

EFEKTIVITA VÝCVIKU PILOTOV NA DIAĽKU

REMOTE PILOT TRAINING EFFECTIVENESS

Branislav Kandra

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 1
010 26 Žilina
branislav.kandra@fpedas.uniza.sk

Iveta Škvareková

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 1
010 26 Žilina
iveta.skvarekova@fpedas.uniza.sk

Viliam Ažaltovič

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 1
010 26 Žilina
viliam.azaltovic@fpedas.uniza.sk

Abstract

Although the topic of unmanned aerial vehicles is very actual, in most cases attention is paid to the safe integration of unmanned aerial vehicles in airspace, their uses and their reliability. But the safe operation of drones is based on the correct and effective training of drone pilots. The paper deals with the training of pilots of unmanned aerial vehicles, defining the scope of training and the possibilities of using UAV simulators for training. An important aspect is the complexity of knowledge about unmanned aerial vehicles, as training is not only a question of control skills, but also of theoretical knowledge of the UAV itself with which the flight is performed. Based on the measured data, it is clear that the simulator plays an important role during the training of piloting unmanned aerial vehicles, while providing a valuable basis for the transition to a type of fixed-wing flight configuration.

Keywords

Remote Pilot, Unmanned Aircraft Vehicle, Training, Safety

1. Úvod

Žilinská univerzita v Žiline zabezpečuje kurzy pilota na diaľku aktívne od roku 2015 prostredníctvom jej zložky - Národného výcvikového centra bezpečnosti v civilnom letectve. Výcvik je rozdelený na dve časti: teoretickú a praktickú. V školskom roku 2017/2018 bol zavedený Katedrou leteckej dopravy predmet Prevádzka bezpilotných lietadiel a následne voliteľný predmet Letový výcvik bezpilotných lietadiel. Teoretický a praktický výcvik vykonávajú skúsení vysokoškolskí učitelia Katedry leteckej dopravy, ktorí dlhodobo venujú pozornosť bezpilotným prostriedkom. Kvalitnému výcviku pilotov na diaľku sa na Žilinskej univerzite v Žiline venuje vysoká pozornosť a na základe výskumu a spätnej väzby od pilotov vo výcviku sa snaha upriamuje na kontinuálne zlepšovanie v tejto oblasti.

2. Certifikácia pilotov na diaľku

V podmienkach Slovenskej republiky je nastavená certifikácia pilotov na diaľku relatívne prísne.

Teoretická skúška sa vykonáva na Dopravnom úrade vo vopred stanovených termínoch a časoch. PC test sa vykonáva v slovenskom jazyku, pozostáva zo 100 otázok a čas pre test je 90 minút. Na otázky sa odpovedá formou viacnásobnej možnosti výberu odpovedí. Pri každej otázke sú na výber uvedené tri odpovede, z ktorých je iba jedna správna.

Žiadateľovi je priznané hodnotenie prospel, ak vo všetkých požadovaných predmetoch získal minimálne 75%. V prípade, ak žiadateľ nie je úspešný z jedného alebo viacerých predmetov, je hodnotený ako neprospel. Z predmetov, z ktorých bol hodnotený ako neprospel, je potrebné opakovať teoretickú skúšku (Holoda Š., Kandra B., 2016).

Okruhy otázok a aj hĺbka vedomostí je takmer totožná s nárokmi kladenými na uchádzačov o skúšky na súkromného pilota:

Letecké právo a postupy riadenia letovej prevádzky, kde sa nachádzajú otázky ohľadom komunikácie, základnej terminológie, základných postupov v letovej prevádzke, práva a povinnosti osoby zodpovednej na prevádzku atď.

Všeobecné vedomosti o lietadle: Základná technická terminológia, Základy aerodynamiky, Základy mechaniky letu.

Letové výkony lietadla a plánovanie letu: Základná terminológia, Postupy plánovania letu, Pohonné jednotky diaľkovo riadeného lietadla.

