

# COMPARISON OF PILOT'S WORKLOAD DURING NDB AND ILS APPROACHES

## POROVNANIE PRACOVNEJ ZÁŤAŽE PILOTOV POČAS NDB A ILS PRIBLIŽENIA

Július Fedáš

Air Transport Department  
University of Žilina  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
fedas@stud.uniza.sk

Iveta Škvareková

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

### Abstract

*The paper is focused on the comparison of workloads of pilots during the precision ILS (Instrument Landing System) approach and non-precision NDB (Non-Directional Beacon) approach. For the needs of our work, we used technology to measure heart rate variability, which was used to collect the authoritative data needed to analyze the workload and stress levels of the tested participants. Our study involved four pilots, who were divided into two groups, a group of beginner pilots and advanced pilots. Practical measurements were performed on the flight simulator L410 UVP-E20, which is located in the premises of the Flight training and education center of the University of Žilina. The aim of our work was to find out and compare to what extent the workload during NDB and ILS approach of pilots with different levels of practical and theoretical experience will be different and also to compare these two approach systems with each other. We chose the final phase of the flight, due to its complexity and overall demands on piloting, which in this case has been the precision approach and non-precision approach. Practical measurement and analysis of the obtained data showed that the tested pilots indicated significant differences in the level of workload, resulting from their experience.. We also noticed a slight difference after comparing the two approaches. The conclusion of our work contains a summary of the measured results, as well as the perspective of the contribution of measuring the workload to the future and its use in a wider range.*

### Keywords

Workload, NDB, ILS, HRV, Pilot, Simulator

## 1. Úvod

Dizajn kokpitu lietadiel sa za posledných 30 rokov dramaticky vyvinul. Zvyšujúca sa automatizácia pridala dôležitú úlohu pre letovú posádku, a to správu všetkých letových systémov. V dôsledku toho sa mentálnej pracovnej záťaži posádok a riadiacich letovej prevádzky začala venovať zvýšená pozornosť. Pracovné zaťaženie je dôležité zameranie, pretože chyby môžu byť podnietené, ak požiadavky na mentálne úlohy presahujú možnosti daných jedincov. Tieto pochybenia môžu byť fatálne a výrazne znižujú celkovú bezpečnosť letovej prevádzky [3]. Vďaka vysokej spoľahlivosti moderných leteckých systémov sa ľudská výkonnosť stala kľúčovým zameraním a existuje snaha o dosiahnutie maximálnej bezpečnosti [22] a efektivity.

Mnoho autorov diskutovalo o použití merania variability srdcovej frekvencie (HRV) ako metódy na odhadovanie psychickej záťaže a psychického stresu pri úlohách zahrnujúcich bdelosť, spracovanie informácií a rozhodovanie. Opmeer a Krol [15] monitorovali neskúsených pilotov v simulátore, aby porovnali rôzne úrovne pracovnej záťaže pilotov pre rôzne letové úlohy. Dokázali rozlišovať podľa zvyšujúceho sa stupňa obťažnosti medzi letom v hladine, vyčkávacím obrazcom, vzletom a priblížením na pristátie. Aj tieto výskumy nás inšpirovali pri voľbe testovacej technológie, kedy sme zvolili práve už spomínané meranie variability srdcovej frekvencie na výpočet pracovnej záťaže a úrovne stresu pôsobiaceho na pilota.

Ako najvhodnejšiu letovú úlohu sme po uvážení zvolili niepresné priblíženie NDB a presné priblíženie ILS. Práve záverečná fáza letu, akou je prístrojové priblíženie na pristátie a samotné pristávanie je z pohľadu pracovnej a mentálnej záťaže jedna z najnáročnejších štádií, a teda bude slúžiť ako objektívny nástroj na porovnanie participantov s rozličnými úrovňami praktických a teoretických skúseností

Potreba presnej navigácie, za všetkých meteorologických podmienok, sa objavila už po prvých letových úspechoch. Rozvoju letectva a teda aj navigačným prostriedkom pomohli obe svetové vojny. Najvýznamnejšie sa stali rádionavigačné systémy umožňujúce nie len priestorovú navigáciu, ale sú užitočné aj pri strate orientácie a nepriaznivých poveternostných podmienkach. Rádionavigačné prostriedky pozostávajú zväčša z pozemného zariadenia (vysielač) a zariadenia umiestneného na palube lietadla (prijímač) [5].

### 1.1. NDB / ADF

Majáky NDB (Non-directional beacon) sú najstarším pozemným rádionavigačným zariadením používaným vytyčenie letových tratí ako aj na nepresné priblíženia na pristátie. Rádionavigačné NDB vysielajú vertikálne polarizované signály v pásmach krátkych a stredných vln v rozsahu 190 – 1750 kHz. Avšak vo väčšine prípadov je pracovná frekvencia majákov, s ktorými sa stretávame, 250 - 450 kHz [18].

