

---

## EDITORIAL BOARD

---

### Head of the editorial board

**prof. Ing. Antonín Kazda, PhD.**  
University of Žilina,  
The Slovak Republic

### Editor in chief

**doc. Ing. Martin Bugaj, PhD.**  
University of Žilina,  
The Slovak Republic

### Members of editorial board

**prof. Ing. Dušan Kevický, PhD.**  
University of Žilina,  
The Slovak Republic

**prof. Ing. Ján Pila, PhD.**  
Silesian University of Technology,  
Poland

**prof. dr. sc. Ivica Smojver**  
University of Zagreb,  
Croatia

**prof. Ing. Andrej Novák, PhD.**  
University of Žilina,  
The Slovak Republic

**doc. Ing. Jaroslav Juračka, PhD.**  
Institute of Aerospace Engineering,  
Brno, The Czech Republic

**assoc. prof. Jacek Buko, PhD.**  
University of Szczecin,  
Poland

**prof. Dr. Obrad Babic**  
University of Belgrade,  
Serbia

**prof. Dr. Johan Wideberg**  
University of Sevilla,  
Spain

**assoc. prof. Ing. Anna Stelmach** Warsaw  
University of Technology,  
Poland

**prof. dr. sc. Sanja Steiner**  
University of Zagreb,  
Croatia

**Richard Moxon**  
Cranfield University,  
United Kingdom

**prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.**  
Czech Technical University in Prague,  
The Czech Republic

