

HODNOTENIE VÝKONNOSTI PILOTA

Ing. Peter Kaľavský, PhD.

Letecká fakulta, Technická univerzita v Košiciach, Slovensko
peter.kalavsky@tuke.sk

Ing. Róbert Rozenberg, PhD.

Letecká fakulta, Technická univerzita v Košiciach, Slovensko
robert.rozenberg@tuke.sk

Ing. Luboš Socha, PhD.

Letecká fakulta, Technická univerzita v Košiciach, Slovensko
lubos.socha@tuke.sk

Ing. Vladimír Socha

Fakulta biomedicínskeho inžinierstva, ČVUT Praha, Česká republika
vladimir.socha@fbmi.cvut.cz

Abstrakt – Článok je venovaný hodnoteniu výkonnosti pilota v podmienkach reálneho letu. V úvode sú uvedené základné informácie o realizovanom výskumnom projekte zameranom na získavanie nových poznatkov v oblasti tréningu a výcviku pilotov. Podrobne sú priblížené nástroje pre hodnotenie výkonnosti pilota využité v rámci výskumu. Pre ilustráciu sú v záverečnej časti článku uvedené aj základné výstupy z predmetného projektu..

Kľúčové slová – výkonnosť pilota, presnosť techniky pilotáže, psychofyziologické parametre.

I. ÚVOD

Jedným z kľúčových faktorov, ktoré ovplyvňujú bezpečnosť letovej prevádzky, je príprava letového personálu. Neuváženým znížením financovania leteckého výcviku dochádza k zníženiu úrovne odborných návykov pilotov, a tým dochádza k zníženiu bezpečnosti letovej prevádzky. Preto je dôležité, aby sa neustále skúmali nové metódy tréningu leteckého personálu, ktoré by znížili ich finančnú náročnosť bez negatívneho dopadu na bezpečnosť. V súčasnosti je svetovým trendom čoraz väčšie zapojenie letových simulátorov do výcviku pilotov.

Uvedené podnety sa stali základným impulzom pre spoločnosť Education training & consulting company, a.s. a Leteckú fakultu TUKE, ktoré v rokoch 2012 až 2014 riešili projekt s názvom „Výskum tréningových metód pilotov s využitím leteckých simulátorov“, ITMS kód projektu: 26220220161, ktorý bol spolufinancovaný zo zdrojov EÚ. Strategickým cieľom projektu bol výskum zvyšovania bezpečnosti leteckej prevádzky a následný transfer nových poznatkov do hospodárskej praxe. Projekt pozostával z dvoch základných častí – z analytickej časti a z výskumnej časti [1].

Základná osnova projektu [2]:

- analýza súčasného stavu prípravy a tréningu pilotov,
- identifikácia nedostatočností v tejto oblasti,
- návrh nových metód tréningu pilotov, ktoré by zvýšili úroveň bezpečnosti pri súčasnom znížení finančnej náročnosti týchto tréningov,
- vyslovenie hypotéz na úrovni potvrdenia identifikovaných nedostatočností a pre overenie príspevku navrhovaných nových metód tréningu pilotov pre zlepšenie súčasného stavu,
- spracovanie metodológie výskumných aktivít,
- verifikácia nových postupov pre účely ich aplikácie do praxe.

V rámci výskumných aktivít projektu sa mimo iné posudzoval aj vplyv zmeny zobrazenia letových a navigačných informácií na výkonnosť pilota. V uvedenej výskumnej aktivite bola výkonnosť pilotov hodnotená pre dve základné konfigurácie:

- pilotáž pomocou klasického analógového zobrazenia,
- pilotáž pomocou glasskokpitéového zobrazenia

Pre účely hodnotenia výkonnosti pilota boli v rámci projektu vypracované postupy, ktoré sú predmetom tohto článku.

II. METODOLÓGIA HODNOTENIA VÝKONNOSTI PILOTA [2]

Jednou z výskumných aktivít projektu bolo zistenie vplyvu zmeny zobrazenia z analógového kokpitu na glasskokpít na výkonnosť pilotov – začiatočníkov. V rámci tohto výskumu boli všetky fázy letu na lietadlách a na letovom simulátore súvisiace so samotným výskumom (pilotáž v pracovnej zóne) vykonávané pomocou prístrojového lietania s čiastočným využitím prirodzeného horizontu (v pomere cca 80 % prístrojového lietania a 20 % lietania pomocou prirodzeného horizontu).