Rádionavigačné NDB delíme na traťové a miestne:

- **Traťový maják NDB.** Sú využívané na traťové vedenie lietadiel alebo ako „fixy“ vo výčkávacích obrazcoch.
- **Locator (L).** Takéto rádiomajáky majú výrazne menší výkon a sú používané na prístrojové priblíženie. Často sú doplnené o vonkajšie (Outer Marker) a stredné (Middle Marker) návestidlo na stanovenie diaľky od prahu dráhy.

### 1.1.1. Palubný indikátor ADF

Dnes sa informácie o polohe lietadla vzhľadom na maják NDB zvyčajne vyobrazuje na dvojakých typoch palubných indikátorov. Prvým je zariadenie RBI (Relative Bearing Indicator), druhým novodobejším a oveľa nákladnejším je indikátor RMI (Radio Magnetic Indicator) [8] [23].

## 1.2. ILS

Najrozšírenejším systémom na presné priblíženie podľa prístrojov je v súčasnosti stále systém presných približovacích majákov ILS (Instrument Landing System) [24]. Aj napriek svojmu uvedeniu a implementácii už takmer pred päťdesiatimi rokmi, jedná sa o jeden z najpresnejších systémov presného priblíženia [8] [25].

ILS je systém zariadení na presné priblíženie, ktoré poskytujú pilotovi nepretržitú informáciu o vedení lietadla v horizontálnej a vertikálnej rovine počas konečného priblíženia. Pilot preto môže kedykoľvek posúdiť svoju polohu a odchýlku od predĺženej osi dráhy a od určenej roviny zostupu. Systém pozostáva z nasledujúcich komponentov:

- Rádiomaják „Localizer“ (LOC) – poskytuje vodorovné (ľavé / pravé) vedenie pozdĺž predĺženej stredovej osi dráhy.
- Rádiomaják „Glide Path“ (GP) – poskytuje vertikálne (nahor / nadol) vedenie k bodu dotyku dráhy, zvyčajne v 3 ° zostupe.
- Polohové návestidlá („markery“) – umiestnené na zemi, v predĺženej osi dráhy. Po ich preletení je pilot informovaný svetelne a akusticky, je tak schopný vyhodnotiť vzdialenosť od prahu dráhy [18].

Informácie ILS (LOC i GP) sú na palube lietadla zobrazované pomocou HSI alebo CDI (VOR/ILS) indikátora [26].

## 2. Pracovná záťaž v leteckej doprave

### 2.1. Stres

Stres sa bežne definuje ako reakcia tela na požiadavky, ktoré sú naň kladené. Telo sa neustále snaží udržiavať fyziologickú rovnováhu (homeostázu) napriek pôsobeniu rôznych vonkajších podmienok a disponuje množstvom mechanizmov na jeho udržanie. Napríklad pri zvyšovaní telesného tepla sa vytvára pot, ktorý chladiacim účinkom odparovania ochladzuje telo v snahe vrátiť ho na svoju normálnu teplotu. Len čo vonkajšie podmienky tieto homeostatické mechanizmy zaťažia dôjde k fyzickému stresu [17].

Aj keď je krátkodobá aktivácia stresovej reakcie pre telo nevyhnutná na zvládnutie záťažovej situácie, nadmerná a opakovaná aktivácia stresovej reakcie má za následok nežiadúcu činnosť organizmu. V období stresu sa mobilizuje energia

z telových zásob (glukóza, mastné kyseliny), ktorá je dôležitá pre uskutočnenie primeranej fyzickej aktivity, a tiež aktivuje konkrétne štruktúry mozgu, aby sa zabezpečil správny a rýchly duševný výkon, ktorý je nevyhnutný na zvládnutie danej stresovej situácie. Z osobného hľadiska môže byť zdroj stresu vonkajší alebo vnútorný [12].

### 2.1.1. Vonkajšie fyziologické faktory

Existuje množstvo vonkajších fyzických zdrojov stresu, napríklad: teplo, vibrácie, vlhkosť vzduchu, rôzne pachy a hluk. Ako je uvedené vyššie, účinky stresu sa kumulujú a negatívne dôsledky jedného zdroja znižia odolnosť jednotlivca voči iným formám stresu [17].

Všeobecný adaptačný syndróm je termín používaný na opis mechanizmu, ktorým jedinec reaguje na vonkajšiu skutočnú, vnímanú alebo očakávanú hrozbu. Syndróm je vyvolaný mechanizmom vzrušenia, ktorý funguje prostredníctvom autonómneho nervového systému (ANS). Toto riadi mnoho základných funkcií tela: dýchanie, cirkuláciu, trávenie. Nad ktorými obvykle nemáme vedomú kontrolu. Tento systém udržiava stav homeostázy. ANS je rozdelená do dvoch vetiev:

- Sympatická vetva - poskytuje telu zdroje potrebné na zvládnutie nového a náhleho zdroja stresu, známeho ako odpoveď „útok alebo útek“, a jeho účelom je pripraviť telo a myseľ na okamžitú fyzickú aktivitu.
- Parasympatická vetva - predlžuje mobilizáciu tela, dáva mu čas na nájdenie riešenia stresovej situácie a obnoví normálne fungovanie tela, keď pominie vnímané nebezpečenstvo [17].