Meteorológia: Základné meteorologické javy, Atmosféra zeme, Letecká meteorológia.

Prevádzkové postupy: Letecké práce, Bezpečnosť letu, Postupy pre zaistenie bezpečnosti letu, Vykonávanie letov.

Základy letu: Základné fyzikálne zákonitosti letu lietadla, Princípy letu lietadla, Pohonné jednotky.

Praktická skúška sa vykonáva po úspešnom vykonaní teoretickej skúšky, pod dozorom, podľa pokynov a na mieste určenom inšpektorom Dopravného úradu s bezpilotným lietadlom (UA- Unmanned Aircraft) evidovaným na Dopravnom úrade. Za vykonanie letu počas praktickej skúšky zodpovedá žiadateľ.

V rámci praktickej skúšky musí pilot na diaľku preukázať znalosť rozdelenia vzdušného priestoru a jeho možnosti využívania pre lety bezpilotných lietadiel. (Ažaltovič, V., Kandra, B., 2018) Ďalej znalosť meteorologickej situácie a identifikácia

nebezpečných javov pre konkrétne UAS (Unmanned Aircraft System), na ktorom prebieha výcvik. V ďalšom kroku musí pilot preukázať znalosť prevádzkových postupov a obmedzení. Praktická skúška pokračuje vykonaním letovej úlohy podľa požiadaviek inšpektora DÚ. Inšpektor sleduje súslednosť povinných úkonov a dodržanie požadovaného geometrického obrazca. Celá letová úloha môže byť vykonávaná v letovom móde s podporou GPS a podporov optických systémov UA, čo jednoznačne uľahčuje vykonanie skúšky. Tieto systémy udržiavajú presnú polohu UA a pilot na diaľku nemusí vylučovať vplyv vetra. Mnohé UAS ani nemajú možnosť voľby manuálneho módu pilotom, a z tohto dôvodu sme boli nútení upravovať firmware komerčných UAS.

3. Metodika merania

Z popísaného priebehu skúšky vyplýva, že pri letovom výcviku pilota na diaľku nie je potrebný výcvik v manuálnom móde, t.j. bez podpory GPS a optických systémov. Ale z pohľadu bezpečnej prevádzky je veľmi prospešný tento letový výcvik v manuálnom móde, kvôli technickým obmedzeniam týchto systémov:

- - Signál GPS je veľmi často rušený
- - Optický systém sledovania polohy je závislý od svetelných podmienok a optickej štruktúry plochy pod UAV
- - Možnosť poruchy systémov

Z týchto dôvodov sa v našom výcvikovom centre vykonáva väčšia časť praktického letového výcviku v manuálnom móde. Z tohto pohľadu je potrebné určiť pomer letov v manuálnom móde a mieru využitia UAS simulátora.

Základný výcvik pilota na diaľku multikoptéry v našom centre pozostáva z 18 letov pričom každý let trvá približne 20 minút. V prípade potreby môže byť tento počet zvýšený tak, aby bol inštruktor presvedčený o pripravenosti pilota vo výcviku. Z uvedeného vyplýva, že na zvládnutie oficiálnej skúšky by postačoval podstatne menší rozsah výcviku, ale pre plné osvojenie motorických návykov v manuálnom móde je potrebný náročnejší výcvik.

Určenie výcvikových letov:

- 6 letov v P-Mode (Positioning) – vietor v rozmedzí od 0 m/s do 8 m/s
- 12 letov v M-Mode (Manual) – vietor v rozmedzí od 2 m/s do 8 m/s
- 6 letov na simulátore – vietor v rozmedzí od 0 m/s do 8 m/s

V rámci výcviku sme prevádzkali široký výskum v oblasti efektívnej metodiky výcviku pilotov na diaľku multikoptér. Najzaujímavejšie výsledky sa preukázali pri analýze využitia simulátorov UAS pri výcviku pilota multikoptéry.

