

## MEASURING OF PILOT WORKLOAD

### MERANIE PRACOVNEJ ZÁŤAŽE PILOTA

**Dávid Plichta**  
Air Transport Department  
University of Žilina  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
plichta5@stud.uniza.sk

**Iveta Škvareková**  
Air Transport Department  
University of Žilina  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
skvarekova@fpedas.uniza.sk

#### Abstract

*The aim of our paper is to analyse the issue of measuring of workload and subsequently carry out our own measures of pilot workload on pilots of different skill level. These measures took place in a simulator, mainly due to safety of air traffic. The chosen phase of flight had been approach and landing, which represents the most difficult phase. We had also chosen two airports, where one presents an airport known to the pilot and the other unknown. This decision relates to the opinion, that the pilot workload is significantly lower has he experience with the airport.*

#### Keywords

*Workload, pilot, stress, physiological functions, heart*

## 1. Úvod

Odjakživa sa v leteckej doprave kládol dôraz najmä na bezpečnosť. Letecké nehody vznikali z technických príčin, ale s postupom času a vývoja tohto hardwaru sa stali častejšími nehody zapríčinené ľudskou chybou. Pilot musel monitorovať čím ďalej tým viac prístroje potrebné na vykonanie letu. Práve tieto prístroje mu na jednej strane uľahčovali určité úlohy, ale na druhej strane vyžadovali jeho pozornosť a sústredenie.

Faktorov zvyšujúcich pracovnú záťaž pilota je veľké množstvo. V našej bakalárskej práci sa budeme venovať spôsobom merania tejto záťaže a v praktickej časti sa pozrieme na vplyv oboznámenosti s letiskom pristátia a na pracovnú záťaž spojenú s týmto úkonom. Je taktiež podstatné dodať, že dôležitú úlohu budú hrať aj skúsenosti vedúceho lietadla, jeho fyzický a psychický stav a ďalšie faktory.

Samotný vplyv letiska bude analyzovaný na základe porovnania údajov merania z dvoch letísk, pričom skúsenosti budú mať participanti iba s jedným z nich. Nebude chýbať ani meranie v pokoji, ktoré nám povie viac o každom z jednotlivých pilotov. Za hlavný cieľ považujeme zodpovedanie otázky, či má skúsenosť s letiskom vplyv na pracovnú záťaž. V prípade kladnej odpovede je však ďalej potrebné identifikovať aký má tento vplyv charakter a mieru.

Kvôli bezpečnosti sme sa rozhodli vykonať merania na simulátore, konkrétne L-410 UVP-E20. Ten nám poskytne výraznejšie hodnoty, a teda jasnejšie informácie, z ktorých bude možné vyvodiť jednoznačné závery. Čo najpresnejším výsledkom napomôže aj meracie zariadenie, ktoré svojou malou veľkosťou nebude rušivé pre pilota a teda neovplyvní let ani namerané hodnoty.

## 2. Stres a pracovná záťaž

Najčastejšou definíciou stresu sú odpovede, resp. reakcie ľudského tela na vonkajšie vplyvy a úlohy naň kladené. Tieto samotné reakcie však vznikajú za predpokladu, že telo vníma podnet. Toto vnímanie môže byť ovplyvnené množstvom adrenalínu, odpútaním pozornosti a ďalšími faktormi.

Pre účely merania je takmer nemožné určiť stres ako biologický jav, avšak námaha fyzická, ako aj psychická môže byť meraná pomocou zmien tlaku krvi, tepu, hmotnosti a inými zmenami.