**prof. Dr. habil. Jonas Stankunas**  
Gediminas Technical University Vilnius,  
Lithuania

**Dr. Francisco García Benítez**  
University of Seville,  
Spain

**prof. Dr. Romana Sliwa**  
Rzeszow University of Technology,  
Poland

**doc. Ing. Jakub Kraus, PhD.**  
Czech Technical University in Prague,  
The Czech Republic

**Dr.h.c. doc. Ing. Stanislav Szabo, PhD.**  
**MBA, LL.M**  
Technical University of Košice,  
The Slovak Republic

**doc. JUDr. Ing. Alena Novák Sedláčková,**  
**PhD.**  
University of Žilina,  
The Slovak Republic

**assoc. Prof. Dr. Radosav Jovanović**  
University of Belgrade,  
Serbia

**prof. Ing. Anna Tomová, CSc.**  
University of Žilina,  
The Slovak Republic

---

## REGISTER

---

### **VYUŽITIE ÚDAJOV DPZ PRE ZACHOVANIE FUNKCIÍ LESA**

*THE USE OF REMOTE SENSING DATA TO PRESERVE FOREST FUNCTIONS*

**3**

*Bobál, P., Hilbert, R., Sunega, R., Mišovič, T., Gemela, B.*

---

### **VÝCVIK PILOTOV BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV**

*UNMANNED AERIAL VEHICLE PILOT TRAINING*

**8**

*Kováčiková, K., Kandra, B., Kováčiková, M.*

---

### **POŽIADAVKY NA HARMONIZÁCIU ÚDRŽBY UL'TRALAĤKÝCH LIETADIEL**

*REQUIREMENTS FOR HARMONISATION OF ULTRALIGHT AIRCRAFT MAINTENANCE*

**12**

*Škultéty, F., Čerňan, J., Janovec, M., Chodelka, F.*

---

### **NÁVRH ZDOKONALENIA OVLÁDACÍCH PRVKOV SIMULÁTORA ZLÍN**

*DESIGN FOR IMPROVEMENT CONTROL SYSTEMS OF THE ZLÍN SIMULATOR*

**18**

*Janovec, M., Materna, M. Pecho, P.*

---



# VYUŽITIE ÚDAJOV DPZ PRE ZACHOVANIE FUNKCIÍ LESA

## THE USE OF REMOTE SENSING DATA TO PRESERVE FOREST FUNCTIONS

**Peter Bobál**

YMS, a. s.  
Hornopotočná 1  
917 01 Trnava  
peter.bobal@yms.sk

**Radovan Hilbert**

YMS, a. s.  
Hornopotočná 1  
917 01 Trnava  
radovan.hilbert@yms.sk

**Radovan Sunega**

YMS, a. s.  
Hornopotočná 1  
917 01 Trnava  
radovan.sunega@yms.sk

**Tomáš Mišovič**

YMS, a. s.  
Hornopotočná 1  
917 01 Trnava  
tomas.misovic@yms.sk

**Boris Gemela**

YMS, a. s.  
Hornopotočná 1  
917 01 Trnava  
boris.gemela@yms.sk

### Abstract

The forest is a natural system that fulfills different functions in relation to human society. To ensure long-term maintainability of forest functions it is necessary to monitor of forest on regular basis and subsequently to manage forests based on obtained data. Data from remote sensing are a significant resource for monitoring forests. Compared to other available methods, remote sensing has the advantage of providing contactless acquisition of data. It allows obtaining data from large areas in a short time. Technological improvement constantly brings new innovations also in the remote sensing area. There is a lot of available technologies, which are possible to use for forest monitoring as a whole or for monitoring of individual trees. This article deals with using remote sensing methods for preserving forest functions. The first part of the article is aimed at using remote sensing techniques for obtaining information about the forest. In the next part of the article most used remote sensing data sources for forest monitoring are noticed.

### Keywords

*Remote sensing, forest, forest functions, monitoring*

## 1. Úvod

Les je prírodný systém, ktorý sa riadi prírodnými zákonmi. Zároveň však ide o prírodný zdroj, ktorý človek využíva na plnenie svojich potrieb. Lesy plnia rozličné funkcie vo vzťahu k ľudskej spoločnosti. Funkciami lesov sú úžitky, účinky a vplyvy, ktoré poskytujú lesy ako objekt hospodárskeho využívania a ako zložka prírodného prostredia (Žihlavič, 2005). Vo všeobecnosti možno rozlíšiť dve hlavné funkcie lesa:

- **produkčná funkcia**, ktorá sa zameriava na tvorbu produktov, ktoré sú predmetom obchodu
- **mimoprodukčná funkcia**, zameraná hlavne na využitie schopnosti lesa chrániť iné zložky prostredia

Každý lesný porast plní viacero funkcií. Pre plnenie jednotlivých funkcií musí byť porast vhodne obhospodarován. Niektoré funkcie porastov však môžu vyžadovať aby porast ostal neobhospodarován. Obhospodarovanie lesných porastov je zabezpečené rozdelením lesov na viacero kategórií a podkategórií. Na základe prevládajúcej funkcie lesa je možné porasty na Slovensku kategorizovať nasledovne:

**Lesy hospodárske** (primárnou funkciou je produkcia dreva)

**Lesy ochranné** (hlavná funkcia spočíva v ochrane pôdy pod porastom, brehových čiar alebo nižšie položeného porastu). Patria sem:

- Lesy na mimoriadne nepriaznivých stanovištiach

- Vysokohorské lesy pod hornou hranicou stromovej vegetácie
- Lesy v pásme kosodreviny
- Ostatné lesy s prevažujúcou funkciou ochrany pôdy

**Lesy osobitného určenia.** Možno sem zaradiť:

- Lesy v ochranných pásmach vodárenských zdrojov
- Kúpeľné lesy
- Rekreačné lesy
- Poľovnícke lesy
- Chránené lesy
- Lesy na zachovanie genetických zdrojov
- Lesy určené na lesnícky výskum a lesnícku výučbu
- Vojenské lesy

## 2. Monitoring lesného porastu využitím metód DPZ

Trvalo udržateľné lesné hospodárstvo vyžaduje synoptické a pravidelne dostupné biofyzikálne a biochemické údaje o vegetácii pre priestorovo rozsiahle oblasti za dlhé časové obdobie. Jedinou možnosťou ako získať takéto údaje je využitie diaľkového prieskumu Zeme. Žiadna iná technológia nedokáže

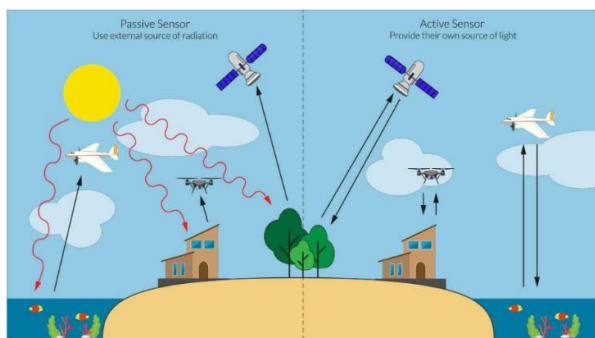
poskytnúť takéto údaje s primeranou cenou, presnosťou a úsilím (Franklin, 2001).