Všeobecný adaptačný syndróm zahŕňa tri fázy, a to: poplachovú fázu, fázu odolnosti a nakoniec fázu vyčerpania [12].

## 2.2. Únava

Únava pilotov je v modernej leteckej prevádzke významným problémom, hlavne kvôli nepredvídateľnej pracovnej dobe, dlhému obdobiu služby, prerušeniam biorytmu a nedostatočnému spánku. Celý vplyv únavy na posádky lietadiel sa často nedoceňuje, ale veľa z jej škodlivých účinkov je známych už dávno. Lindberg spoznal škodlivé následky dlhých pracovných hodín (a dlhých období bdlosti) na letové výkony ešte v 20. rokoch 20. storočia a vedci začali skúmať negatívny vplyv rýchlych prechodov v časových pásmach začiatkom 30. rokov. Aj keď vedecké chápanie únavy, spánku, práce na zmeny a biorytmickej fyziológie za posledných niekoľko desaťročí významne pokročilo, súčasné predpisy a priemyselné postupy z veľkej časti nedokázali adekvátne zapracovať nové poznatky [11, 4].

### 2.2.1. Symptómy únavy

Únava je spojená so skráteným reakčným časom, znížením bdlosti, ako aj so zníženou rozhodovacou schopnosťou, zlým úsudkom a stratou situačného vedomia. Medzi ďalšie príznaky patrí celkové zhoršenie výkonu, znížené psychomotorické koordinačné schopnosti, schopnosti spracovania informácií a rozhodovacie schopnosti [9].

V oblasti diaľkových letov piloti často pripisujú svoju únavu spánkovej deprivácii a biorytmickým poruchám spojeným s

prechodmi v časových pásmach. Aj keď pilotom na diaľkových trasách sú počas letov trvajúcich 12 a viac hodín ponúkané možnosti spánku počas letu, výskum ukázal, že spánok je menej pokojný ako spánok doma, a to predovšetkým kvôli hluku, turbulenciám, teplote, osvetleniu a ďalším faktorom ovplyvňujúce pohodlie [19]. Piloti lietajúci na krátke vzdialenosti najčastejšie pripisujú svoju únavu nedostatku spánku a vysokej pracovnej záťaži [1].

Cabon a kol. preukázali, že piloti diaľkových letov boli obzvlášť citliví na zníženie ostrážitosti počas obdobia nízkej pracovnej záťaže. Ďalej sa zistilo, že tieto zníženia sa mohli objaviť súčasne u oboch členov posádky, čo je zjavný bezpečnostný problém [2].

### 2.3. Pracovná záťaž

Každý človek má obmedzenú kapacitu dostupnú na spracovanie a reakciu na informácie. Za väčšiny podmienok vedie zvýšenie náročnosti úlohy k zvýšeniu výdavkov na zdroje potrebné na jej splnenie. Ak požiadavky na spracovanie úlohy prekročia dostupnú kapacitu, výsledné preťaženie môže viesť k zníženiu výkonu jedinca. Pojem pracovné zaťaženie označuje tú časť obmedzenej kapacity človeka, ktorá sa skutočne vyžaduje na vykonanie konkrétnej úlohy [16].

Pracovné zaťaženie pilota závisí od aktuálne fázy letu, napríklad let podľa prístrojov (IFR) generuje podstatne vyššie pracovné zaťaženie ako let za viditeľnosti (VFR). Pozorovania ukazujú, že najväčšie pracovné zaťaženie pilota súvisí s fázou vzletu alebo pristátia, v porovnaní s fázou letu v hladine alebo VFR. Preto je potrebné upozorniť na túto skutočnosť a prijať náležité opatrenia na zníženie tohto rizika, ktoré môže viesť k smrteľným nehodám alebo incidentom [14]. Pracovná záťaž je v skutočnosti ďalej ovplyvňovaná prostredníctvom ďalších faktorov, ktoré letová posádka nemá pod kontrolou, ako sú poveternostné podmienky, viditeľnosť, hustota premávky alebo dokonca komunikačné požiadavky [21]. Tieto fyziologické faktory však môžu taktiež spôsobiť zmenu a zhoršenie základných kognitívnych schopností a môžu tiež zhoršiť racionálne myslenie a koncentráciu pilota, ktoré vedú k vyššej chybovosti počas letu [13].

Wei, Zhuang, Wanyan, Liu a Zhuang preukázali vhodnosť meraní variability srdcovej frekvencie na rozlíšenie medzi úrovňami duševnej pracovnej záťaže, čo ilustruje zníženie štandardnej odchýlky intervalov RR, keď bola zadaná úloha pre účastníka náročnejšia [20].

## 3. Metodika merania

Predmetom skúmania tejto práce je porovnanie pracovného zaťaženia pilotov pri NDB a ILS priblížení. Cieľom meraní je určiť rozdiely vo fyziologických prejavoch pilotov pomocou merania variability srdcovej frekvencie (HRV). Na základe nich určiť výhody a rozdiely pri oboch spôsoboch priblíženia a porovnanie zaťaženia pre pilota pri ich vykonávaní.