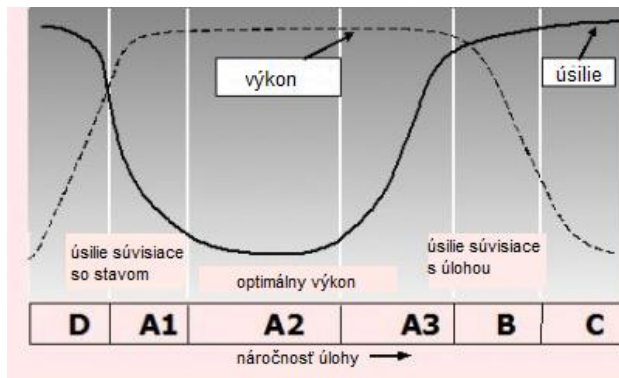
Nedostatočná stimulácia v každodennom živote zapríčiňuje psychický nepokoj. V extrémnych prípadoch môže dôjsť až ku chronickému ochoreniu. Primeraný stres je prínosný jav v živote, ale vysoký stres sa spája s psychickými a fyzickými reakciami ako:

- potenie,
- únava,
- ťažkosti s dýchaním a ďalšie. [5]

Pri pilotovaní sú kritické prijatie informácií, ich filtrácia, spracovanie a následné rozhodnutie o správnom postupe spolu s jeho vykonaním. Tieto aktivity je nutné vykonať čo najpresnejšie a najrýchlejšie, najmä pri hustej prevádzke. Tento psychologický tlak môže jednoducho spôsobiť chyby a to aj pri najzákladnejších úkonoch. Práve tieto úkony sa dlhodobo preukazujú ako najviac zlyhávajúce.

Pracovná záťaž sa dá v jednoduchosti definovať ako súhrn požiadaviek kladených na človeka. Táto definícia je však nepostačujúca, pretože predpokladá iba externé požiadavky. Pre úplnosť je nutné zvážiť aj interné podnety, ktoré čerpajú ľudské zdroje.

Špecifická úloha môže prinášať rozdielne pracovné zaťaženie v rôznych obdobiach aj pre jednu osobu. Tento jav je najčastejšie spôsobený psychickým alebo fyzickým stavom človeka. Z tohto vyplýva, že meranie pracovnej záťaže je citlivou záležitosťou, pri ktorej treba brať do úvahy aj faktory, ktoré na prvý pohľad nesúvisia s vykonávanou činnosťou. [7]



Obrázok 1: Vzťah medzi pracovnou záťažou a výkonom.  
Zdroj: [1].

Obrázok 1 obsahuje 6 oblastí so stúpajúcou náročnosťou úlohy. Pod náročnosťou úlohy sú myslené najmä požiadavky, ktoré sú kladené na človeka vykonávajúceho úlohu. V prvej oblasti označenej D (deaktivácia), napriek minimálnej náročnosti úlohy, je výkon nízky. Je to zapríčinené ovplyvneným stavom človeka, konkrétne napríklad únavou alebo rozptýlením. Z týchto dôvodov nie je osoba schopná vykonať úlohu efektívne alebo vôbec.

V oblasti A1 dochádza ku optimálnejším výsledkom pre stále nízku náročnosť. Výkon rastie až do svojho maxima, pričom úsilie naopak klesá. Osoba venuje zvýšenú pozornosť danej úlohe, čo jej umožňuje vykonávať ju efektívnejšie.

Oblasť A2 predstavuje ideálnu situáciu, kedy výkon je maximálny a úsilie minimálne. Osoba je vďaka jej primeranej náročnosti plne sústredená na úlohu. Inými slovami táto úloha je primeraná schopnostiam konkrétneho človeka.

Pri náročnejšej úlohe už schopnosti samy o sebe nie sú postačujúce a pre efektívnu prácu sa vyžaduje zvýšené úsilie. Tento stav je vyznačený v oblasti A3. Výkon však stále ostáva na špičke na úkor ľudskej energie. Osoba v tomto prípade bude vyčerpaná za kratší čas.

V oblasti B sa úloha stáva príliš ťažkou pre konkrétnu osobu, ktorá napriek zvýšenému úsiliu nedokáže podať optimálny výkon. Dá sa predpokladať, že úloha bude splnená, avšak za dlhší čas a zapríčiní vysokú únavu.

