
és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

