



OPTIMALIZÁCIA RIADENIA UAV: ANALÝZA ĽUDSKÉHO FAKTORA A JEHO VPLYV NA BEZPEČNOSŤ A EFEKTIVITU PREVÁDZKY

Alexandra Zacharová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Pavol Pecho
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

Currently, the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) is on the rise, which implies that care must be taken to ensure safe operation. Safe operation depends on several factors, not only technical but also, to a significant extent, on the human factor, the human factor. This paper aims to investigate the impact of the human factor, specifically the impact of cognitive ability, stress and reaction time of pilots on stress reactions in various simulated emergency situations. The goal of the research is to optimize flight procedures and minimize the negative impact of the human factor on UAV control. In the experimental part, the research addresses the variability of heart rate (HRV) and electroencephalographic (EEG) data that were measured during UAV control in the presence of simulated critical situations. Other measured parameter such as reaction time, maneuver accuracy or stress response provide important information about the neurophysiological load of operators. Thus, the outcome of the study is to identify critical situations, analyze decision-making processes and propose streamlined training procedures for UAV operators.

Keywords

UAV, human factor, human factor in aviation, stress, reaction time, critical phases of flight, flight procedure optimization, cognitive abilities, pilot workload, HRV, HR, EEG

1. Úvod

Dynamický vývoj bezpilotných lietadiel (UAV) otvára nové možnosti ich využitia v civilnom a komerčnom sektore, no zároveň kladie vysoké nároky na bezpečnosť a spoľahlivosť ich prevádzky. S rastúcou autonómiou a diverzifikovaním úloh UAV sa čoraz viac zdôrazňuje význam ľudského faktora, ktorý aj napriek technologickému pokroku zostáva kľúčovým činiteľom ovplyvňujúcim úspech misie.

Ako uvádza Medzinárodná organizácia civilného letectva, ľudský faktor je najflexibilnejšou a najcennejšou súčasťou leteckého systému, ale aj najzraniteľnejšou voči vplyvom, ktoré môžu negatívne ovplyvniť výkonnosť. Tento aspekt je zásadný, keďže aj napriek schopnosti prispôbovať sa je človek citlivý na stresové faktory, ktoré môžu ovplyvniť jeho výkon, najmä pri rýchlom a presnom rozhodovaní.

Téma je aktuálna v súvislosti s rastúcim dopytom po integrácii UAV do bežnej leteckej prevádzky, kde sa kladie dôraz nielen na technickú bezpečnosť, ale aj na optimalizáciu interakcie človek–stroj. Aj keď existuje množstvo štúdií o ľudských chybách v prípade pilotov tradičných lietadiel, výskum psychofyziologickej záťaže operátorov UAV pri núdzových situáciách je stále relatívne obmedzený.

Cieľom tejto štúdie je na základe experimentálneho výskumu vyhodnotiť reakcie operátorov UAV v rôznych situáciách a navrhnúť opatrenia na optimalizáciu postupov, ktoré minimalizujú riziko zlyhania ľudského faktora v náročných situáciách. Experiment zahŕňal merania srdcovej variability (HRV) a mozgovej aktivity (EEG) u dvoch skupín operátorov: skúsených (>50 letových hodín) a menej skúsených (<10 letových hodín).

2. Teoretické pojmy a ich význam

Táto kapitola je zameraná na kľúčové pojmy, ktoré tvoria dôležitú súčasť práce, ako aj samotného experimentu. Bližšie špecifikujem základné kognitívne procesy, ktoré sú nevyhnutné pre efektívne spracovanie informácií a rozhodovanie v dynamických podmienkach a tiež pojmy ako neuroergonómia či biologická spätná väzba, tzv. biofeedback.

Kognitívne schopnosti

Kognitívne schopnosti sú schopnosti, ktoré mozog využíva na vykonávanie základných každodenných úloh, ako je myslenie, učenie, čítanie, zapamätanie, hovorenie, počúvanie a pozornosť. Kognitívne schopnosti sa v mozgu vyskytujú prirodzene, ale je možné ich ďalej rozvíjať a posilňovať. Vo všeobecnosti poznáme štyri kategórie kognitívnych schopností: pozornosť, pamäť, logika a uvažovanie a spracovanie. Hoci všetky kognitívne schopnosti patria do jednej z týchto štyroch kategórií, takmer vždy sa navzájom prelínajú [1].

Kognitívna záťaž

Kognitívna záťaž je záťaž vzťahujúca sa na mentálne úsilie potrebné na spracovanie informácií. Takáto záťaž je ovplyvnená interaktivitou prvkov, pričom vysoká interaktivita vedie k väčšej kognitívnej záťaži [2].

Vo všeobecnej rovine rozdelujeme kognitívnu záťaž do troch hlavných kategórií:

Vnútrotná kognitívna záťaž: do tejto kategórie spadajú zručnosti a materiály, ktoré sa napr. študent musí naučiť, z čoho vyplýva, že závisí od náročnosti učebného obsahu [3].

Vonkajšia kognitívna záťaž: pri tejto kategórii hovoríme o zaťažovaní pracovnej pamäte, napr. ak hovoríme

o študentoch, na ktorých vplyvajú rôzne externé vplyvy, napr. interakcia s učebnými materiálmi [4].

Generatívna kognitívna záťaž: v tomto prípade ide o ľahkosť prepájania súčasných informácií s nadväzujúcimi. Tento typ kognitívnej záťaže je súčasťou tzv. kódovania informácií do dlhodobej pamäte [5].

Kognitívna flexibilita

Kognitívna flexibilita je schopnosť flexibilne priradovať zdroje na spracovanie a riadenie informácií v neustále sa meniacom prostredí. Kognitívna flexibilita sa zvyčajne skúma skúmaním schopnosti človeka prepínať medzi mentálnymi súbormi informácií alebo medzi dvoma či viacerými rôznymi úlohami. Príkladom je prepínanie medzi venovaním pozornosti rôznym hovoriacim v skupinových rozhovoroch [6].