Posledná oblasť popisuje absolútne neprimeranú úlohu, pri ktorej môžeme očakávať minimálny až žiadny výkon, napriek maximálnemu úsiliu. Na spätné zvýšenie výkonu je nutné znížiť náročnosť úlohy, prípadne poskytnúť osobe dodatočný tréning, oddych alebo nasadiť inú osobu.

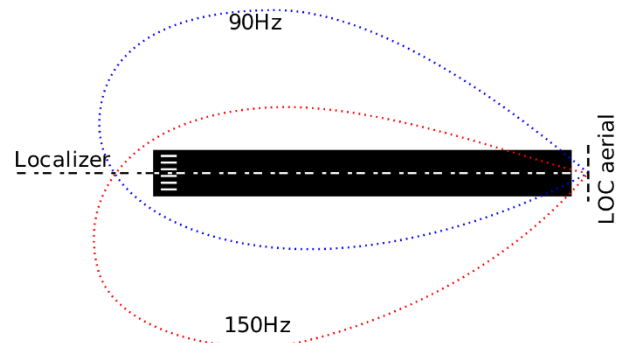
### 3. Instrument landing system

Jedným z najstarších a napriek tomu najprecíznejších certifikovaných systémov je ILS (Instrument Landing System). Predstavuje stále najrozšírenejší systém presného prístrojového

priblíženia. Jeho kľúčovou úlohou je navádzanie na pristátie aj pri zníženej dohľadnosti, ktorá môže byť spôsobená rôznymi meteorologickými javmi.

Tento systém poskytuje pilotovi pri finálnom priblížení nepretržitú informáciu o vedení lietadla v horizontálnej a vertikálnej rovine. Pilotovi teda umožňuje vyhodnotiť polohu lietadla a zároveň odchýlku od osi dráhy a zostupovej roviny. [4]

#### 3.1. Localizer



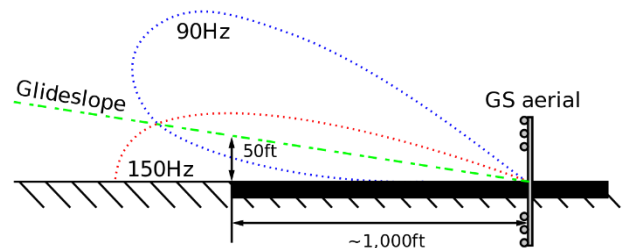
Obrázok 3: Localizer. Zdroj: [3].

Kurzový rádiomajak pracujúci v pásme veľmi krátkych vln, nazývaný aj „Localizer“, vytvára virtuálnu rovinu, ktorá je kolmá na rovinu vzletovej a pristávacej dráhy. Nachádza sa 400 metrov za prahom dráhy a poskytuje smerové vedenie. Signál, ktorý vysiela je amplitúdovo modulovaný, pričom nosná frekvencia vľavo má 90 Hz, zatiaľ čo frekvencia vpravo má 150 Hz.

Používané frekvencie sa nachádzajú v rozmedzí medzi 108,1 a 111,95 MHz s nepárnym desiatinným číslom. Jeho dosah je 25 NM s rozsahom 10° na každú stranu. V rozsahu 35° je dosah 17 NM.

Tento komponent je veľmi citlivý a krajné polohy sa nedajú stanoviť, nakoľko jeho šírka je daná dĺžkou dráhy. Na prahu dráhy však dosahuje hodnotu 210 m. Krajné polohy palubného indikátora sú dané predpisom L10 a nachádzajú sa v rozmedzí 3-6°. [4]

#### 3.2. Glide path



Obrázok 4: Glide Slope. Zdroj: [3]

Okrem smerového vedenia sa pri priblížení na pristátie vyžaduje vertikálne vedenie, ktoré je zabezpečené GP (Glide Path). Tento komponent vysiela v pásme ultrakrátkych vln na frekvenciách 329,3 MHz – 335 MHz. Anténa sa zvyčajne nachádza 300 m od prahu dráhy, 120 m od okraja. Zostupový uhol sa najčastejšie nachádza v rozpätí 2 – 4°, avšak existujú aj väčšie a závisia od

prekážok v okolí letiska. Pilot sa musí do určitej výšky, nazývanej DA (Decision Altitude), rozhodnúť či na dráhe pristane alebo vykoná nepodarené priblíženie, ktoré sa často publikuje aj v približovacej mape. Predpisom L10 je požadované signálové pokrytie +/- 8° od osi dráhy minimálne do vzdialenosti 10 NM. [4], [8], [9].