Celkovo bolo do výskumu zapojených 112 pilotov vo výcviku, pričom výskum bude ďalej pokračovať po zmiernení opatrení súvisiacich so šírením Coronavirusu (COVID-19), kde očakávame s ukončením praktického výcviku približne 50 pilotov na diaľku.

Vstupy analýzy pochádzali z priebežného hodnotenia výkonov jednotlivých pilotov počas výcviku a z dotazníku, ktorý dobrovoľne vyplnili. Pre zachovanie čo najvyššej miery objektívnosti priebežné hodnotenie výkonov pilotov posudzoval určený skúsený inštruktor.

Pri analýze všetkých výstupov z výcviku a dotazníkov, týkajúcich, boli použité štatistické metódy (testy hypotéz, model lineárnej regresie, ktoré boli prostriedkom na určenie ďalšieho zamerania analýz testovaného súboru. Pri testovaní hypotéz sme používali hladinu významnosti $\alpha = 0,05$. Pomocou týchto metód sa vymedzilo smerovanie analýz, čo uľahčilo prvé zameranie sa na preukázané závislosti. Tieto metódy boli vykonané prostredníctvom programu Statistical Data Analysis - R, ktorý vytvoril Robert Gentleman a Ross Ihaka (Statistics Department of the University of Auckland).

Použité štatistické metódy:

Kruskalov – Wallisov test

Majme k nezávislých výberov. Nech prvý výber má rozsah n_1 , druhý výber má rozsah n_2 atď. až kým k -tý výber má rozsah n_k . Označme $n = n_1 + \dots + n_k$.

Predpokladajme, že každý výber pochádza z nejakého rozdelenia so spojitou distribučnou funkciou.

Chceme testovať hypotézu, že všetky výbery pochádzajú z toho istého rozdelenia.

Zoradíme všetkých n prvkov z k výberov do rastúcej postupnosti a určíme poradie každého prvku. Označíme T_i súčet poradí tých prvkov, ktoré patria do i -teho výberu, $i = 1, 2, \dots, k$.

Pre kontrolu musí platiť

$$T_1 + \dots + T_k = \frac{n(n+1)}{2}$$

Za platnosti nulovej hypotézy má veličina

$$Q = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

asymptoticky χ^2 rozdelenie s $k-1$ stupňami voľnosti.

Hypotézu zamietame na hladine významnosti α vtedy, keď platí

$$Q \geq \chi_{k-1}^2(\alpha)$$

Ak zamietneme hypotézu, znamená to, že tvrdíme, že všetky výbery nepochádzajú z toho istého rozdelenia.

Test nezávislosti v kontingenčných tabuľkách

Majme dvojrozmerný náhodný vektor $X = (Y, Z)$ taký, že Y môže nadobúdať iba hodnoty $1, 2, \dots, r$ a Z hodnoty $1, 2, \dots, c$ ($r > 1, c > 1$). Označme

$$p_{ij} = P(Y = i, Z = j).$$

Ďalej označme

$$p_i = P(Y = i) = \sum_{j=1}^c p_{ij}, \quad p_j = P(Z = j) = \sum_{i=1}^r p_{ij}.$$

Budeme predpokladať, že platí $p_{ij} > 0$ pre všetky dvojice (i, j) .
Majme výber o rozsahu n s rozdelením s pravdepodobnosťou p_{ij} . Tento výber sa dá popísať multinomickým rozdelením o rc triedach tvorených dvojicami (i, j) .
Ak označíme n_{ij} počet tých prípadov, kedy súčasne nastalo $Y = i$ a $Z = j$, môžeme výsledky zapísať v tvare tzv. *kontingenčnej tabuľky*:

Y	Z				Σ
	1	2	...	c	
1	n_{11}	n_{12}	...	n_{1c}	$n_{1.}$
2	n_{21}	n_{22}	...	n_{2c}	$n_{2.}$
...
r	n_{r1}	n_{r2}	...	n_{rc}	$n_{r.}$
Σ	$n_{.1}$	$n_{.2}$...	$n_{.c}$	n

Pritom

$$n_{i.} = \sum_{j=1}^c n_{ij}, \quad n_{.j} = \sum_{i=1}^r n_{ij}, \quad n = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c n_{ij}.$$

Čísla $n_{i.}$ a $n_{.j}$ sa nazývajú *marginálna početnosť*.