Z dôvodu, že v skúšobnej vzorke boli zaradení aj úplní začiatočníci, tak na začiatku výskumu subjekty vykonali základnú teoretickú prípravu zameranú na zvládnutie základnej pilotáže (v trvaní 1 hodiny). Následne boli oboznámení s jednoduchou technikou pilotáže na letovom simulátore s analógovým zobrazením (v trvaní 1 letovej hodiny). Po odlietaní prvého cvičenia na letovom simulátore bolo vykonané 1. meranie výkonnosti pilota s cieľom získať východiskovú úroveň jeho výkonnosti:

- prostredníctvom zistenia odchýlok skutočných parametrov letu v uvedených fázach letu od požadovaných parametrov letu počas letu na letovom simulátore s analógovým zobrazením (v trvaní 1 letovej hodiny). Odchýlky boli zisťované počas:
 - priamočiareho horizontálneho letu pre výšku a kurz letu,
 - horizontálnej zákruty pre výšku, náklon a kurz,
 - stúpavej a klesavej zákruty pre vertikálnu rýchlosť, náklon a kurz,
- súčasne s uvedeným meraním presnosti techniky pilotáže boli zaznamenané aj zvolené psychofyziologické parametre pilota pre účely kvantifikovania úrovne záťaže:
 - tepová frekvencia,
 - dychová frekvencia,
 - telesná teplota,
 - telesná aktivita (3D aktigram),
 - intenzita svalovej činnosti.

Nasledoval základný výcvik techniky pilotáže na letovom simulátore s analógovým zobrazením (v trvaní 8 letových hodín) so zameraním na základné zvládnutie pilotáže s cieľom udržania požadovaných parametrov letu počas:

- priamočiareho horizontálneho letu,
- horizontálnej zákruty s dotočením do určeného kurzu,
- stúpavej a klesavej zákruty s dodržaním stanovenej vertikálnej rýchlosti a s dotočením do určeného kurzu.

Po odlietaní kompletného úvodného programu pre letový simulátor s analógovým zobrazením bolo v závere tohto programu vykonané 2. meranie výkonnosti pilota na letovom simulátore s analógovým zobrazením (v trvaní 1 letovej hodiny). Nasledovala základná teoretická príprava (v trvaní 1 hodiny) a 3. meranie výkonnosti pilota na lietadle s analógovým zobrazením (v trvaní 1 letovej hodiny). Ďalej nasledoval pokračovací výcvik techniky pilotáže na letovom simulátore s analógovým zobrazením (v trvaní 3 letových hodín) a na lietadle s analógovým zobrazením (v trvaní 1 letovej hodiny). Táto etapa výskumu lietania s analógovým zobrazením bola ukončená 4. meraním výkonnosti pilota na lietadle s analógovým zobrazením (v trvaní 1 letovej hodiny).

V ďalšej fáze výskumu sa piloti rozdelili na dve skupiny:

Skupina A absolvovala prechod na lietadlo s glasskokpitovým zobrazením pri uplatnení súčasných výcvikových a tréningových postupov určených pre zmenu z analógového zobrazenia na glasskokpitové zobrazenie.

Skupina B absolvovala prechod na lietadlo s glasskokpitovým zobrazením pri uplatnení novej výcvikovej a tréningovej metódy určenej pre zmenu analógového zobrazenia na glasskokpitové zobrazenie.

Postup pre skupinu A

Krátke oboznámenie sa s glasskokpitovým zobrazením v zmysle súčasných uplatňovaných postupov pri takejto zmene zobrazenia, pričom nasledujúce uvedené počty hodín zväčša prekračujú reálne počty hodín uplatňované v praxi a väčšinou úplne absentuje využitie letového simulátora. To znamená, že piloti z tejto skupiny absolvovali krátku teoretickú prípravu (v trvaní 1 hodiny), 5. meranie výkonnosti pilota na letovom simulátore s glasskokpitovým zobrazením (v trvaní 1 letovej hodiny) a 6. meranie výkonnosti pilota na lietadle s glasskokpitovým zobrazením (v trvaní 1 letovej hodiny).