## 2.1. Diaľkový prieskum Zeme

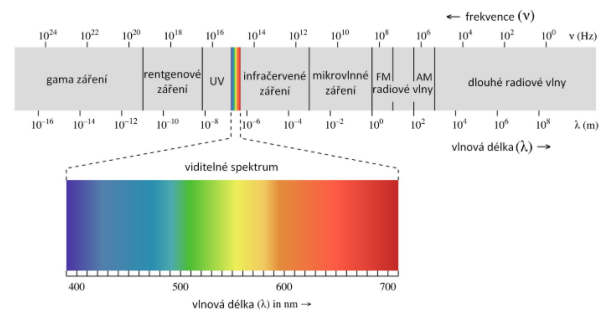
Diaľkový prieskum Zeme (DPZ) predstavuje metódu, ktorá umožňuje získavať informácie o objektoch, procesoch a javoch na diaľku, bez priameho kontaktu s nimi. Ide o skúmanie zemského povrchu, dolných vrstiev atmosféry, určitej vrstvy sedimentov a vodného stĺpca vrátane procesov a javov, ktoré v týchto miestach prebiehajú, na diaľku. K tomuto účelu sa využíva jeden alebo niekoľko intervalov vlnových dĺžok elektromagnetického žiarenia. Elektromagnetické žiarenie sa šíri priestorom prostredníctvom elektromagnetických vln a nesie v sebe informácie o objektoch od ktorých je odrážané alebo z ktorých je emitované. Elektromagnetické žiarenie emitujú alebo odrážajú všetky objekty, ktorých teplota je väčšia ako absolútna nula (Campbell, Wynne, 2011; Dobrovolný, 1998).

Postupom času sa vyvinulo množstvo zariadení, ktoré umožňujú elektromagnetické žiarenie zachytiť. Zariadenia ktoré elektromagnetické žiarenie snímajú môžu byť umiestnené na rôznych typoch nosičov. Tie možno rozdeliť do troch hlavných skupín: pozemné nosiče, letecké nosiče a satelitné nosiče. V súčasnosti sa ako nosiče najčastejšie využívajú satelity, lietadlá alebo bezpilotné lietadlá. Výber typu nosiča závisí predovšetkým na požadovanom priestorovom rozlíšení, veľkosti sledovaného územia ako aj od celkových nákladov potrebných na získanie údajov (Lillesand et al., 2015).

Podľa zdroja elektromagnetického žiarenia, ktoré je nositeľom informácie o objektoch je možné rozdeliť metódy DPZ na aktívne a pasívne. Pri pasívnych metódach DPZ je zdrojom informácie elektromagnetické žiarenie slnka alebo žiarenie emitované priamo objektami na zemskom povrchu. Úroveň odrazeného žiarenia zo slnka sa mení hlavne v závislosti od času a polohy. Žiarenie emitované samotnými objektami je ovplyvňované predovšetkým typom materiálu objektov samotných. Pri aktívnych metódach DPZ nie je zdroj žiarenia prirodzeného pôvodu ale žiarenie je umelo vysielané zo zdroja, ktorý je umiestnený na nosiči. Príkladom môže byť radar alebo lidar (Lillesand et al., 2015; Dobrovolný, 1998).