### 3.1. Testované subjekty

Merania zahŕňali 4 pilotov, vzhľadom na miesto konania boli vybraní piloti študentami Žilinskej univerzity, študijného programu Profesionálny pilot v rôznom štádiu výcviku s rôznym počtom letových hodín.

Účastníci boli poučení a oboznámení o priebehu meraní. Pre potreby výskumu boli rozdelení do dvoch skupín: začiatočník a pokročilý.

#### 3.1.1. Začiatočník

V tejto skupine sa nachádzajú piloti s dokončenou VFR časťou integrovaného výcviku, ktorý absolvovali zatiaľ len teoretickú prípravu na lietanie IFR. Majú teda najmenšiu skúsenosť so simulátorom a praktickým priblížením NDB a ILS.

#### 3.1.2. Pokročilý

V kategórii pokročilý sú piloti s dostatočne veľkou skúsenosťou na simulátore. Aktívne participujú v prístrojovom lietaní a bližšie sa k ukončeniu ich výcviku. Majú najviac nalietaných hodín a celkové skúsenosti v porovnaní so skupinou začiatočníkov.

## 3.2. Testovacia technológia

### 3.2.1. Simulátor letúna L-410 UVP-E20

Z dôvodu bezpečnosti a lepšej dostupnosti sme všetky merania uskutočnili na letovom simulátore letúna L-410 UVP-E20 s dvoma turbovrtuľovými motormi s možnosťou zavedenia spätnej väzby. Hardvérová časť simulátora má skutočné rozmery kokpitu letúna zrealizované v mierke 1:1 a spĺňa požiadavky, ktoré sú kladené na simulátor kvalifikácie „FTD Level 2“ a zároveň FNPT II MCC v zmysle štandardov CS-FSTD (A) súčasných predpisov a noriem platných v SR.

### 3.2.2. HRV CorSense ELITE

Na odmeranie variability srdcovej frekvencie sme sa rozhodli použiť zariadenie HRV CorSense ELITE. Senzor bol upevnený na špičku ukazováka meranej osoby, týmto spôsobom prístroj minimálnou mierou obmedzuje pilota v pohybe a nespôsobuje neželané rozptyľovanie.

## 3.3. Trajektórie nalietavania

Vybraní účastníci testovania sú aktívne zaradení do leteckého výcviku na Žilinskej univerzite, a teda sú dobre oboznámení s letiskom Žilina (LZZI) nachádzajúcom sa v obci Dolný Hričov. Zvolili sme nepresné prístrojové priblíženie (NDB) a presné prístrojové priblíženie (ILS) na dráhu 06 pre vzlet aj pristátie.

## 3.4. Postup Merania

Merania boli uskutočnené na letovom simulátore letúna L-410 UVP-E20, nachádzajúcom sa v budove LVVC Žilinskej Univerzity na letisku LZZI v Dolnom Hričove.

Meranie a metodika meraní pozostávali z niekoľkých bodov:

- Predletová príprava
- Oboznámenie pilotov so simulátorom
- Zapojenie zariadenia HRV CorSense ELITE
- NDB priblíženie
- ILS priblíženie

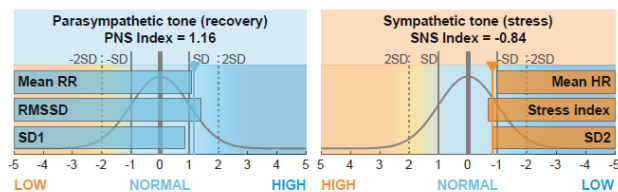
Predletová príprava zahŕňala oboznámenie každej testovanej skupiny pilotov s priebehom meraní a s navigačnou a letovou úlohou, ktorú budú vykonávať.

Zapojenie zariadenia na meranie variability srdcovej frekvencie HRV CorSense ELITE bolo pripojené na ukazovák pilotovi po usadení v kabíne. Následne došlo k spárovaniu s mobilným telefónom.

Meranie variability srdcovej frekvencie bolo spustené súbežne so simulovaním na letovom simulátore a trvalo až po dosadnutí na dráhu a zastavenie letúna. Tento postup bol zopakovaný pre NDB a aj ILS priblíženie a pre každého účastníka.

#### 4. Analýza a výsledky meraní

Dáta namerané pomocou zariadenia HRV CorSense od spoločnosti ELITE sme spracovali pomocou počítačového softvéru Kubios HRV, určeného na analýzu variability srdcovej frekvencie. Rozhodujúce údaje pre nás budú hodnoty sympatikovej (SNS) a parasympatikovej (PNS) vetvy. Ako bolo opísané v kapitole o pracovnej záťaži v leteckej doprave, vetva sympatika pomáha telu zvládnuť nové a náhle zdroje stresu a jeho účelom je pripraviť telo a myseľ na okamžitú fyzickú aktivitu. Naopak v čase pokoja a kludu, po odznení mentálnej záťaže, ktorá pôsobí na organizmus prevláda dominancia parasympatikovej vetvy. Počas pracovnej záťaže predpokladáme nárast sympatika a pokles celkového HRV a parasympatika.