V kontingenčných tabuľkách sa testovala hypotéza, že veličiny Y a Z sú nezávislé.

Pri platnosti H_0 sú Y a Z nezávislé

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{\left(n_{ij} - \frac{n_{i.} n_{.j}}{n} \right)^2}{\frac{n_{i.} n_{.j}}{n}}$$

asymptoticky rozdelený chí-kvadrát s počtom stupňov voľnosti

$$f = rc - (r + c - 2) - 1 = (r - 1)(c - 1).$$

Ak dostaneme $\chi^2 \geq \chi_{(r-1)(c-1)}^2(\alpha)$, zamietneme hypotézu nezávislosti na hladine, ktorá je asymptoticky rovná α .
Vzorec sa dá upraviť na výpočtový tvar

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{n_{ij}^2}{n_{i.} n_{.j}} - n.$$

Veličina je testovou charakteristikou, nie je mierou závislosti medzi Y a Z .

Model lineárnej regresie

Majme náhodné veličiny y_1, \dots, y_n a maticu daných čísel

$$X = (x_{ij}) \text{ typu } n \times k, \quad k < n$$

Pomocou regresnej funkcie chceme určiť priebeh závislosti medzi týmito premennými x_i a y_i , čo nám umožní odhadovať hodnoty závislej premennej y na základe hodnôt nezávislej premennej x .

Ak označíme teoretickú regresnú funkciu Y , tak pre každé konkrétne pozorovanie y_i platí rovnica

$$y_i = Y_i + \varepsilon_i,$$

kde y_i je empirická hodnota závislej premennej, Y_i je hodnota teoretickej regresnej funkcie a ε_i je odchýlka y_i od Y_i .
Označme parametre regresnej funkcie (neznáme konštanty) β_0, \dots, β_k . Potom vlastne platí

$$Y = f(x, \beta_0, \dots, \beta_k),$$

teda Y je funkciou x a neznámych parametrov β_0, \dots, β_k .

Potrebujeme určiť konkrétnu formu tejto funkcie a odhadnúť parametre β_0, \dots, β_k .

Označme odhady parametrov b_0, \dots, b_k . Empirická regresná funkcia potom bude mať tvar

$$\hat{y}_i = f(x, b_0, \dots, b_k)$$

Predpokladajme, že pre náhodný vektor $Y = (y_1, \dots, y_n)'$ platí

$$Y = X\beta + e,$$

kde $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_k)'$ je vektor neznámych parametrov a $e = (e_1, \dots, e_n)'$ je vektor reziduí.

Neznáme parametre β_0, \dots, β_k sa odhadujú *metódou najmenších štvorcov*, teda z podmienky, že súčet štvorcov odchýlok empirických hodnôt y_i a teoretických hodnôt Y_i má byť minimálny. To znamená, že musí platiť

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2 = (Y - X\beta)'(Y - X\beta) = \min$$

Odhady b_0, \dots, b_k parametrov β_0, \dots, β_k sú dané vzorcom

$$b = (X'X)^{-1} X'Y$$

Táto sústava rovníc sa nazýva *normálne rovnice*.

Pre priamkovú regresiu v tvare

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + e_i$$

dostávame odhady parametrov

$$b_0 = \frac{\sum x_i^2 \sum Y_i - \sum x_i \sum Y_i^2}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b_1 = \frac{n \sum x_i Y_i - \sum x_i \sum Y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

3.1. Letový simulátor a scenár testovania

Zo 112 pilotov vo výcviku absolvovalo 58 pilotov výcvik na simulátore UAS v rozsahu dvoch hodín. Pre výcvik bol vybraný komerčný simulátor PHOENIX RC (V5.5), ktorý používa pokročilé fyzikálne modely správania UAV.