Obrázok 1: Základný princíp DPZ: aktívne a pasívne snímače (zdroj: <https://reefresilience.org>)



Obrázok 2: Elektromagnetické spektrum (zdroj: <https://kosmonautix.cz>)

DPZ predstavuje systém, ktorý pozostáva z dvoch základných subsystémov. Prvým je vyššie popísaný subsystém zberu a prenosu získaných údajov a druhý je subsystém, ktorý sa zoberá ich následnou analýzou a interpretáciou. Údaje, ktoré je možné pomocou metód DPZ získať je možné poskytovať v obrazovej podobe (napr. snímka) alebo neobrazovej forme (napr. vo forme grafu).

## 3. Využitie DPZ pri monitorovaní lesného porastu

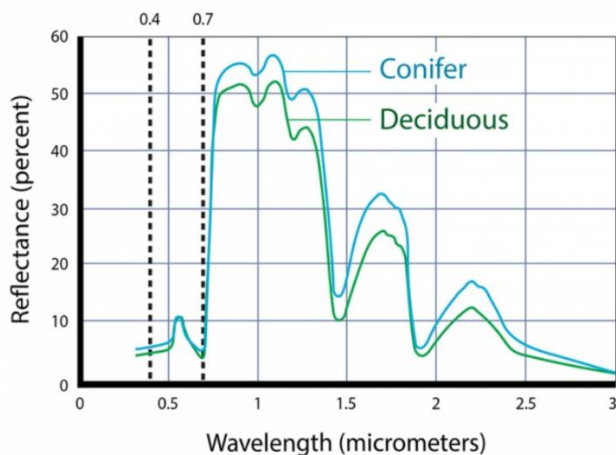
Diaľkový prieskum Zeme sa dlhodobo využíva ako účinný a efektívny nástroj pri hospodárskej úprave lesov. Jeho využitie je vhodné napr. pri lesnej inventarizácii, monitorovaní charakteristík lesných porastov, monitorovaní zdravotného stavu vegetácie, lesnom tematickom mapovaní, atď. Slovensko patrí medzi najzalesnenejšie krajiny európskej únie. Lesný porast sa nachádza takmer na každej snímke vytvorenej prostredníctvom DPZ. Na snímkach lesný porast vo väčšine prípadov vytvára homogénne plochy, ktorých príkladom sú monokultúry ihličnatého a listnatého lesa.

Pri monitorovaní lesného porastu využitím DPZ je dôležité poznať spektrálne chovanie vegetácie. Odlišný lesný porast môže vykazovať odlišné spektrálne chovanie avšak vo všeobecnosti vykazuje určité spoločné črty, ktoré sa dajú označiť pre vegetáciu (lesný porast) za typické. Spektrálny prejav lesného porastu je výsledkom odrazových a emisných vlastností rôznych častí porastu a prostredia okolo neho ale aj pod ním. Vo väčšine prípadov najdôležitejšiu úlohu zohráva odrazivosť listov porastu. Spektrálne vlastnosti listov určuje ich bunková tekutina, celulóza, tuky, lignín, proteíny, cukry a oleje. Odrazivosť povrchu listov taktiež závisí od uhla dopadu elektromagnetického žiarenia (Halounová, Pavelka, 2005; Dobrovolný, 1998).

Priebeh krivky spektrálnej odrazivosti vegetácie je možné rozdeliť na 3 oblasti:

- oblasť pigmentačnej absorpcie ( $0,4 \mu\text{m} - 0,7 \mu\text{m}$ ) – v tejto oblasti zohráva najdôležitejšiu úlohu obsah pigmentačných látok a to predovšetkým chlorofyl a karotény.
- oblasť bunkovej štruktúry ( $0,7 \mu\text{m} - 1,3 \mu\text{m}$ ) – najdôležitejším faktorom ovplyvňujúcim odrazivosť v tejto oblasti je morfológická štruktúra listov. Odrazivosť tejto časti spektra sa využíva hlavne na hodnotenie miery hustoty vegetácie ale taktiež k výpočtu množstva vegetačných indexov (napr. pre hodnotenie zdravotného stavu vegetácie).

- oblasť vodnej absorpcie (1,3  $\mu\text{m}$  – 3,0  $\mu\text{m}$ ) – odrazivosť v tejto oblasti je nepriamo úmerná obsahu vody v listoch. Lokálne maximá odrazivosti sa vyskytujú vo vlnových dĺžkach 1,6  $\mu\text{m}$  a 2,2  $\mu\text{m}$ .