Obrázok 1: Graf s hodnotami parasympatika a sympatika. Zdroj: Autori.

Vyššie uvedený obrázok je graf spracovaný pomocou softvéru Kubios HRV zahrňujúci vetvu parasympatika (PNS index) a sympatika (SNS index) jedného z účastníkov. Oba indexy sú ovplyvnené a zadefinované viacerými faktormi, ktoré taktiež závisia od aktuálnej mentálnej záťaže jedinca.

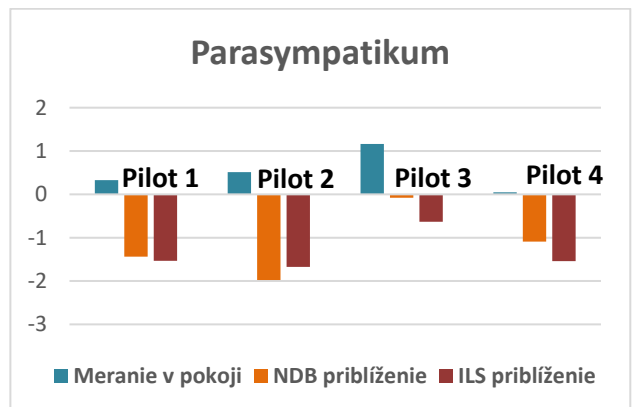
V parasympatikovej časti grafu sa nachádzajú ovplyvňujúce faktory ako:

- **Mean RR** (stredná hodnota RR) – predstavuje dĺžku srdcového komorového cyklu a meria sa medzi maximami dvoch kmitov [10]. Dlhší priemerný interval RR znamená nižšiu srdcovú frekvenciu a vyššiu parasympatickú srdcovú aktiváciu [6], [7].
- **RMSSD** (root mean square of successive differences) – označuje sa ako druhá odmocnina druhých mocnín rozdielov dĺžky vzápätí po sebe nasledujúcich RR intervalov [10].
- **SD1** – vyjadruje krátkodobú variabilitu. Využíva sa na premietnutie bodov do Poincarého grafu [10].

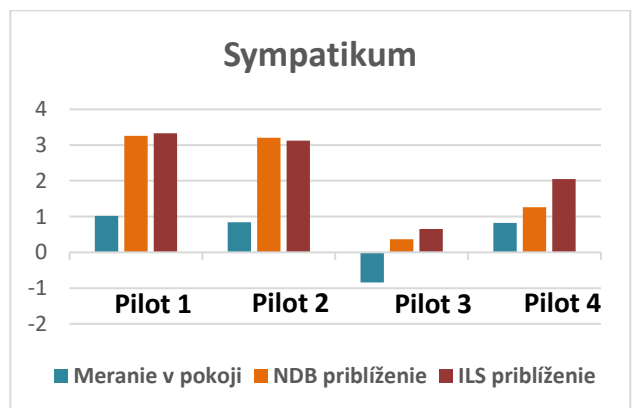
V pravej časti môžeme vidieť sympatikovú časť grafu spolu s faktormi ktoré ju definujú:

- **Mean HR** (stredná hodnota HR) – stredná hodnota tepu srdca. Vyššia srdcová frekvencia súvisí s vyššou sympatickou srdcovou aktiváciou [10].
- **Stress index** (stresový index) – je geometrická miera HRV, odrážajúca stres kardiovaskulárneho systému. Vysoké hodnoty stresového indexu naznačujú zníženú variabilitu a vysokú sympatickú srdcovú aktiváciu [6].
- **SD2** – popisuje dlhodobú variabilitu. Taktiež sa využíva na premietnutie bodov do Poincarého grafu [10].

Uvedené grafy znázorňujú hodnoty parasympatika a sympatika jednotlivých účastníkov.



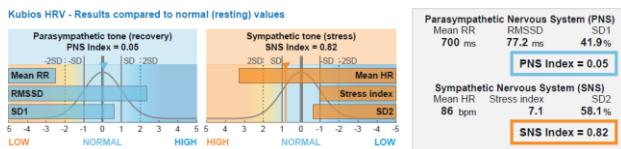
Graf 1: Parasympatikum počas merania v pokoji a počas NDB a ILS priblíženia. Zdroj: Autori.



Graf 2: Sympatikum pilotov počas merania v pokoji a počas NDB a ILS priblíženia. Zdroj: Autori.