Neuroergonómia

Neuroergonómia je oblasť výskumu venujúca sa štúdiu mozgu pri práci a v každodennom živote. Táto veda predstavuje spojenie medzi teoretickými aspektami v kognitívnej neurovede, bioinžinierstve, informatike a ľudských faktoroch. Neuroergonómia navrhuje využívanie najmodernejších zobrazovaní mozgu na odvodenie nervových korelátov, ktoré sú základom výkonu v reálnych podmienkach. Jedným z konečných cieľov neuroergonómiky je navrhnuť neuroadaptívne systémy na optimalizáciu spolupráce človeka a stroja [7].

Stres a stresory

Všeobecne môžeme stres definovať ako súbor reakcií určitého organizmu na vnútorné alebo vonkajšie podnety, pričom tieto podnety narúchajú bežný chod a funkcie organizmu. Tieto reakcie pomáhajú organizmu prekonať neobvyklé či mimoriadne situácie [8].

Stres je výslednou reakciou na určitý stresový podnet, tzv. stresor. Stresory môžeme rozdeliť do niekoľkých kategórií: fyzikálne, toxické, infekčné, psychické či sociálne [8].

Reakčný čas

Reakčný čas sa vzťahuje na presné meranie času, ktorý jednotlivci potrebujú na vytvorenie odpovede na úlohu. Bežne sa používa ako nepriame meradlo náročnosti úlohy, pričom sa predpokladá, že úlohy, ktoré si vyžadujú dlhšie spracovanie, budú trvať dlhšie. Rozdiely v reakčnom čase medzi rôznymi skupinami môžu poskytnúť informácie o úlohe špecifických oblastí mozgu [9].

Situačné povedomie

Situačné povedomie je schopnosť vnímať, pochopiť a účinne reagovať na určitú situáciu. Zahŕňa pochopenie daných okolností, zhromažďovanie relevantných informácií, ich analýzu a prijímanie informovaných rozhodnutí s cieľom úspešne riešiť všetky potenciálne riziká, nebezpečenstvá alebo udalosti, ktoré by mohli nastať. Cieľom situačného povedomia je umožniť rýchlu a bezpečnú reakciu na možné incidenty prostredníctvom rozhodovania ľudí [10].

Biologická spätná väzba

Biologická spätná väzba, známa aj ako biometrická spätná väzba, či z anglického jazyka ako biofeedback, sa vzťahuje na proces merania fyziologických reakcií tela na rôzne podnety, napr. s cieľom zvýšiť výkonnosť [11].

3. Metodika a metódy skúmania

Vypracovanie práce si vyžadovalo systematický prístup, dôsledné plánovanie a efektívne využitie vhodných výskumných metód. Po konzultácií s vedúcim práce a definovaní hlavného cieľa bolo nevyhnutné určiť aj optimálny spôsob jeho dosiahnutia. Nasledovala podrobná analýza danej problematiky, ktorá zahŕňala zhromažďovanie relevantných informácií z domácej aj zahraničnej odbornej literatúry, vedeckých článkov a metodických postupov. Tieto poznatky boli následne spracované a syntetizované do logického a uceleného celku.

Dôležitou súčasťou výskumu bol aj vlastný experiment, v rámci ktorého operátori UAV vykonávali simulované letové úlohy v rôznych podmienkach podľa špecificky nastavených podmienok. Na základe získaných teoretických a experimentálnych údajov, doplnených o predpokladané výsledky boli formulované odporúčania na optimalizáciu výcviku. Cieľom týchto opatrení je minimalizovať negatívny vplyv ľudského faktora na bezpečnosť prevádzky UAV.

Po skompletizovaní všetkých zistení a analýz boli na základe aplikovaných metód spracované konečné výsledky, ktoré viedli k návrhu efektívnych výcvikových postupov.

3.1. Metodológia experimentu

Na sledovanie zmien v stresovej záťaži a kognitívnom vyťažení operátora UAV budú použité dve hlavné meracie technológie:

- Pulzný oximeter – na meranie srdcovej frekvencie a variabilitu srdcového tepu (HRV), ktoré sú indikátormi stresu.
- Čelenka Muse 2 – EEG zariadenie na sledovanie mozgových vln, identifikáciu úrovne koncentrácie a kognitívnej záťaže.

Každý operátor absolvuje experiment v kontrolovaných podmienkach, pričom bude zaznamenávaný jeho výkon v jednotlivých fázach letu. Hodnotiť sa budú parametre ako reakčný čas, typ zvoleného manévru, stresová odozva (EEG, HRV) presnosť vykonania úlohy a počet chýb. Pred vykonaním samotného experimentu boli stanovené hypotézy, ktoré sa na základe nameraných údajov potvrdia alebo vyvrátia. Výsledky experimentu pomôžu identifikovať fázy letu UAV, v ktorých je operátor najviac vystavený stresu a kognitívnej záťaži. Na základe týchto zistení bude možné navrhnuť optimalizáciu letových postupov UAV s cieľom minimalizovať ľudský faktor a zvýšiť bezpečnosť a efektívnosť riadenia.

4. Opis zariadení využívaných pri experimentálnom skúmaní

Pre zabezpečenie presného a spoľahlivého výskumu je nutné využívať vhodné meracie zariadenie. Každé z použitých zariadení

má špecifickú úlohu či už pri monitorovaní samotného letu UAV alebo fyziologických reakcií a schopností pilota. Táto kapitola poskytuje podrobný opis jednotlivých zariadení používaných pri experimente.