#### 4. Metodika merania

Predmetom skúmania našej práce je meranie pracovnej záťaže pilota. Konkrétne sme sa zamerali na jej porovnanie pri letisku s ktorým má pilot skúsenosti a letisku na ktoré letí prvýkrát. Aby bolo možné toto porovnanie vykonať museli sme pred samotným meraním nastudovať adekvátne materiály. Medzi ne patrili nie len IFR (Instrument Flight Rules) postupy potrebné najmä na vykonanie samotného letu, ale aj doterajšie výskumy podobného charakteru a ďalšia relevantná teória problematiky.

##### 4.1. Príprava IFR letu

Pred vykonaním IFR letu musí licencovaný pilot alebo žiak vykonať pozemnú prípravu. Tá sa bežne uskutočňuje v tzv. „briefingovej“ miestnosti, ktorú letecké spoločnosti a letecké školy zavádzajú práve za týmto účelom. Profesionálny pilot sa však na let ideálne pripravuje minimálne deň vopred. Najmä vo veľkých spoločnostiach je tento proces výrazne zrýchlený ďalšími zamestnancami, ktorí majú na starosti letový plán, počasie, správy NOTAM (Notice to Airmen), atď. Samotnému pilotovi stačí si dokumentáciu pred letom vyzdvihnúť, resp. vytlačiť a skontrolovať. V prípade nálezu nezvyčajných alebo nebezpečných okolností informuje posádku a navrhnú postup a riešenie možných problémov.

##### 4.2. Letisko LZZI

Participantom bolo známe letisko Žilina – Dolný Hričov (LZZI). Pre meranú fázu priblíženia sme teda zvolili ILS CAT (category) 1 priblíženie podľa prístrojov na vzletovú a pristávaciu dráhu 06. Tento postup je často vykonávaný žiakmi LVVC (Letecké výcvikové a vzdelávacie centrum).

Z dôvodu pandémie v čase merania sme však nedokázali vyplniť plánovaný počet subjektov a museli sme teda merať aj pilotov, ktorý síce poznajú LZZI ale nemajú skúsenosti s prístrojovým priblížením. Predpoklad bol, že napriek tejto neskúsenosti piloti preukážu nižšiu pracovnú záťaž ako pri úplne cudzom letisku. Tento úsudok sme založili na fakte, že aj VFR (Visual Flight Rules) skúsenosti pomôžu testovaným pilotom pri úkonoch. Navyše už podstúpili teóriu letu podľa prístrojov.

##### 4.3. Letisko LHBP

Na porovnanie sme zvolili letisko na ktoré žiadny z participantom neletel, a to Medzinárodné letisko Ferenc Liszta v Budapešti, LHBP. Išlo opäť o ILS, konkrétne na dráhu 13L. Tento prílet sa líši nielen rozdielnymi hodnotami výšok a pod., ale zahŕňa zároveň postup DME Arc, s ktorým sa neskúsenejší participant ešte v praxi nestretli.

Ďalším špecifikom oproti LZZI bola nutnosť monitorovania viac než jednej frekvencie rádionavigačného zariadenia. Neskúsení participant sa rozhodli s touto okolnosťou vysporiadať spoluprácou viacčlennej posádky, kde monitorujúci pilot mal nastavenú jednu frekvenciu a pilot letiaci druhú. Ide o

neštandardný postup, ktorý sa v reálnej prevádzke nepoužíva, avšak zhodnotili sme, že výsledky merania neovplyvní.