Uvedeným postupom bolo možné zistiť vplyv zmeny zobrazenia (z analógového na glasskokpitové) na výkonnosť pilotov pomocou presnosti techniky pilotáže a úrovne záťaže s využitím súčasných postupov pri takejto zmene zobrazenia, ktoré absolvujú piloti pri zmene z analógového zobrazenia na glasskokpitové zobrazenie na jednom type lietadla, resp. pri zmene typu lietadla.

Postup pre skupinu B

Podrobné oboznámenie sa s glasskokpitovým zobrazením v zmysle novej výcvikovej a tréningovej metódy pre takúto zmenu zobrazenia. To znamená, že piloti z tejto skupiny absolvovali podrobnú teoretickú prípravu (v trvaní 3 hodín), základný výcvik techniky pilotáže na letovom simulátore s glasskokpitovým zobrazením (v trvaní 4 letových hodín), 5. meranie výkonnosti na letovom simulátore s glasskokpitovým zobrazením (v trvaní 1 letovej hodiny) a 6. meranie výkonnosti na lietadle s glasskokpitovým zobrazením (v trvaní 1 letovej hodiny).

Uvedeným postupom bolo možné zistiť vplyv zmeny zobrazenia (z analógového na glasskokpitové) na výkonnosť pilotov pomocou presnosti techniky pilotáže a úrovne záťaže s využitím novej výcvikovej a tréningovej metódy pre takúto zmenu zobrazenia. Zároveň bolo možné porovnať vplyv zmeny z analógového zobrazenia na glasskokpitové zobrazenie na výkonnosť pilotov pri uplatnení súčasných postupov a novej výcvikovej a tréningovej metódy pre takúto zmenu zobrazenia.

III. MERANIE VÝKONNOSTI PILOTA [2]

Vplyv zmeny zobrazenia letových a navigačných údajov na výkonnosť pilota bol vo výskumných aktivitách projektu posudzovaný pomocou merania presnosti techniky pilotáže a úrovne záťaže. Definície uvedených hodnotených ukazovateľov sú nasledovné:

Presnosť techniky pilotáže bola pre potreby výskumných aktivít definovaná ako odchýlky skutočných parametrov letu v stanovených fázach letu od požadovaných parametrov letu.

Úroveň záťaže bola pre potreby výskumných aktivít definovaná ako odchýlky zvolených psychofyziologických parametrov pilota od zvolenej východiskovej úrovne týchto parametrov toho istého pilota.

Z hľadiska vonkajších podmienok boli výskumné lety vykonávané v nasledovných podmienkach:

- dostatočná viditeľnosť prirodzeného horizontu,
- výskumné lety boli vykonávané v priestore pod spodnou alebo nad hornou základňou oblačnosti,
- výskumné lety boli vykonávané v priestore s maximálnou rýchlosťou vetra do cca 7 m.s⁻¹,
- neturbulentné prostredie,
- dostatočná výška nad prekážkami a dostatočné bočné odstupy od prekážok tak, aby pozornosť pilota nebola zbytočne zaťažovaná sledovaním bezpečnej výšky, resp. bočného odstupe,
- výskumné lety boli vykonávané vo vhodných svetelných podmienkach z hľadiska čitateľnosti letových indikátorov.

V rámci výskumu boli všetky fázy letu na lietadlách a na letových simulátoroch súvisiace so samotným výskumom (pilotáž v pracovnej zóne) vykonávané pomocou prístrojového lietania.

MERANIE VÝKONNOSTI PILOTA PROSTREDNÍCTVOM ZISTENIA ODCHÝLOK SKUTOČNÝCH PARAMETROV LETU V UVEDENÝCH FÁZACH LETU OD POŽADOVANÝCH PARAMETROV LETU [2].

Jednotlivé skutočné odchýlky boli zisťované s časovým odstupom 1 sekundy počas približne 1 minúty trvania uvedených režimov letu. Pre každý uvedený režim letu boli vykonávané 3 merania.