UAV s telemetrickým systémom

Telemetria vo všeobecnosti poskytuje prehľad o výkonnosti aplikácií v reálnom čase. Ide o automatické meranie a bezdrôtový prenos údajov zo vzdialených zdrojov. Princíp fungovania je založený na snímaní údajov na zdroji a ich následné zasielanie na vzdialené miesta na monitorovanie a analýzu. Telemetrické údaje môžu byť prenášané pomocou analógových alebo digitálnych elektronických zariadení a údaje sú odosielané pomocou počítačových sietí, satelitov, káblov či infračervených a ultrazvukových technológií [12, 13, 14].

V našom prípade v súvislosti s UAV hovoríme o diaľkovom prenose meraných údajov medzi UAV a pozemnou stanicou (ovládaním). Tieto dáta predstavujú napríklad výšku a rýchlosť letu, polohu UAV alebo stav batérie.

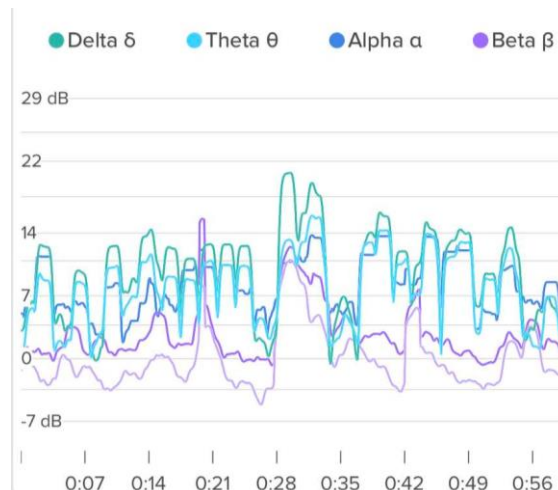
Variabilita srdcovej frekvencie

Vzhľadom na fakt, že ľudské srdce nevytvára pravidelné úder, doba medzi údermi je takmer vždy odlišná. Práve tento jav nazývame variabilita srdcového tepu/ srdcovej frekvencie. Skratka HRV je odvodená z anglického „heart rate variability“ a jednotkou je milisekunda. Vo všeobecnosti platí, že ak sa človek nachádza v pokojnom režime, kedy je možná regenerácia, variabilita srdcového tepu je vyššia v porovnaní so situáciou kedy je človek v režime záťaže, kedy je hodnota HRV nižšia [15].

EEG snímač – Muse 2

EEG je skratka pre elektroencefalogram, ktorý predstavuje záznam mozgovej aktivity. V medicíne je toto zariadenie využívané najmä pri diagnostike závažných ochorení súvisiacich s mozgovou aktivitou, napr. epilepsia alebo problémy s pamäťou [16].

Zariadením na snímanie a následné skúmanie mozgovej aktivity pre tento experiment je čelenka Muse 2. Toto zariadenie dokáže pomocou pokročilých mozgových senzorov EEG rozpoznávať mozgovú aktivitu a tiež poskytovať spätnú väzbu v reálnom čase vo forme. Údaje, ktoré Muse zaznamenáva, sú elektrickou aktivitou, ktorá pochádza zo synchronnej časti mozgu. Tzv. „surový“ signál mozgu sa skladá z niekoľkých frekvencií, ktoré sú v rôznych množstvách. Takýto surový signál môžeme rozdeliť na zložené frekvencie a tie zoskupiť do frekvenčných pásiem. Tieto pásma označujeme ako výkonové pásma, konkrétne pásmo Alfa, Beta, Theta, Gama a Delta. Graf týchto frekvenčných pásiem vidíme na obrázku nižšie, pričom každé frekvenčné pásmo je vyznačené inou farbou [17].



Obrázok 1 Graf záznamu EEG

Každé z pásiem je ohraničené frekvenciou, a zároveň pokrýva pásmo ideálne pre určité činnosti:

- delta δ (0,5 – 4 Hz) – Hlboký spánok/ nespívanie
- theta θ (4 – 8 Hz) – Spánok, hlboká relaxácia, vizualizácie
- alfa α (8 – 13 Hz) – Uvoľnenie a pokoj
- beta β (13 – 32 Hz) – Aktívne myslenie alebo riešenie problémov
- gama γ (32 – 100 Hz) – Hyperaktivita mozgu, ideálny čas na učenie [17].

Pri experimente očakávame, že EEG frekvencie budú prevažne v rozmedzí Alfa (pokojný a sústredený stav) a Beta (aktívne premýšľanie, riešenie kritických situácií). V niektorých fázach experimentu môžeme predpokladať, že mozgová aktivita (najmä u menej skúsených pilotov) môže prejsť aj do frekvencie Gama vln [17].

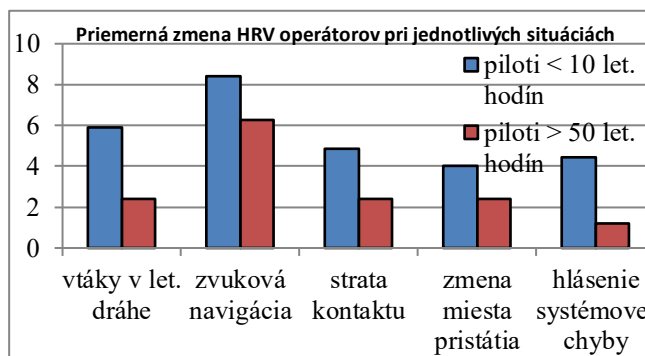
Okrem mozgovej aktivity je toto zariadenie schopné monitorovať aj srdcovú frekvenciu [17].

5. Porovnanie úloh podľa psychofyziologického zaťaženia

S cieľom identifikovať úlohy UAV operátora, ktoré predstavujú najväčšiu psychofyziologickú záťaž, bola vykonaná analýza priemernej zmeny HRV a tiež mozgovej aktivity počas jednotlivých fáz simulovanej misie. Úlohy boli zámerné vybrané tak, aby pokrývali široké spektrum potenciálnych núdzových situácií, ktoré môžu nastať počas prevádzky UAV – od environmentálnych hrozieb (výskyt vtákov v blízkosti UAV), cez systémové chyby, až po situácie vyžadujúce zvýšenú senzorickú orientáciu, ako je orientácia na základe zvukovej navigácie. Tieto údaje nám umožňujú objektívne porovnávať náročnosť rôznych typov úloh a tiež poukázať na situácie, ktoré si vyžadujú zvýšenú pozornosť z pohľadu prevencie chýb a optimalizácie pracovného zaťaženia.