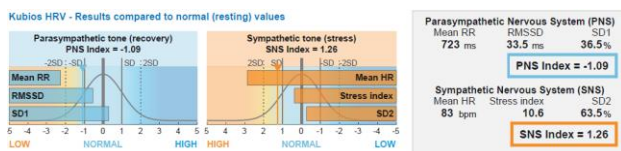
#### 4.1. Analýza pilota 4

Výsledky a závery si ukážeme na poslednom účastníkovi, ktorý bol súčasťou praktickej časti tejto práce. Pilot 4 je všeobecnými znalosťami zrovnateľnej úrovni s pilotom 3, aj keď jeho praktické znalosti daného simulátora sú menšie. Tieto faktory nás donútili sa domnievať, že nami namerané hodnoty pracovnej záťaže a stresu sa budú pohybovať niekde medzi skupinou pilotov začiatníkov a účastníkom číslo 3. Praktická časť započala opäť meraním pokojového HRV a ukázala pomerne vysokú úroveň pokoja. Aj keď je hodnota PNS v porovnaní s ostatnými účastníkmi nízka, vetva SNS nijakým spôsobom nevybočuje od nami zisteného rozsahu.



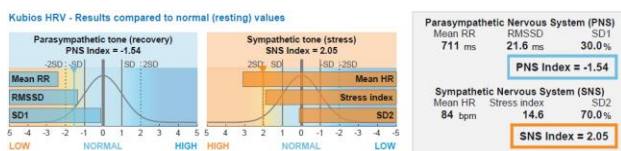
Obrázok 2: Indexy pilota 4 pre pokojové meranie. Zdroj: Autori.

Aj posledný participant absolvoval praktické meranie na simulátore. Rovnako ako piloti pred ním, aj tento účastník začal priblížením NDB a meranie zakončil priblížením ILS, obe na dráhu 06 letiska LZZI. V tomto prípade neboli znova potrebné rozsiahle teoretické prípravy, postačovala krátka úvodná inštrukcia a poučenie o nadchádzajúcich úlohách. Dobré teoretické vedomosti pilota 4 dávali očakávanie o miernejšom navýšení záťaže. Výsledky po lete, trvajúcim 14 minút a 3 sekundami, to potvrdili. Vetva parasympatika klesla o 0,14 a súbežne s ňou vetva sympatika stúpila o 0,44. Hlavne v porovnaní s menej skúsenou skupinou je to nepatrné zvýšenie pilotovej záťaže.



Obrázok 3: Indexy pilota 4 pre NDB priblíženie. Zdroj: Autori.

Praktické merania uzavrelo priblíženie ILS, vykonané štvrtým participantom. Už poučený o priebehu, vykonal zadanú úlohu. Odhad bol, že sa bude niesť v rovnakom alebo aspoň podobnom duchu ako predchádzajúce priblíženie NDB. Praktické získavanie dát ukázalo opäť navýšenie úrovne pracovnej záťaže a rovnako aj stresu pôsobiaceho na pilota 4. Index PNS poklesol o číselnú hodnotu 1,59 a SNS index sa navýšil o 1,23. Celá doba ILS priblíženia bola 15 minút a 50 sekúnd.



Obrázok 2: Indexy pilota 4 pre ILS priblíženie. Zdroj: Autori.

Podobne ako prvý a tretí účastník, aj u tohto nastalo väčšie zvýšenie záťaže a stresu pri presnom priblížení ILS. Hodnoty vypovedajú o niečo intenzívnejšie zaťaženie participanta 4 oproti druhému pilotovi zaradeného do skupiny pokročilých. To potvrdzuje domnienku, ktorú sme nadobudli zo skúseností z predchádzajúcich meraní, že vďaka lepším vedomostiam a teoretickým skúsenostiam sa budú jeho namerané dáta nachádzať medzi skupinou pilotov začiatočníkov a tretím participantom.

Z našej skromnej vzorky pilotov, u troch participantov nastalo väčšie navýšenie pracovnej záťaže a úrovne stresu počas ILS priblíženia a len pilot 2 pocítil vyššiu záťaž pri NDB priblížení. Smerodajné sú hlavne údaje nadobudnuté po odmeraní pilotov v pokročilej skupine. Dá sa očakávať omnoho korektnějších pilotáž, správnejšie vykonané obe priblíženia a teda s tým spojené menšie zvýšenie záťaže vyplývajúcej už zo samotnej neznalosti daného simulátora a slabších praktických skúseností. U každého participanta sa pracovná záťaž zvýšila bez ohľadu na

to či je menej alebo viac skúsený, ale zmena bola v skupine začiatočníkov omnoho očividnejšia. To ukazuje že praktické a teoretické skúsenosti majú priamy vplyv na potencionálne zvýšenie pracovnej záťaže a stresu počas rôznych letových úkonov.

V nasledujúcej tabuľke prehľadne uvedieme rozdiely PNS a SNS indexu medzi pokojovým meraním a pre NDB priblíženie, pre pokojové meranie a ILS priblíženie a samozrejme aj porovnanie oboch priblížení navzájom. Takéto porovnanie je v tabuľke zahrnuté pre každého participanta z nášho merania.

Tabuľka 1: Porovnanie rozdielov medzi pokojovým meraním a NDB priblížením, pokojovým meraním a ILS priblížením a medzi NDB a ILS priblíženiami. Zdroj: Autori.