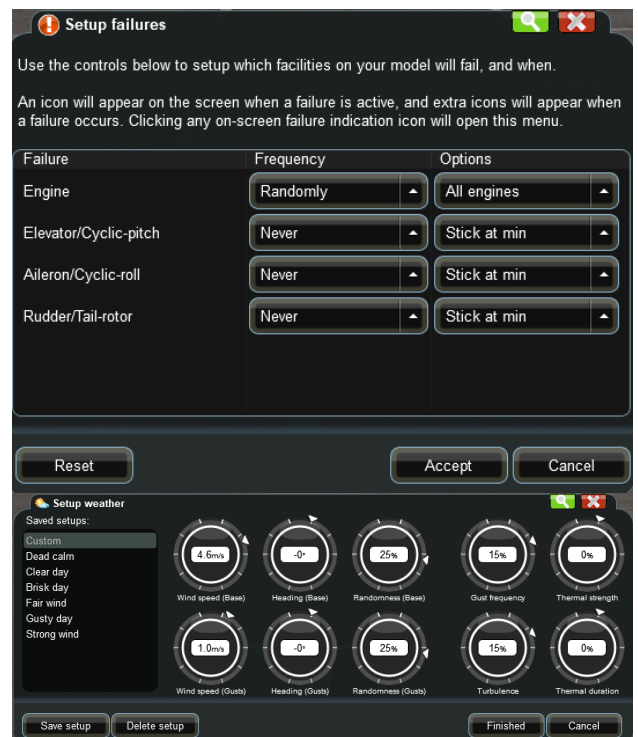


Obrázok 3 Letový simulátor UAS- PHOENIX RC (V5.5). Zdroj: Autori.

Na vývoji simulátora spolupracovali vývojári so špičkovými pilotmi, čím bolo dosiahnuté veľmi realistické správanie modelov. Podrobne je namodelovaná dynamika letu UA, pričom každý model je popísaný desiatkami parametrov a v prípade potreby sme tieto parametre mohli upravovať. Simulátor umožňuje simuláciu letov nasledovných kategórií UA: multikoptéra, vrtuľník, letún a klzák a obsahuje viac ako 150 typov modelov.



Obrázok 2 Letový simulátor UAS- PHOENIX RC (V5.5) – úprava parametrov UA. Zdroj: Autori.



Obrázok 3 Letový simulátor UAS- PHOENIX RC (V5.5) – nastavenie poruchy a meteorologických parametrov. Zdroj: Autori.

4. Výsledky merania

Pomocou popísaných štatistických metód sme určili signifikantnú závislosť jednotlivých vstupných hodnôt analýzy. Z analýzy vyplývajú nasledovné zistenia:

1. Piloti, ktorí mali v rámci praktického výcviku zahrnutý aj výcvik na simulátore mali o 12,5% lepšie hodnotenie jednotlivých letových úloh v P-Mode a o 18,8% v M-Mode.
2. Piloti, ktorí mali v rámci praktického výcviku zahrnutý aj výcvik na simulátore mali o 23,9% lepšie hodnotenie jednotlivých letových úloh v M-Mode pri sile vetra väčšej ako 3 m/s a o 35,1% pri sile vetra väčšej ako 6 m/s.
3. Piloti, ktorí mali v rámci praktického výcviku zahrnutý aj výcvik na simulátore mali o 26,6% lepšie hodnotenie jednotlivých letových úloh v M-Mode ak patrili do vekovej kategórie staršej ako 35 rokov.

4. 9 pilotov pokračovalo po úspešnom zvládnutí výcviku pilota multikoptéry vo výcviku pilot UAV – letún. Títo piloti výrazne preferovali možnosť počiatočného výcviku na simulátore pre získanie zručností na ovládanie UA – letún.