Na obrázku 2 vidíme graficky zobrazené porovnanie priemernej zmeny HRV operátorov (skúsenejší aj menej skúsení operátori) v jednotlivých situáciách. Z grafu vidíme, že najvyššia zmena nastala pri núdzovej situácii, v ktorej boli operátori navigovaní výlučne zvukovými signálmi. Zo všetkých analyzovaných situácií vykazovala najvyššiu priemernú zmenu (v tomto prípade hovoríme o poklese) hodnôt HRV. Tento výsledok je možné vysvetliť vďaka kombinácii viacerých faktorov, ktoré vplývali na zvyšovanie kognitívneho a senzorického zaťaženia operátora. Počas tejto úlohy bolo potrebné spracovávať informácie z viacerých zdrojov – vizuálne sledovanie UAV, auditívne vnímanie zvukových inštrukcií a zároveň veľkú úlohu zohrávala samotná neštandardná situácia. Takáto záťaž vyplývajúca z viacerých zmyslových kanálov môže viesť k rozptyľovaniu pozornosti, keďže mozog je nútený rozdeliť kapacity medzi rôzne zdroje informácií a podnetov.

Z výskumov v oblasti ľudského faktora je známe, že so stúpajúcim počtom podnetov sa súčasne zvyšuje mentálna náročnosť úlohy a rovnako sa súčasne znižuje schopnosť udržiavať pozornosť. Ak hovoríme o menej známej forme podnetu (napr. zvuková navigácia, ktorá nie je bežne využívaná) operátor musel vyvinúť viac vedomého úsilia na interpretáciu a následné vykonanie príkazov. Tento fakt môže ešte zvýrazniť stresovú odozvu. Výrazná zmena HRV v tejto situácii poukazuje na zvýšenú mieru záťaže a potvrdzuje myšlienku, že úlohy s vyšším množstvom podnetov a nižšou predvídateľnosťou predstavujú výzvu z hľadiska stresu a kognitívneho výkonu operátorov UAV.



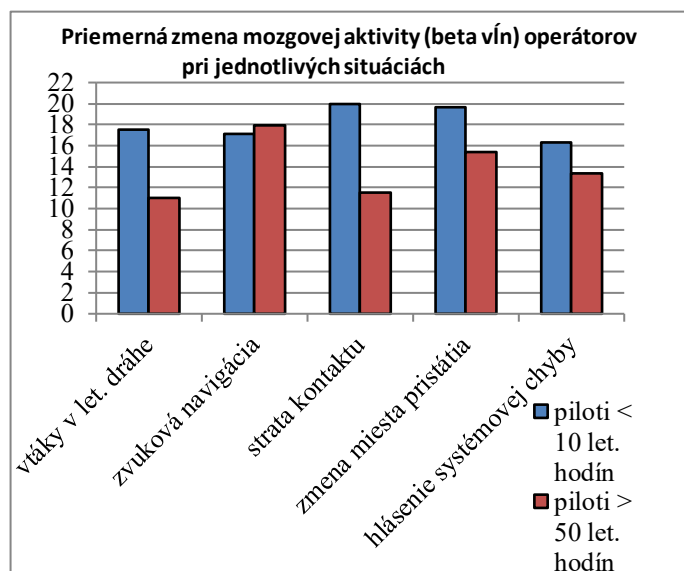
Obrázok 2 Graf priemernej zmeny HRV operátorov pri jednotlivých situáciách

Na obrázku 3 vidíme graficky zobrazené porovnanie priemernej mozgovej aktivity skúsenejších aj menej skúsených operátorov UAV. Analýza priemernej mozgovej aktivity počas jednotlivých núdzových situácií odhalila rozdiel medzi skupinou skúsenejších a menej skúsených operátorov UAV. U skúsenejších operátorov boli najvyššie hodnoty priemernej zmeny zaznamenané pri úlohách zvukovej navigácie a zmeny miesta pristátia. Zvuková navigácia si vyžadovala súčasné vnímanie a spracovanie zvukových pokynov, vizuálnu kontrolu a zároveň orientáciu v priestore, čo vytvára vysoké nároky na kognitívne funkcie, ako napr. pozornosť a pamäť. Zmena miesta pristátia pravdepodobne vyvolala zvýšenú aktiváciu mozgu v dôsledku nutnosti prehodnotiť letový plán, prijať a spracovať nový pokyn a vykonať precízny manéver v novej situácii.

U menej skúsených operátorov bola najvyššia priemerná zmena mozgovej aktivity zaznamenaná pri úlohách straty kontaktu

s UAV a zmeny miesta pristátia. Strata kontaktu predstavuje kritickú udalosť, ktorá môže spôsobiť stres, najmä ak operátor nemá dostatočne zvládnuté stratégie na riešenie takejto situácie. Zaujímavým zistením je, že zmeny mozgovej aktivity pri tejto skupine boli počas celej misie relatívne vyrovnané, bez výrazných výkyvov medzi jednotlivými úlohami. Tento jav môže naznačovať vyššiu úroveň napätia alebo mentálneho vyťaženia počas celej misie. Predpokladáme, že je to dôsledkom nižšej úrovne automatizácie, menšou istotou pri riešení úloh a vyššou kognitívnu náročnosťou aj pri relatívne menej náročných situáciách.