Obrázok 3: Spektrálne chovanie ihličnatého a listnatého lesného porastu (zdroj: <https://www.e-education.psu.edu>)

Odrazivosť lesného porastu je závislá hlavne od obsahu vody. Platí to hlavne pre oblasti IR žiarenia. Vo všeobecnosti možno povedať, že s poklesom obsahu vody v listoch stromov dochádza k zvyšovaniu spektrálnej odrazivosti v oblasti viditeľného a infračerveného žiarenia. Naopak obsah vody v lesnom poraste zvyšuje hodnoty intenzity odrazeného žiarenia v mikrovlnnej časti elektromagnetického spektra. Ďalší faktorom, ktorý ovplyvňuje odrazivosť lesného porastu je aj obsah minerálov v pôde, ktoré majú vplyv na správny rast rastlín. Tento faktor sa najviac prejavuje v infračervenej časti elektromagnetického spektra. Dôležitým faktorom vplyvajúcim na odrazivosť lesného porastu je aj hustota porastu. V prípade riedkeho lesného porastu môže byť súčasťou odrazivosti vegetácie aj odrazivosť pôdy (Halounová, Pavelka, 2005; Dobrovolný, 1998).

#### 4. Najpoužívanejšie zdroje dát DPZ monitoring lesného porastu

Pri dlhodobom monitorovaní lesného porastu sa najčastejšie využívajú **optické multispektrálne systémy**. Technologické inovácie, rozvoj metód pre spracovanie dát a dostupnosť údajov za dlhšie časové obdobie zvýšilo aj potenciál týchto údajov pre monitorovanie lesného porastu. Optické multispektrálne systémy nachádzajú uplatnenie v lesníctve hlavne pri odhade poškodenia lesného porastu, monitoringu drevinového zloženia porastu, monitoringu vekovej štruktúry porastu, odhadu zásob drevín, monitorovaní rozsahu a dynamiky zmien lesných ekosystémov, atď.

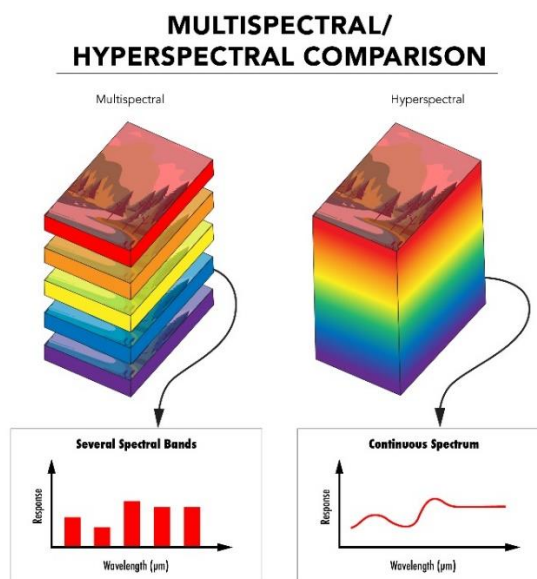
V minulosti boli k dispozícii predovšetkým optické multispektrálne snímky s priestorovým rozlíšením dosahujúcim niekoľko desiatok až stoviek metrov. Pri týchto snímkach sa zaznamenával stav rozľahlých lesných plôch kde odrazivosť reprezentovala príspevky viacerých stromov a ich okolia. Zvýšenie priestorového rozlíšenia snímkov na veľkosť menšiu alebo podobnú korune stromu (PLEIDES, IKONOS, QUICKBIRD, atď.) značne prispel k rozšíreniu možností využitia týchto údajov.

Dôležitým faktorom pre využiteľnosť optických snímkov je aj ich spektrálna rozlišovacia schopnosť. Ide o šírku a počet spektrálnych pásiem v ktorých je obrazový záznam vytváraný. Pri multispektrálnych dátach sa počet spektrálnych pásiem zvyčajne pohybuje v rozmedzí od 3 do 15. Znalosť spektrálneho chovania lesného porastu (viď predchádzajúca kapitola) nám umožňuje vybrať vhodný senzor disponujúci potrebným spektrálnym rozlíšením.