#### 4.4. Meracie zariadenie

Ako meracie zariadenie sme zvolili EHRV CorSense, ktorý okrem svojej ideálnej veľkosti disponuje aj vysokou presnosťou a spoľahlivosťou. Tento prístroj slúži práve na meranie HRV pomocou detekcie pulzu použitím 500 hertzového viacvlnového pola snímačov. Nasadzuje sa na prst, pričom poskytuje okamžité výsledky v reálnom čase, vyhodnocuje ľahko čitateľné skóre určené najmä pre domáce použitie, ale aj hlbšiu analýzu vhodnú pre odborné účely. V nižšie uvedenej tabuľke sa nachádzajú špecifikácie zariadenia.



Obrázok 5: EHRV CorSense. Zdroj: [2].

#### 4.5. Simulátor

Merania sa vykonali na simulátore L-410 UVP-E20 na pôde LVVC. Tento simulátor bol vybraný z dôvodu jeho technologickej vybavenosti, ale aj komplexnosti, ktorá umožnila dosiahnutie ľahšie čitateľných a porovnateľných výsledkov.

Zariadenie poskytuje priestor pre dvojčlennú posádku, inštruktora, monitorovacie centrum a inštaláciu technického vybavenia. Ďalej umožňuje simuláciu dennej aj nočnej prevádzky a možné poruchy typu letúna.

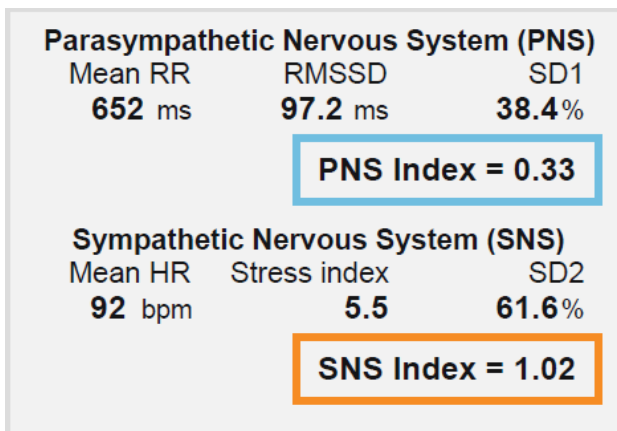


Obrázok 6: Simulátor L-410. Zdroj: [6].

### 5. Výsledky práce

V tejto kapitole budeme zhodnocovať namerané výsledky každého participanta. Kľúčovými hodnotami budú PNS (Parasympathetic Nervous System) a SNS (Sympathetic Nervous System) index. Aktivita SNS je dominantná v stresových

situáciách. Taktiež narastá, keď sa organizmus pripravuje na situáciu spojenú s vysokou spotrebou energie. Na druhej strane aktivita PNS je spojená s podmienkami kľudu, jej nárast je najvýraznejší pri prechode zo stavu spotreby energie do stavu odpočinku.



Obrázok 7: indexy. Zdroj: Autori.

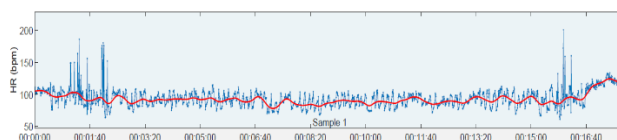
Na obrázku 6 je možné vidieť príklad nameraných hodnôt. Konkrétne ide o indexy PNS (parasympathetic nervous system) a SNS (sympathetic nervous system). Predstavujú jeden z využitých ukazovateľov, ktoré sme v práci využili na porovnanie jednotlivých letov a participantov.

Pre prehľadnejšie zobrazenie sme u každého participanta vytvorili graf, ktorý priebeh týchto indexov vykresľuje v rámci jednotlivých letov konkrétneho participanta.



Obrázok 8: grafické znázornenie SNS a PNS. Zdroj: Autori

Ďalšou významnou položkou boli priebehy HR (heart rate), ktoré taktiež predstavovali výsledky zreteľne a prehľadne, pričom umožnili jednoduché porovnanie letov a pilotov.