Pre účely zaznamenávania skutočných parametrov letu boli v rámci projektu využívané tieto postupy:

- zaznamenávanie parametrov letu na letovom simulátore TRD40 pomocou SW Instructor station, funkcia Performance,
- zaznamenávanie parametrov letu počas letu na skutočných lietadlách pomocou zapisovača letových údajov,
- zaznamenávanie parametrov letu (maximálnych odchýlok od požadovaných parametrov) pilotom-inštruktorom.

Odchýlky skutočných parametrov letu od požadovaných parametrov boli zisťované počas:

- priamočiareho horizontálneho letu pre výšku a kurz letu (pilot mal určenú požadovanú výšku letu a kurz letu),
- horizontálnej zákruty pre výšku, náklon a kurz (pilot mal určenú požadovanú výšku letu, náklon lietadla a uhol otočenia v zákrute, respektíve kurz dotočenia zákruty),
- stúpavej a klesavej zákruty pre vertikálnu rýchlosť, náklon a kurz (pilot mal určený požadovaný náklon lietadla, vertikálnu rýchlosť a uhol otočenia v zákrute, respektíve kurz dotočenia zákruty).

Nižšie uvedené údaje (subjekt č. 1), sú sprostredkované inštruktorom vo forme absolútnych odchýlok od stanovených letových parametrov a to od magnetického kurzu (Km), výšky (H), vertikálnej rýchlosti (Vv) a náklonu (β). Údaje zapisované inštruktorom boli porovnané so záznamom letu a sú vhodné pre hodnotenie presnosti pilotovania.

Pre celkovú ilustráciu sú v nasledovnom texte uvedené základné výstupy z merania výkonnosti pomocou presnosti techniky pilotáže počas tréningového lietania – subjekt/pilot č. 1 a skupina pilotov A. Z hľadiska potvrdenia, resp. vyvrátenia výskumnej hypotézy je v tabuľke č. 1 znázornené porovnanie výkonnosti pilota – porovnanie prechodu počas tréningového lietania z analógového zobrazenia na glasskokpitové zobrazenie pri uplatnení súčasných tréningových postupov.

Legenda pre porovnanie výkonnosti:

Zelenou farbou je podfarbené okno s nižšou odchýlkou – vyššia výkonnosť
Červenou farbou je podfarbené okno s vyššou odchýlkou – nižšia výkonnosť
Modrou farbou je podfarbené okno s rovnakou odchýlkou – rovnaká výkonnosť

Tabuľka 1 – Presnosť techniky pilotáže subjektu č. 1 – tréningové lietanie

S01 – T18M				
1. Séria				
HPL	Km	2	H	40
360	β	3	H	40
s180	β	2	Vv	100
k180	β	2	Vv	100
2. Séria				
HPL	Km	3	H	60
360	β	3	H	20
s360	β	0	Vv	100
s180	β	3	Vv	100
k180				
HPL	Km	3	H	60
360	β	2	H	40
s180	β	2	Vv	100
k180	β	2	Vv	100

Výkonnosť subjektu č. 1 pri porovnaní v tab. č. 1 poklesla 10x, vyrovnaná bola 5x a 9x stúpla. Výkonnosť v tomto porovnaní celkovo poklesla.

Merania na subjekte č. 1 potvrdili prvú časť výskumnej hypotézy – výkonnosť u pilota zaradeného do skupiny A (pri prechode z analógového zobrazenia na glasskokpitové zobrazenie pri dodržaní súčasných postupov v rámci takéhoto prechodu) v rámci tréningového lietania poklesla.

V tabuľke č. 2 sú uvedené sumarizačné údaje za skupinu A v rámci tréningového lietania a na obrázku č. 1 je grafické vyobrazenie zmeny výkonnosti skupiny A v rámci tréningového lietania pri prechode z analógového zobrazenia na glasskokpitové zobrazenie pri dodržaní súčasných postupov v rámci takéhoto prechodu. Výkonnosť 10 pilotov zaradených do skupiny A v rámci prechodu z analógového zobrazenia na glasskokpitové zobrazenie počas tréningového lietania pri uplatnení súčasných tréningových postupov pri 7 pilotoch poklesla, pri 1 bola vyrovnaná a pri 2 stúpla. Z hľadiska hodnotených manévrov skupiny A počas tréningového lietania výkonnosť pilotov poklesla počas 103 manévrov (42,92 %), bola vyrovnaná počas 54 manévrov (22,50 %) a stúpla počas 83

manévrov (34,58 %). Celkovo výkonnosť skupiny A v rámci prechodu z analógového zobrazenia na glasscockpitové zobrazenie počas trénažerového lietania pri uplatnení súčasných tréningových postupov poklesla.