Dôležitú úlohu pri využiteľnosti optických multispektrálnych systémov zohráva aj časové rozlíšenie snímkov. Opätovné snímanie tej istej oblasti v priebehu niekoľkých dní výrazne prispieva k možnostiam sledovania vývoja a zmien na lesnom poraste. Príkladom môže byť družica SENTINEL-2, pri ktorej je možné získať snímku toho istého územia každých 5 dní, čo zabezpečujú dva satelity na obežnej dráhe.

V súčasnosti je už možné získať niektoré multispektrálne dáta bezplatne. Ide napríklad od dáta družice SENTINEL a LANDSAT, ktoré v mnohých prípadoch poskytujú dostatočný dátový zdroj pre monitorovanie lesných porastov. Tieto multispektrálne dáta disponujú priestorovým rozlíšením od 10 m a viac. V prípade potreby spracovávanie snímkov s vyšším priestorovým rozlíšením je možné využiť snímky komerčných družíc, ktorých cena závisí hlavne na dostupnom priestorovom a spektrálnom rozlíšení.

V niektorých prípadoch môžu byť rozdiely v odrazivosti lesného porastu a v odrazivosti jednotlivých stromov príliš jemné na to, aby sa dali pozorovať použitím „širokých“ multispektrálnych pásiem. Takáto informácia môže byť potrebná napríklad pre odlišenie druhov porastu, zistenie druhej bohatosti lesného porastu alebo pre získanie rôznych biochemických a biofyzikálnych parametrov porastov. V tomto prípade je vhodné použiť dáta s vyšším spektrálnym rozlíšením, hyperspektrálne dáta. **Optické hyperspektrálne systémy** sú relatívne novou, dynamicky sa značne rozvíjajúcou oblasťou DPZ. Využívajú množstvo úzkych (1 – 10 nm) a vzájomne tesne susediacich spektrálnych pásiem. Vďaka tomu je možné získať takmer spojitú spektrálnu informáciu o sledovaných objektoch (Pandey et al., 2020).



Obrázok 4: Porovnanie multispektrálnych a hyperspektrálnych dát (zdroj: <https://www.edmundoptics.com/>)

Ďalším zdrojom údajov pre monitoring lesného porastu sú **radarové dáta**. RADAR (Radio detecting and ranging) je založený na vysielaní krátkého a intenzívneho mikrovlnného signálu určitým smerom a zaznamenaní jeho odrazov od snímaných objektov. Dôležitou vlastnosťou radarových dát je to, že sú len minimálne ovplyvňované atmosférickými podmienkami (napr. oblačnosť, hmla). Aj keď spracovanie týchto dát je trochu komplikovanejšie ako pri optických snímkach, tieto dáta nachádzajú uplatnenie pri monitorovaní porastu napr. pri mapovaní veterných kalamít, lesných požiarov a iných živelných pohrôm.

Vo všeobecnosti platí, že najvhodnejšie vlnové dĺžky pre monitoring vegetácie prostredníctvom radaru sa pohybujú v rozmedzí okolo 2 až 6 cm. Na odrazivosť radarového signálu má výrazný vplyv obsah vody vo vegetácii. Lesný porast s vysokým obsahom vody odráža oveľa viac ako suchá vegetácia. Dôležitý je aj vplyv polarizácie radarového signálu, ktorá definuje orientáciu vektoru elektrickej vlny v rámci elektromagnetického žiarenia. Radarový signál s polarizáciou VV a HH preniká vegetáciou lepšie ako signál s polarizáciou VH a HV.