Obrázok 9: priebeh HR. Zdroj: Autori.

Tieto priebehy boli u každého pilota veľmi špecifické a dá sa povedať, že nám poskytli najviac relevantných informácií nie len pre porovnanie, ale aj na hlbšiu analýzu jednotlivých pilotov. Ukázali nám napríklad najstresovejšie fázy letu konkrétneho

pilota, ako aj jeho minimálnu a maximálnu hodnotu tepu, trend priebehu a ďalšie.

U menej skúsených pilotov sme využili ešte jeden údaj, a to trajektóriu letu. Tá nebola oproti skúseným pilotom ideálna a žiadala si vlastnú analýzu.



Obrázok 10: letená trasa LHBP. Zdroj: Autori.

Na jednej strane obaja neskúsení piloti leteli podobne nesprávnym spôsobom. Napríklad u letu na LHBP, znázorneného na obrázku 9, si môžeme povšimnúť podobnú trajektóriu, ktorá pri bližšom pohľade ukazuje chyby jednotlivých pilotov. Napríklad po prvej zatáčke po vzlete jeden z pilotov neskoro zaregistroval vyžadovanú zmenu kurzu a nepodarilo sa mu efektívne a včas túto chybu napraviť.

## 6. Záver

Srdce, jeho funkcie a súvisiace hodnoty prezrádzajú užitočné informácie nie len o ľudskom zdraví ale aj napríklad strese a pracovnej záťaži. Je široko známe, že pri fyzickej námahe sa zrýchľuje tep srdca. Táto veličina spolu s ďalšími ako SNS index, PNS index, RR interval, atď. reagujú nie len na fyzickú záťaž ale aj mentálnu. Tento fakt nám umožňuje ich efektívne využiť pri skúmaní pracovnej záťaže pilotov, ktorí sú najmä v prípade civilného letectva zaťažovaní skôr psychicky.

V dnešnej dobe je najcitlivejším článkom letu ako VFR, tak aj IFR ľudský faktor. Pilot musí spracovať veľké množstvo informácií vo veľmi krátkom čase a zhodnotiť optimálne riešenie danej úlohy, resp. problému. Existujú však fázy letu, ktoré sú stresovejšie ako ostatné. Je to spôsobené väčším množstvom úloh, kratším časom, nebezpečnejšími podmienkami alebo kombináciou. Najvýznamnejšou takouto situáciou je stav núdze, ktorý však v každodennej prevádzke nenastáva bežne. Aj za bezpečného letu sa pilot stretáva s fázami, ktoré vyžadujú viac sústredenia z už spomenutých dôvodov a predstavujú teda viac stresu a vyššiu pracovnú záťaž.

Záťaž však nie je priamo úmerná s výkonom, ktorý zadáva aký bude výsledok riešenia úlohy. Vzťah záťaže a výkonu môžeme zjednodušene rozdeliť do troch kategórií. Prvá predstavuje jednoduchú úlohu, ktorú osoba podceňuje alebo je pri nej rozptýlená a teda dosahuje veľmi nízky výkon. Profesionálny pilot by nemal spadať počas letu do tejto kategórie nakoľko by to mohlo ohroziť bezpečnosť letu. Takýto jav sme v našich meraniach však nezachytili. U skúsenejších participantov sme pozorovali skôr náznaky druhej kategórie, pri ktorej dosahujú takmer optimálny alebo až optimálny výkon pri minimálnom

úsilí. Napriek neustálemu opakovaniu tých istých úloh dokážu týmto úlohám venovať plnú pozornosť a dosahovať pravidelné výsledky. Tretia kategória popisuje v našom prípade neskúsených participantov. Pre nich bola úloha príliš náročná a teda ani pri maximálnom úsilí nedokázali podať zodpovedajúci výkon.