		Rozdiel medzi meraniami:		
		Pokojuvé – NDB	Pokojuvé – ILS	NDB – ILS
Pilot 1	PNS index	1,77	1,86	0,09
	SNS index	2,24	2,31	0,07
Pilot 2	PNS index	2,49	2,18	0,31
	SNS index	2,36	2,28	0,08
Pilot 3	PNS index	1,24	1,79	0,55
	SNS index	1,21	1,49	0,28
Pilot 4	PNS index	1,14	1,59	0,45
	SNS index	0,44	1,23	0,79

Z vyššie uvedenej tabuľky je možné jednoduchšie a prehľadnejšie vyčítať počas ktorého priblíženia nastala väčšia zmena indexov PNS a SNS oproti referenčnému pokojovému meraniu. Je vidieť, že hodnoty rozdielov dosahované pilotom 1, pilotom 3 a pilotom 4 sú väčšie v prípade ILS priblíženia. Len pilot číslo 2 pocítil výraznejšie zvýšenie pracovnej záťaže a stresu pri priblížení NDB. Rovnako je z tabuľky jednoznačné, že skupina pokročilých pilotov ma v niektorých prípadoch aj viac ako dvojnásobne väčší nárast vetvy PNS a SNS v porovnaní s menej skúsenými pilotmi.

## 5. Záver

Zdalo by sa, že zdokonalenie dostupného technického vybavenia malo prakticky vylúčiť letecké nehody s výnimkou najnepriaznivejších podmienok, ale tieto nehody nevyzli takou rýchlosťou, ako by sa dalo očakávať od rýchleho technologického pokroku. Faktor, ktorý sa nezmenil a stále pretrváva, je ľudská bytosť. V správach o leteckých nehodách je často vidieť, že príčinou bola „chyba pilota“, ale správnejším dôvodom je samozrejme „ľudská chyba“.

Praktickej časti, ktorá pozostávala z meraní na letovom simulátore letúna L-410 UVP-E20 sa zúčastnili spolu štyria participanta. Tí boli ďalej rozdelení do dvoch podskupín, a to na začiatočníkov a pokročilých. Tento počet účastníkov nie je určite dostatočný pre dosiahnutie optimálnych výsledkov, ale vzhľadom na pandemickú situáciu v čase písania práce a nemožnosť prístupu k letovému simulátoru väčšiemu rozsahu pilotov, sa nám aj z tejto malej nameranej vzorky podarilo vyťažiť čo najviac a urobiť niekoľko zaujímavých záverov.

Porovnaním nameraných hodnôt HRV jednotlivých pilotov sme dospeli k záveru, že najväčšie zvýšenie pracovnej záťaže a pôsobiaceho stresu, nastalo v skupine pilotov považovaných za začiatočníkov. Menšia úroveň praktických a teoretických skúseností spôsobila, že piloti začiatočníci zvládali letovú úlohu s väčšími ťažkosťami. K tomu prispela aj skutočnosť, že disponovali nulovou skúsenosťou s nami použitým letovým simulátorom, a teda aj samotné korektné zvládnutie pilotáže pôsobilo ako významný stresor. Zrovnateľný počet nalietaných hodín a predpokladané skúsenosti pilotov 1 a 2 bol presvedčivo faktor, ktorý sa podpísal na ich takmer totožných nameraných hodnotách.

Značne lepšie si počínali pokročilí participanti. Pilot 3, disponujúci značnými praktickými skúsenosťami s daným simulátorom a jeho rozsiahlejšie vedomosti zapríčinili až dvojnásobne menšie zvýšenie parametrov pracovnej záťaže a stresu oproti pilotovi 1 a 2. Pilot 4, náš posledný participant, sa znalosťami daného simulátora dal zaradiť niekde medzi pilota 3 a skupinu pilotov začiatočníkov. Tomu vypovedajú aj nami namerané hodnoty parasympatika a sympatika a ešte viac utvrdzujú domnienku, že skúsenosti, či už praktické alebo teoretické majú priamy vplyv na úroveň zvýšenia pracovnej záťaže počas nárokov na organizmus.

Pri porovnávaní našich dvoch systémov prístrojového priblíženia sme zistili, že traja piloti, a to číslo 1, 3 a 4 pociťovali vyššiu pracovnú záťaž pri presnom priblížení ILS a len počas merania pilota 2 sa zistila väčšia záťaž a stres pri nie-presnom priblížení NDB. Nedokázali sme odmerať dostatočný počet pilotov na vytvorenie jednoznačného záveru, ale z nami zistených výsledkov sa môžeme nazdávať, že systém ILS je mierne náročnejší na pracovnú záťaž pilota.

Hľadanie progresívnych spôsobov monitorovania a skúmania fyziologických prejavov pilotov nestratilo ani v súčasnosti na význame. Dá sa povedať, že pre zvyšovanie bezpečnosti a odstraňovanie možných chýb je to dnes relevantnejšie ako kedykoľvek predtým. Podobné sledovanie pracovnej záťaže by mohlo viesť k optimalizácii prevádzky, k zdokonaleniu odpočinku, udržiavaniu optimálneho duševného rozpoloženia posádok, a tým prispieť už k spomínanej vyššej bezpečnosti a lepšej celkovej efektívnosti.