Tabuľka 2 – Presnosť techniky pilotáže skupiny A – trénažerové lietanie

číslo subjektu	klesajúca výkonnosť	vyrovnaná výkonnosť	stúpajúca výkonnosť	celkové hodnotenie výkonnosti
1	10	5	9	klesajúca
2	11	3	10	klesajúca
3	11	8	5	klesajúca
4	6	9	9	stúpajúca
5	12	3	9	klesajúca
6	12	5	7	klesajúca
7	5	3	16	stúpajúca
8	16	5	3	klesajúca
9	13	3	8	klesajúca
10	7	10	7	vyrovnaná
spolu	103	54	83	
%	42,92	22,50	34,58	

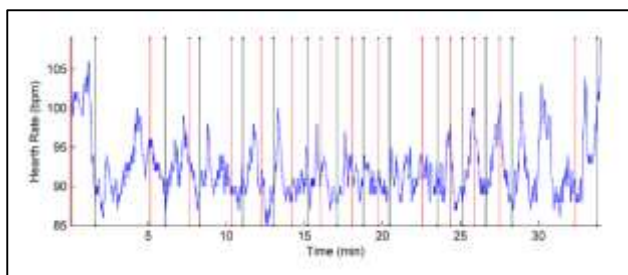


Obrázok 1 – Grafické vyobrazenie zmeny výkonnosti skupiny A v rámci trénažerového lietania

MERANIE VÝKONNOSTI PILOTA PROSTREDNÍCTVOM ZAZNAMENANIA PSYCHOFYZIOLOGICKÝCH PARAMETROV PILOTA [3].

Pre účely kvantifikovania úrovne záťaže pilota boli zaznamenávané tieto parametre:

- tepová frekvencia,
- dychová frekvencia,
- telesná teplota,
- telesná aktivita (3D aktigram),
- intenzita svalovej činnosti.



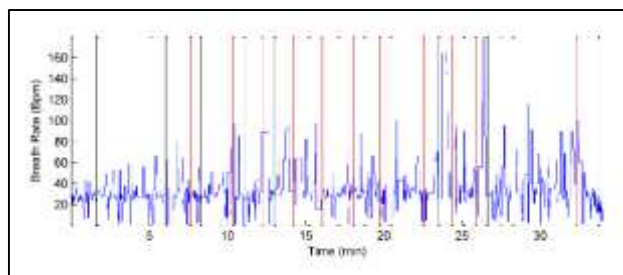
Obrázok 2 – Záznam tepovej frekvencie pilota od vzletu po pristátie

Tepová frekvencia bola hodnotená pomocou štatistickej analýzy a frekvenčnej analýzy.

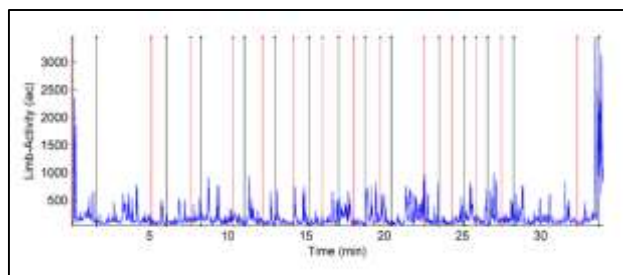
Priebehy celých letov, ako aj jednotlivých parametrov každého letu boli zhodnotené štatistickými metódami. Pre spracovanie surových nameraných dát boli použité parametre popisnej štatistiky ako priemer, smerodajná odchýlka, medián, kvartilové rozpätie, maximum a minimum. Hodnoty týchto parametrov boli určené ako smerodajné a použité pre hodnotenie priebehu letov. Štatistická analýza priebehu letov a ich manévrov potvrdila predpokladaný priebeh tepovej frekvencie. Signifikantný bol prechod z trénažera do lietadla aj naopak, bez ohľadu na zobrazenie dát. Digitálne zobrazenie dát však spôsobuje zvýšenie tepovej frekvencie pri prechode z analógového, ktoré sa porozumením aj ovládaním podstatne líši od glasscockpitu.