Zistené rozdiely poukazujú na význam skúsenosti pri spracovaní zložitejších informácií a prispôbovaní sa nečakaným udalostiam. Skúsenejší operátori vykazujú vyššiu variabilitu mozgovej aktivity v závislosti od typu úlohy, čo môže odrážať ich schopnosť cielene a efektívne distribuovať ich mentálnu kapacitu podľa aktuálnych požiadaviek. Naopak, menej skúsení operátori vykazovali rovnomerne zvýšenú kognitívnu záťaž počas celej misie, čo má súvis s nižšou mierou automatizácie základných činností a obmedzenou schopnosťou flexibilne reagovať na meniace sa podmienky.



Obrázok 3 Graf priemernej zmeny mozgovej aktivity operátorov pri jednotlivých situáciách

6. Návrh odporúčaní na optimalizáciu riadenia UAV a letových postupov UAV

Na základe výsledkov experimentu a vyhodnotenia jednotlivých parametrov (výkonnostných a fyziologických) bolo navrhnutých niekoľko bodov, odporúčaní, pri ktorých predpokladáme, že prispievajú k zefektívneniu riadenia UAV a tiež zvýšia efektivitu jednotlivých UAV operácií. Podľa výsledkov experimentu sme dokázali určiť, že stres a kognitívne zaťaženie, resp. preťaženie, výrazne vplývajú na výkon operátorov UAV. Nasledujúce body boli preto navrhnuté v súvislosti s optimalizáciou letových postupov a manažmentom UAV s dôrazom na minimalizáciu rizík súvisiacich s ľudským faktorom. Odporúčania sú orientované najmä na prevenciu chýb, zlepšovanie rozhodovacích procesov s cieľom zvyšovať celkovú odolnosť operátorov UAV voči stresovým situáciám.

Je dôležité dodať, že nasledujúcich odporúčaní sú primárne určené pre špecificky náročné UAV misie, napríklad vojenské, pátracie či záchranné misie, kde sú kladené vyššie nároky na výkonnosť, presnosť a psychickú odolnosť operátora. Ich aplikácia samozrejme má zmysel aj v prostredí rekreačného lietania či hobby misiách, najmä pre zvýšenie povedomia o rizikových faktoroch a podpore správnych návykov. Napriek tomu najväčší význam a prínos majú tieto odporúčania v profesionálnych a kritických situáciách, kde aj drobná chyba môže spôsobiť závažné nežiaduce následky. Odporúčania sú uvedené v nasledujúcich podkapitolách.

Návrhy odporúčaní:

a) Návrh praktického výcviku a simulátora pre operátorov UAV

Zavedenie povinného výcviku a simulátora pre operátorov UAV je kľúčovým krokom na zvýšenie bezpečnosti a efektivity UAV operácií, najmä v náročnejších a rizikovejších oblastiach. V súčasnosti nie je praktický výcvik povinný pre všetky kategórie UAV.

Na základe výskumu odporúčame zavedenie povinného praktického výcviku pre všetkých operátorov UAV, pričom dĺžka výcviku sa bude líšiť v závislosti od typu certifikácie UAV a náročností plánovaných misií, na ktoré má byť operátor pripravený. Základný výcvik by mal trvať cca 3 hodiny, čo by malo postačovať na osvojenie si základov pilotáže a reakcií na štandardné letové operácie a úkony. Pre náročnejšie misie, ktoré si vyžadujú vyššiu úroveň presnosti, navrhujeme výcvik v rozsahu 10 – 15 hodín podľa individuálnej potreby operátora.

V rámci výcviku budú simulované rôzne núdzové a kritické situácie – technické problémy, výpadky spojenia, nepriaznivé poveternostné javy a ďalšie. Dôležitou súčasťou návrhu je zavedenie adaptívneho systému obtiažnosti, ktorý bude na základe reálne meraných stresových a fyziologických parametrov – ako sú srdcová frekvencia, variabilita srdcovej frekvencie a mozgová aktivita – upravovať náročnosť simulovaných situácií. Tento prístup zabezpečí, že operátor bude vystavený progresívne náročnejším úlohám len vtedy, ak to jeho aktuálny psychofyziologický stav umožňuje, čím sa predídzie preťaženiu a zároveň sa buduje jeho odolnosť. Výcvik bude obohatený o špecifické scenáre zamerané na rozvoj pozornosti, multitaskingu a spracovania rušivých podnetov, ktoré boli v experimente identifikované ako obzvlášť náročné. Operátor tak získa praktické skúsenosti so zvládaním kognitívne náročných situácií, ktoré majú priamy vplyv na výkonnosť a bezpečnosť riadenia UAV.

V rámci simulátora musí operátor prejsť niekoľkými úrovňami, pričom každú úroveň musí úspešne prekonať s minimálnym, vopred stanoveným percentom úspešnosti. Pokrok jednotlivca bude zároveň sledovaný dlhodobo – od vstupného merania bazálnych hodnôt až po záverečný výstup – s cieľom personalizovať výcvik a cielene rozvíjať schopnosti konkrétneho operátora. Po úspešnom prekonaní všetkých simulovaných misií bude povinnou súčasťou záverečný test, vykonaný na simulátore pod dohľadom oprávnenej osoby.

Simulátory tak umožnia operátorom bezpečne trénovať reakcie na rizikové situácie, čím sa zvýši ich pripravenosť a zníži pravdepodobnosť chýb. Zavedenie povinnosti simulátorového

výcviku významne zlepši kvalitu prípravy a zvýši bezpečnosť prevádzky UAV na všetkých úrovniach.

b) Úprava SOP so zameraním na aspekt ľudského faktora

Štandardizované operačné postupy (ďalej iba SOP) pre UAV už existujú, avšak iba v malom rozsahu reflektujú aspekt ľudského faktora – sledovanie reakčných časov, stresovej úrovne či kognitívnu záťaž. V praxi sú SOP pre UAV zamerané prevažne na technickú časť letu a bezpečnosť vo všeobecnosti, pričom človek a jeho individuálne reakcie zostávajú často mimo rámca týchto postupov.