## Referencie

- [1] BOURGEOIS-BOUGRINE S, CARBON P, GOUNELLE C, MOLLARD R, COBLENTZ A. Perceived fatigue for short- and long-haul flights: a survey of 739 airline pilots. *Aviat Space Environ Med* 2003; 74(10): 1072–7.
- [2] CABON P, COBLENTZ A, MOLLARD R, FOUILLOT JP. Human vigilance in railway and long-haul flight operation. *Ergonomics* 1993; 36(9): 1019–33.
- [3] CABON, P., MOLLARD, R. (2002). "Prise en compte des aspects physiologiques dans la conception et l'évaluation des interactions homme-machine". *L'Ingénierie Cognitive : IHM et Cognition*. / G. Boy dir, Paris : Hermes, strany 99-138.
- [4] CALDWELL J.A. 2005. Fatigue in aviation. In *Travel Medicine and Infectious Disease* [online]. 2005, vol. 3, no. 2 [cit. 2020-02-25]. ISSN 1477-8939.

- [5] GROTZ, M., GROTZ, K., KELLER, L.: Učebnice pilota - svět křidel. Příbram. PBTisk s.r.o., 2011. 716 s. ISBN 978-80-86808-90-1.
- [6] <https://www.kubios.com/hrv-ans-function/>
- [7] <https://www.techmed.sk/vltny-kmity-interval-segmenty-na-ekg/>
- [8] JŮN, F. Učebnica na lety podľa prístrojov. 1. vyd. Bratislava : DOLIS, 2015. 191 s. ISBN 978-80-8181-049-7.
- [9] KANDERA B., ŠKULTÉTY F., MESÁROŠOVÁ K. Consequences of flight crew fatigue on the safety of civil aviation. *Transportation Research Procedia*, 43 (2019), strany 278-289.
- [10] KUBIČKOVÁ, Al., Automatická analýza signálů variability srdečního rytmu [online]. Brno, 2017. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/63848>. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Jiří Kozumplík.
- [11] MOHLER SR. Clinical problems in aviation medicine: fatigue in aviation activities. *Aerosp Med* 1966;37(7): 722–32.
- [12] MRAVEC, B. 2011. Stres a adaptácia. SAP, Bratislava. ISBN 978-80-8095-067-5.
- [13] NOVÁK, A. & MRÁZOVÁ, M., (2015). Research of physiological factors affecting pilot performance in flight simulation training device. In: *Communications: scientific letters of the University of Žilina*. - ISSN 1335-4205.- Vol. 17. no. 3 (2015). strany 103-107.
- [14] NOVÁK, A., MRÁZOVÁ, M. 2015a. The effect of physiological stressors on pilot's decision making during unfavourable simulated conditions: An explorative study. In: *Incas Bulletin*. - ISSN 2066-8201. - Vol. 7, iss. 2 (2015), s. 153-162.
- [15] O'DONNELL, R.D., EGGEMEIER, T. F. 1986. Workload assessment methodology. In *Handbook of perception and human performance*. Volume 2, pages 42:1–42:49.
- [16] O'DONNELL, R.D., EGGEMEIER, T. F. 1986. Workload assessment methodology. In *Handbook of perception and human performance*. Volume 2, pages 42:1–42:49.
- [17] OXFORD AVIATION ACADEMY. *Human Performance & Limitations*. Jeppesen GmbH, Frankfurt, Germany, 2001. ISBN 0-88487-285-8.
- [18] OXFORD AVIATION TRAINING. *JAA ATPL Theoretical Knowledge Manual – Navigation 2 (062 Radio Navigation)*. Jeppesen GmbH, Ltd 2001. ISBN 0-88487-288-2.
- [19] ROSEKIND MR, MILLER DL, GREGORY KB, DINGES DF. Crew factors in flight operations XII: a survey of sleep quantity and quality in on-board crew rest facilities. Moffett Field, CA: NASA; 2000. Report No.: NASA/TM-2000-20961.
- [20] WEI, Z., ZHUANG, D., WANYAN, X., LIU, C. and ZHUANG, H., 2014. A model for discrimination and prediction of

mental workload of aircraft cockpit display interface. Chinese Journal of Aeronautics, 27(5), strany 1070-1077.

- [21] WILSON, G. F.: Air-to-ground Training Missions: A Psychophysiological Workload Analysis. Ergonomics 36 (9), strany 1072-1073, 1993.
- [22] Galierikova, A., Materna, M., Sosedova, J. 2018. Analysis of risks in aviation. Transport Means - Proceedings of the International Conference, 2018, 2018-October, pp. 1427–1431.
- [23] Kandra, B. 2015. Letecké prístroje. Bratislava : DOLIS, 2015. - 204 s., ilustr. - ISBN 978-80-8181-017-6.
- [24] 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
- [25] Novák, A., 2015. Komunikačné, navigačné a sledovacie zariadenia v letectve, Bratislava, DOLIS, 2015, ISBN 978-80-8181-014-5
- [26] Novák, A., Pitor, J. 2011. Flight inspection of instrument landing system. 2011 IEEE Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems, 329-332.