Metódy frekvenčnej analýzy boli rovnako aplikované na priebeh celých letov, ako aj na jednotlivé manévry. Frekvenčná analýza bola zameraná na výpočet spektrálnej hustoty výkonu srdcovej frekvencie, ktorú charakterizujú tri základné frekvenčné pásma, na ktorých srdce pracuje VLF, HF a LF. Ako základný ukazovateľ zmeny alebo variability srdcovej frekvencie bol stanovený pomer LF/HF. LF – nízko frekvenčné komponenty odpovedajú aktivite sympatika a HF – vysokofrekvenčné komponenty zas aktivite parasympatika. V konečnom dôsledku vyššie hodnoty pomeru HF/LF svedčia o zvýšenej srdcovej aktivite, a teda strese.

Na obrázku č. 3 a 4 sú pre ilustráciu uvedené záznamy dychovej frekvencie a aktivity hornej končatiny pilota od vzletu až po pristátie.



Obrázok 3 – Záznam dychovej frekvencie pilota od vzletu po pristátie



Obrázok 4 – Záznam aktivity hornej končatiny pilota od vzletu po pristátie

V rámci projektu sme pracovali s hypotézou, v ktorej sme predpokladali, že od určitej úrovne záťaže pilota, v zmysle vyslovenej definície, sa táto záťaž negatívne prejavuje na výkonnosti pilota, napr. aj z hľadiska presnosti techniky

pilotáže. To znamená, že prostredníctvom merania úrovne záťaže pilota bolo možné kvantifikovať výkonnosť pilota. Pre tieto účely bolo v rámci projektu používané meracie zariadenie vyvinuté Fakultou biomedicínskeho inžinierstva, ČVUT Praha.

Základné parametre a zloženie uvedeného meracieho zariadenia:

- Telemetrická snímacia jednotka
 - v on-line režime bezdrôtová komunikácia cez bezdrôtové XBee rozhranie
 - v off-line režime možnosť záznamu dát na SD kartu
- Senzorový modul pre snímanie tepovej frekvencie
- Senzorový modul pre snímanie telesnej teploty
- Senzorový modul pre snímanie telesnej aktivity (3D aktigram)
- Senzorový modul pre snímanie dychovej frekvencie
- Senzorový modul pre snímanie intenzity svalovej činnosti

IV. ZÁVER

Použitie metódy merania/hodnotenia výkonnosti pilota („Presnosť techniky pilotáže“ a „Psychofyziologické parametre“) v rámci výskumných aktivít v predmetnom projekte dostatočne preukázali ich spôsobilosť pre použitie v rámci tréningového lietania a reálneho lietania a potvrdili vypracované výskumné hypotézy.

Využitie simulátorov umožňuje precvičenie hraničných situácií, ktoré bežne nie je možné vykonávať počas reálneho výcvikového letu. Aplikovaním nových tréningových metód je možné znížiť finančnú náročnosť leteckého výcviku bez zníženia bezpečnosti leteckej prevádzky, dokonca tieto nové tréningové metódy môžu prispieť k zvýšeniu bezpečnosti letovej prevádzky. Presun hlavného podielu výcviku z reálnych lietadiel na nové moderné letecké simulátory prináša aj priamu finančnú úsporu v podobe nákladov na palivo a opotrebovanie leteckej techniky a taktiež je nezanedbateľným pozitívnym príspevkom pre ochranu životného prostredia.

REFERENCIE

- [1] GAZDA, J.: Výskum tréningových metód pilotov s využitím leteckých simulátorov – Opis projektu, 2011
- [2] KALAVSKÝ, P.: Výskum tréningových metód pilotov s využitím leteckých simulátorov – Výskumná správa, 2015
- [3] SOCHA, V.: Výskum tréningových metód pilotov s využitím leteckých simulátorov – Výskumná správa, 2015