5. Záver

Sme si vedomí, že na pilotov UAS vo výcviku máme vyššie požiadavky ako vyžaduje certifikácia pilotov v podmienkach Slovenskej republiky. Tieto vyššie požiadavky nášho výcvikového centra vychádzajú z mnohoročných skúseností našich lektorov a inštruktorov praktického výcviku UAS. Pri teoretickom a praktickom výcviku pilotov poskytujeme výcvik s minimálne dvojnásobným časovým rozsahom ako ostatní poskytovatelia výcviku na Slovensku.

Najväčší problém pri výcviku majú piloti s letmi v M-Mode, ktorý môže byť nevyhnutný hlavne pri riešení núdzových a neštandardných situácií. Z tohto dôvodu sme sa rozhodli zaradiť do výcviku aj lety na simulátore UAS.

Z analýzy a spätnej väzby od pilotov vyplývajú nasledovné závery:

- Využitie simulátora UAS pri výcviku jednoznačne znižuje mieru stresu, hlavne pri letoch v manuálnom móde a pri zvýšenej rýchlosti vetra.
- Simulátor napomáha k rýchlejšiemu získaniu motorických zručností pri ovládaní UAS.

Význam využitia simulátora UAS sa javí ešte viac účelným pri výcviku pilotov UA – letún, kde dynamický priebeh praktického letu si vyžaduje prípravu na simulátore UAS. V opačnom prípade sa stretávame so zvýšenou záťažou pilotov vo výcviku, ale aj s veľmi zložitou situáciou inštruktora praktického výcviku UAS, ktorý musí včas prebrať riadenie v krízovej situácii, ktorú spôsobil pilot vo výcviku. Zatiaľ sme ale nemali dostatočný počet pilotov UA – letún vo výcviku pre získanie vierohodných údajov pre zistenie miery vplyvu využitia simulátora UAS na výcvik. V blízkej dobe sa chceme venovať v rámci výskumu aj tejto oblasti.

PodĎakovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu **KEGA 046ŽU-4/2019** s názvom „Inovácia vzdelávania v oblasti prevádzky lietadiel spôsobilých lietať bez pilota“.

Referencie

Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Part-UAS UAS operations in the 'open' and 'specific' categories, 9 October 2019, European Union Aviation Safety Agency.

Ažaltovič, V., Kandra, B., 2018. Impact of unmanned aerial vehicles on the aviation safety [electronic], In: New trends in civil aviation 2018 [print] : proceedings of the 20th international conference. Žilinská univerzita v Žiline, 2018. - ISBN 978-80-554-1530-7. - s. 27-30.

Holoda Š., Kandra B., 2016 Problematika a vývoj legislatívy bezpilotných prostriedkov - UAV na Slovensku, In:

New trends in civil aviation 2016, Žilina: Žilinská univerzita, ISBN 978-80-554-1252-8. - S. 32-35.

Internetové stránky dopravného úradu: www.nsat.sk

Novák, A., Jůn F., Škultéty F., Novák-Sedláčková, A., 2019. Measuring possible impact of GNSS interference on instrument approach on RWY 06 LZZI, In: Perner's Contacts [electronic], ISSN 1801-674X (online). s. 59-69

Novak, A., Mrazova, M., 2015. Research of physiological factors affecting pilot performance in flight simulation training device. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 17.3, 103-107.

Novák, A., Škultéty F., Kandra B., Ľusjak T., 2018. Measuring and testing area navigation procedures with GNSS, In: 19th International Scientific Conference - LOGI 2018 - London: Édition Diffusion Presse Sciences, 2018. - s. 1-8.

Rozhodnutie č. 2/2019 zo 14.11. 2019, ktorým sa určujú podmienky vykonania letu lietadlom spôsobilým lietať bez pilota a vyhlasuje zákaz vykonania letu určených kategórií lietadiel vo vzdušnom priestore Slovenskej republiky, Dopravný úrad.

Vykonávacie nariadenie komisie (EÚ) 2019/947 z 24. mája 2019 o pravidlách a postupoch prevádzky bezpilotných lietadiel, EURÓPSKA KOMISIA