Na základe získaných poznatkov navrhujeme rozšíriť už existujúce SOP o aspekty zohľadňujúce psychofyziologický stav operátora počas letu. Konkrétne hovoríme o :

- zavedenie sledovania tzv. biofeedback parametrov (HRV/EEG) počas kľúčových fáz letu (s cieľom identifikovať nástup kognitívneho preťaženia)
- vytvorenie reakčných scenárov pri výskyte stresovej udalosti (operátor má možnosť postupovať podľa vopred stanovených krokov)
- prispôbenie kritických rozhodovacích úloh úrovni skúseností operátora (znižovanie rizika zlyhania v krízovej situácii).
- SOP po navrhovanej úprave a doplnení bodov súvisiacich s ľudským faktorom prispeje k bezpečnejšej a efektívnejšej prevádzke UAV, a to nielen z technickej stránky ale aj ľudského výkonu.

c) Úprava letových manuálov

Na základe výskumu bolo preukázané, že zvýšená miera stresu výrazne znižuje výkonnostné schopnosti operátora UAV. Úprava letových manuálov v tomto prípade znamená:

- zavedenie odporúčaných minimálnych prestávok medzi misiami (napr. 10 – 15 minútová pauza každých 30 – 40 minút, podobne ako je to napr. v prípade ATC), a to najmä v prípade, ak má operátor naplánovaných viacero za sebou nasledujúcich letov,
- vhodná rotácia operátorov (je vhodné ak tím pozostáva z viacerých operátorov, vďaka čomu sa jednotliví členovia môžu po určitých celkoch misie striedať a efektívne tak pracovať počas celej misie),
- snaha o znižovanie kognitívnej záťaže (napr. zjednodušovanie postupov pri navigácii, identifikácii prekážok),
- doplnenie manuálov o odporúčania v súvislosti s plánovaním misií na základe skúseností operátora (náročnejšie trasy by mali byť zastrešené operátorom so skúsenosťami, prípadne menej skúseným operátorom s dozorom).

Je všeobecne známe, že určité pravidlá a odporúčania už existujú, najmä v dokumentoch ako EASA či FAA alebo tiež v rôznych prevádzkových príručkách od jednotlivých výrobcov UAV zariadení, no tieto pravidlá zvyčajne vynechávajú alebo iba okrajovo zasahujú do aspektov ľudského faktora. Navrhované úpravy letových manuálov teda spočívajú v doplnkoch týkajúcich sa najmä optimálneho načasovania misií a odporúčaných prestávok (podľa typu záťaže).

d) Tréningové programy so zameraním na zvládanie stresu

Tieto programy sú navrhované s cieľom zvýšiť pripravenosť operátorov UAV pri zvládaní náročných a najmä neočakávaných situácií. Navrhujeme doplnenie k štandardným tréningovým programom vo forme špecializovaných modulov. Tieto moduly by mali byť zamerané na psychickú odolnosť či reguláciu stresu. Súčasťou modulu je teoretická aj praktická časť, pričom v teoretickej časti pôjde o vysvetlenie mechanizmov stresu, spúšťania stresových reakcií a samotného vplyvu stresu na kognitívne funkcie, v tomto prípade najmä pozornosť a rozhodovanie. V praktickej časti bude tréning zameraný na konkrétne techniky zvládania stresu, dychové cvičenia, relaxačné cvičenia.

Súčasťou takéhoto modifikovaného tréningu bude aj simulácia krízových letových situácií, počas ktorých budú operátori vystavovaní stresujúci podnetom, podobne ako pri našom experimente. Tieto simulácie budú systematicky hodnotené pomocou údajov o HRV a EEG, vďaka čomu bude možné sledovať progres operátorov a ich schopnosti práce pod záťažou. Z dlhodobého hľadiska predpokladáme, že takýto tréning bude viesť k nižšej stresovej odozve v reálnych podmienkach a reálnom čase.

Určité tréningy a techniky ako zvládať stres a stresové situácie v tomto kontexte už existujú, a to najmä v špecializovaných oblastiach, napr. vojenský a bezpečnostný sektor, letecké výcvikové centrá a špecializované kurzy no našim prínosom v tejto oblasti je rozšírenie civilných UAV výcvikových prvkov duševnej odolnosti a zvládania stresu. Vzhľadom na fakt, že aktuálne tréningy v danej oblasti sú zamerané takmer výlučne na pilotov a často nezohľadňujú špecifiká práce UAV operátorov, považujeme za dôležité implementovať spomínané prvky aj do tréningových plánov operátorov UAV, najmä ak budú tréningové postupy obohatené o merateľné a sledovateľné údaje (EEG, HRV).

e) Zavedenie feedbackových mechanizmov v reálnom čase

Jedným z inovatívnych prvkov navrhovanej optimalizácie riadenia UAV je zavedenie systémov spätnej väzby v reálnom čase, vďaka čomu budeme schopní monitorovať fyziologický stav operátora počas letu. Systémy by využívali k detekcii stresu alebo neprimeraného kognitívneho zaťaženia dáta z tzv. biosenzorov, napr. HRV, EEG. Namerané údaje budú analyzované a ďalej softvérovým vyhodnocovaním podľa aktuálnej mentálnej záťaže operátora. Spätnej väzba bude prebiehať formou zvukových, haptických alebo vizuálnych podnetov.

Vďaka tomuto systému bude operátor upozornený na potrebu úpravy tempa prevádzky či môže dostať odporúčanie na vykonanie prestávky. Ďalšou výhodou by bola možnosť automatickej aktivácie asistenčných režimov. Hlavným prínosom je teda:

- prevencia zlyhaní v reálnom čase – vďaka včasnej detekcii neprimeraného psychického stavu sa znižuje riziko chýb v rozhodovaní,
- zvýšenie adaptability systému – schopnosť operačného systému prispôbovať sa aktuálnym schopnostiam operátora,
- podpora sebaregulácie – okamžitá spätná väzba smerom k operátorovi podnecuje snahu o efektívnejšie zvládanie záťažových situácií.