Všetci účastníci si v rámci svojich meraní udržiavali nejakú špecifickú vlastnosť. Medzi tieto patrí napríklad podobné rozmedzie hodnôt alebo rovnaký rytmus poklesov a rastov meraných hodnôt. Je to prejav ich individuálnych charakteristík, nálad a ďalších faktorov, ktoré merané hodnoty taktiež ovplyvňujú a počas celej doby merania ostali nemenné. Tieto faktory by mali byť v reálnej prevádzke potlačené v prípade, že môžu mať negatívny dopad na výkon a teda bezpečnosť letu.

Hlavným cieľom práce bolo porovnať pracovnú záťaž pri letisku s ktorým pilot má skúsenosti a letisku, na ktoré pilot letí prvýkrát. Známym letiskom bolo LZZI, zatiaľ čo neznámym bolo LHBP. Pri analýze a porovnaní jednotlivých výsledkov sme pozorovali rôzne javy. Predpoklad bol, že pracovná záťaž bude u neskúsených pilotov vyššia na LHBP, zatiaľ čo skúsení piloti prejavia približne rovnakú záťaž. Táto domnienka však bola vyvrátená, kedy prvý neskúsený participant, pilot 1, dosahoval podobné až nižšie hodnoty pri tomto letisku. V druhej kategórii, pilotov skúsených, sa prejavil rovnaký, prípadne až radikálnejší efekt. Dospeli sme k názoru, že veľkosť vzorky je nepostačujúca na vyvodenie adekvátnych záverov. Plánovaná vzorka predstavovala 10 pilotov, približne rozdelených na dve polovice podľa skúseností. Tento počet sa nám nepodarilo dosiahnuť najmä z dôvodu pandemickej situácie v čase meraní.

Naše odporúčanie pre budúci výskum je naplniť vyšší počet participantov a taktiež zväziť možnosť merania za reálneho letu. Predpokladá sa, že pri takomto lete pilot pociťuje väčší stres a prejavia sa u neho reálnejšie hodnoty, z ktorých je možné vyvodiť relevantnejšie a istejšie závery.

Z našich skúseností sme však stanovili, že zariadenie CorSense alebo iné podobné zariadenia predstavujú vyhovujúci spôsob merania, ktorý nezasahuje do riadenia a pozornosti pilota. Taktiež sme zhodnotili, že väčší, ťažší a technicky vybavenejší letún poskytne cennejšie informácie, s ktorými sa jednoduchšie pracuje.

## PodĎakovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky KEGA 046ŽU-4/2019 s názvom „Inovácia vzdelávania v oblasti prevádzky lietadiel spôsobilých lietať bez pilota“.

## Referencie

- [1] DICK DE WAARD (1996). The Measurment of Drivers' Mental Workload
- [2] EHRV. CorSense [online]. (citované 19.05.2021) <https://elitehrv.com/corsense>
- [3] Instrument landing system [online]. (citované 09.04.2021) [https://sk.wikipedia.org/wiki/Instrument\\_landing\\_system](https://sk.wikipedia.org/wiki/Instrument_landing_system)

- [4] JŮN F. Učebnica na lety podľa prístrojov. 1. vyd. Bratislava : DOLIS, 2015. ISBN 978-80-8181-049-7.
- [5] OXFORD AVIATION ACADEMY. Human Performace & Limitations. Jeppesen GmbH, Frankfurt, Germany, 2001. ISBN 0-88487-285-8
- [6] ŠKULTÉTY F. Simulátor leteckej dopravy [online]. (citované 10.05.2021) <http://uvp.uniza.sk/wp->
- [7] Workload (OGHFA BN). Skybrary. [Online]. (citované 01.04.2021) [https://www.skybrary.aero/index.php/Workload\\_\(OGHFA\\_BN\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Workload_(OGHFA_BN))
- [8] Novák, A., 2015. Komunikačné, navigačné a sledovacie zariadenia v letectve, Bratislava, DOLIS, 2015, ISBN 978-80-8181-014-5
- [9] Novák, A., Novák Sedlačková, A., Janovec, M., 2020. Komunikačné systémy v letectve EDIS - Žilina, Žilinská univerzita v Žiline, 2020, ISBN 978-80-554-1737-0