Hoci je podobný mechanizmu už využívaný v niektorých simulátoroch, napr. pri vojenských programoch alebo v zdravotníctve, jeho integrácia do reálnych operácií UAV (najmä ako súčasť rozhodovacích procesov) zatiaľ nie je bežnou praxou. Zavedenie takýchto mechanizmov teda prináša inovácie z hľadiska navrhovania priameho a systematického zapojenia psychofyziologického stavu operátora do riadenia UAV, a to nie len počas tréningov, integrácie ľudského faktora do postupov, pričom je vnímaný ako dynamický faktor, na ktorý je nutné reagovať a zároveň tento návrh podporuje aktívnu prevenciu zlyhaní v reálnom čase vďaka čomu prispieva k bezpečnosti a spoľahlivosti UAV operácií.

f) Zavedenie metodiky na analýzu a vyhodnocovanie chýb operátorov UAV

Napriek pokroku v oblasti automatizácie zostáva ľudský faktor jedným z hlavných činiteľov ovplyvňujúcich bezpečnosť a spoľahlivosť operácií UAV. V prípadoch, keď dôjde k incidentu zapríčinenému prevažne zo strany operátora, je nevyhnutné venovať systematickú pozornosť analýze a vyhodnoteniu chýb. Identifikácia príčin a okolností, za ktorých k chybe došlo, predstavuje základ pre návrh účinných preventívnych opatrení. Vzhľadom na tento fakt je ďalším návrhom práve zavedenie metodiky na analýzu a vyhodnocovanie chýb operátorov, vďaka čomu bude možné systematicky analyzovať každé zlyhanie a dostaneme sa tak k cenným informáciám potrebným na zlepšenie prevádzky v budúcnosti.

Zavedenie takejto metodiky sa zameriava na systematickú identifikáciu, analýzu a zhodnotenie chýb, ku ktorým dochádza počas misií. Cieľom je zlepšiť rozhodovacie procesy, reakcie na kritické situácie a minimalizovať chyby súvisiace s kognitívnym preťažením na základe skúseností z minulosti. Metodika zahŕňa zber dát z reálnych a simulovaných situácií, vrátane technických záznamov, videozáznamov obrazoviek, komunikácie a tiež psychofyziologických údajov. Následne systém rozdelí chyby do rôznych kategórií, napr. detekčné, vykonávacie alebo rozhodovacie. Dôležitým bodom je zohľadnenie faktorov ako stres, nadmerné množstvo informácií či únava.

Inovácia prístupu spočíva v integrácii psychofyziologických údajov operátorov UAV priamo počas operácie, vďaka čomu prináša niekoľko významných prínosov:

- systémové vyhodnocovanie chýb v reálnom čase – existujúce postupy a metodiky sú často zamerané na analýzu chýb až po určitom čase. Tento návrh integruje psychofyziologické údaje do reálnych misií, vďaka čomu sme schopní získavať údaje o reakciách operátorov v reálnom čase a predchádzať chybám ešte pred ich vznikom,
- psychofyziologické faktory v rozhodovaní – tento prístup dopĺňa tradičné metodiky o psychofyziologické aspekty, vďaka čomu sme schopní získať hlbší pohľad do rozhodovacích procesov operátorov,
- preventívna analýza a adaptácia – vďaka návrhu, resp. po jeho úprave zavádzame mechanizmy slúžiace na včasnú detekciu a prevenciu chýb, čím znižujeme riziko zlyhaní počas kritických fáz misie. Hovoríme teda o proaktívnom prístupe, ktorý umožní adaptáciu systému na základe aktuálneho stavu operátora (hlavný rozdiel oproti tradičným prístupom).

Zavedenie danej metodiky prináša zlepšenie efektivity a bezpečnosti operácií UAV, pretože poskytuje nielen hodnotenie technických faktorov, ale aj kontinuálne sledovanie mentálnych a psychofyziologických stavov operátorov, vďaka čomu sa optimalizuje riadenie UAV počas reálnych misií.

7. Záver

Štúdia sa zaoberá vplyvom ľudského faktora na riadenie bezpilotných lietadiel (UAV) a navrhuje opatrenia na zníženie rizík vyplývajúcich z ľudských chýb pri ich prevádzke. S rastúcim využitím UAV v rôznych oblastiach – od komerčných a záchranných misií po vojenské operácie – je kľúčové zabezpečiť efektívne riadenie, pričom operátor zohráva rozhodujúcu úlohu. Dôraz sa kladie na potrebu systémového prístupu k tréningu, príprave a hodnoteniu operátorov, s cieľom minimalizovať zlyhania spôsobené stresom, nedostatočným výcvikom alebo nesprávnym rozhodnutím.

Na základe teoretických poznatkov a vlastného výskumu boli identifikované faktory, ktoré ovplyvňujú výkon operátora UAV, najmä schopnosť zvládať stresové situácie, úroveň tréningu, prístup k spätnej väzbe a definované operačné postupy. Na základe týchto zistení boli navrhnuté opatrenia na elimináciu negatívnych vplyvov ľudského faktora.

Kľúčovým návrhom je zavedenie povinného praktického výcviku s progresívnou štruktúrou. Základný výcvik začína 3 hodinami na simulátore, pričom v prípade zložitejších misií môže dosiahnuť až 15 hodín. Tento výcvik by mal zahŕňať simulácie kritických situácií ako výpadky spojenia, náhle zmeny počasia či technické poruchy. Okrem toho sa odporúča zavedenie systému úrovní, kde operátor postupuje na vyššiu úroveň až po úspešnom zvládnutí predchádzajúcej.

Dôležitým prvkom je aj revízia štandardných operačných postupov (SOP), ktoré by mali lepšie zohľadňovať limity ľudských schopností a psychickú odolnosť. Rovnako je potrebné upraviť letové manuály tak, aby podporovali rýchle rozhodovanie v kritických situáciách.

Navrhuje sa tiež zavedenie tréningových programov na zvládanie stresu, ktoré zvyšujú odolnosť operátorov voči psychickej záťaži a zlepšujú rozhodovanie pod tlakom. Feedbackové mechanizmy v reálnom čase poskytujú operátorovi okamžitú spätnú väzbu a pomáhajú pri kontinuálnom zlepšovaní výkonnosti.

Na dlhodobú optimalizáciu prevádzky sa odporúča zavedenie metodiky na analýzu a vyhodnocovanie chýb operátorov UAV, čím sa identifikujú najčastejšie príčiny zlyhaní a prijímú opatrenia na ich elimináciu.

Tieto návrhy prispievajú k bezpečnejšiemu a profesionálnejšiemu riadeniu UAV a sú kľúčové v kontexte rastúceho využívania týchto systémov. Výsledky môžu slúžiť ako základ pre ďalší výskum a prax v oblasti riadenia bezpilotných systémov.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: "Výskum a vývoj bezkontaktných metód pre získavanie geopriestorových údajov za účelom monitoringu lesa pre zefektívnenie manažmentu lesa a zvýšenie ochrany lesov", kód ITMS 313011V465, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Referencie

- [1] Indeed Editorial Team. 2025. *What is Cognitive Ability?* Online. In: Ca indeed. 28.03.2025. Dostupné na: <https://ca.indeed.com/career-advice/career-development/cognitive-ability> [citované 2025-02-21].
- [2] SWELLER, John. (2011). *Cognitive Load Theory*. Online. In: ScienceDirect. 2011. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/cognitive-load> [citované 2025-02-21].
- [3] HAWTHORNE, Benjamin S., Dianne A. VELLA-BRODRICK a John HATTIE. (2021) *Well-Being as a Cognitive Load Reducing Agent*. Online. In: *Frontiers in Education*. Dostupné na: <https://doi.org/10.3389/feduc.2019.00121>. [citované 2025-02-21].
- [4] GINNS, Paul. (2006). *Integrating information: A meta-analysis of the spatial contiguity and temporal contiguity effects*. Online. In: Learning and Instruction. 2006. Dostupné na: [doi:10.1016/j.learninstruc.2006.10.001](https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.10.001). [citované 2025-02-21].
- [5] MAYER, Richard E. (2009). *Multi-media Learning*. Online. In: Cambridge University Press. ISBN 978-0-511-50070-1. [citované 2025-02-21].
- [6] SHENDE, Shradda, MUDAR, Raksha. (2023). *Cognitive Control in age-related hearing loss*. Online. In: ScienceDirect. 2023. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/cognitive-flexibility> [citované 2025-02-21].

- [7] SOMMON, B, DEHAIS, F. (2022). Ecological Measures of cognitive impairments in aeronautics: theory and application. 2022. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/neuroergonomics> [citované 2025-02-21].
- [8] LAJDOVÁ, Andrea, LIPTÁKOVÁ, Karin. (2011). *Definícia stresu*. Online. In: Truni. Dostupné na: [https://fzsp.truni.sk/sites/default/files/dokumenty/e-kniznica/e-ucebnice/Osetrovatelstvo-1_frameset%20-%20EPSTRUNI%20\(HTML\)/data/9a9df669-a400-45d0-9314-87d3fbc272a.html?ownapi=1](https://fzsp.truni.sk/sites/default/files/dokumenty/e-kniznica/e-ucebnice/Osetrovatelstvo-1_frameset%20-%20EPSTRUNI%20(HTML)/data/9a9df669-a400-45d0-9314-87d3fbc272a.html?ownapi=1) [citované 2025-02-21].
- [9] JENSEN, Arthur R. (2006). *Reaction Time and Movement Time*. Online. In: ScienceDirect. 2006. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/topics/social-sciences/reaction-time> [citované 2025-02-21].
- [10] Blackberry. (2024). *What is situational awareness?* Online. In: Blackberry. 2024. Dostupné na: <https://www.blackberry.com/us/en/solutions/critical-event-management/situational-awareness> [citované 2025-02-21].
- [11] Lark. (2024). *Biological Feedback: Understanding its Impact on Productivity*. Online. In: Lark. 2024. Dostupné na: https://www.larksuite.com/en_us/topics/productivity-glossary/biological-feedback [citované 2025-02-21].
- [12] SCHWARZ, David (2010). *Využití bezpilotných létajících prostředků pro telemetrické účely – telemetrický systém*. Ostrava. Diplomová práce. Technická univerzita Ostrava. Fakulta strojní. [citované 2025-02-21].
- [13] BARNEY, Nick. (2022). *Telemetry*. Online. In: TechTarget. 2022. Dostupné na: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/telemetry> [citované 2025-02-21].
- [14] VASYLENKO, Mykola. (2018). *Telemetry system of Unmanned Aerial Vehicles*. Online. In: Researchgate. 2018. Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/330963224_TELEMETRY_SYSTEM_OF_UNMANNED_AERIAL_VEHICLES [citované 2025-02-21].
- [15] KADLEC, Roman. (2023). *Variabilita srdcového tepu (HRV): Prečo je dôležitá a ako si ju merať pomocou Garmin hodínok*. Online. In: Touchit. Dostupné na: <https://touchit.sk/variabilita-srdcoveho-tepu-hrv-garmin-hodinky/666232> [citované 2025-02-21].
- [16] NHS. (2017). *Electroencephalogram (EEG)*. Online. In: NHS. 2017. Dostupné na: <https://www.nhs.uk/conditions/electroencephalogram/> [citované 2025-02-21].
- [17] ChooseMuse. (2024). *Muse: the brain sensing headband*. Online. In: Muse. 2024. Dostupné na: https://choosemuse.my.site.com/s/?language=en_US [citované 2025-02-27].