Na podobnom princípe ako radar je založená aj technológia **LIDAR** (Light Detection And Ranging) využívajúca laserový skener. Ide o aktívnu metódu diaľkového prieskumu Zeme, ktorá je založená na meraní vzdialenosti medzi objektom nachádzajúcim sa na zemskom povrchu a samotným skenerom. Výsledkom je množina presných georeferencovaných bodov, ktorá sa označuje ako bodové mračno. Pre využitie tejto technológie je k dispozícii pozemný laserový skener, ktorý môže byť buď stacionárny alebo mobilný, umiestnený na motorovom vozidle vrátane ťažobnej techniky. Ďalšou možnosťou je využitie leteckého laserového skeneru, ktorého nosičom je najčastejšie lietadlo (Dong, Chen, 2018).

Novinkou v oblasti laserového skenovania je multispektrálny lidar, ktorý umožňuje zaznamenať údaje vo viacerých pásmach elektromagnetického spektra. Keďže sa ale jedná o pomerne novú technológiu k dispozícii je len niekoľko štúdií, ktoré sa zaoberajú jej aplikovaním v oblasti lesníctva.

LIDAR umožňuje mapovať lesné porasty až na úroveň jednotlivých stromov. V lesníctve má táto technológia z tohto dôvodu široké využitie. Je možné ju použiť napríklad pri mapovaní priestorových zmien na porastoch, mapovanie disturbancií, určenie výšky korunovej vrstvy porastov, identifikáciu hraníc porastov, atď.

Ďalšou technológiou využiteľnou v oblasti lesníctva je **termovízia**. Je založená na monitorovaní tepelného vyžarovania objektov k čomu sa využívajú vlnové dĺžky stredného a vzdialeného infračerveného pásma elektromagnetického spektra. Nosičom pre senzory zaznamenávajúce teplotné charakteristiky porastu môžu byť satelity, lietadlá alebo bezpilotné letecké prostriedky.

Rozloženie a dynamika teploty patrí medzi ľahko identifikovateľný vonkajší prejav zmien, ktoré je možné pozorovať na lesnom poraste. Teplota patrí medzi najdôležitejšie ukazovatele stresu rastlín. Teplotné rozdiely môžu byť dobrým indikátorom výskytu odlišností a rizík v lesnom poraste. Akékoľvek poruchy v metabolizme lesného porastu, poškodenia koreňovej sústavy alebo zníženie vlhkosti sa prejavujú v prehrievaní porastu. Termovízia umožňuje tieto

charakteristiky porastu efektívne identifikovať (Jakuš, Blaženec, 2015; Bucha et al., 2014).

## 5. Záver

V súčasnosti je k dispozícii množstvo zdrojov dát z diaľkového prieskumu Zeme pre sledovanie stavu lesného porastu. Výber dát je závislý od konkrétneho účelu na ktorý majú byť použité. Častokrát je nutné kombinovať dáta z rôznych zdrojov aby sme dostali požadované informácie. Dôležité je aby používateľ poznal dáta s ktorými bude pracovať. Pre výber vhodného dátového zdroja je nutné mať znalosti o spektrálnom chovaní objektov, ktoré sú predmetom skúmania a o charaktere dostupných dátových zdrojov. Dôležitú úlohu zohrávajú samozrejme aj finančné možnosti. V dnešnej dobe je však už možné získať pomerne kvalitné údaje pre monitorovanie lesných porastov zdarma. (Sentinel, Landsat).

## PodĎakovanie

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 ITMS2014+ 313011V465), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



## Referencie

- Bucha, T. et al., 2014. Satelity v službách lesa. Zvolen: Národné lesnícke centrum
- Dobrovolný, P., 1998. Dálkový průzkum Země: digitální zpracování obrazu. Brno: Masarykova univerzita
- Campbell, J. and Wynne, R., 2011. Introduction to remote sensing. 5th ed. New York: The Guilford Press.
- Dong, P. and Chen, Q., 2018. LiDAR remote sensing and applications. New York: CRC Press.
- Franklin, S., 2001. Remote sensing for sustainable forest management. Boca Raton, FL: Lewis Publishers
- Halounová, L., Pavelka, K., 2005. Dálkový průzkum Země. Praha: Vydavatelství ČVUT
- Jakuš, R., Blaženec, M. 2015. Princípy ochrany dospelých smrekových porastov pred podkôrnym hmyzom. Ústav ekológie lesa, Slovenská akadémia vied
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Chipman, J. W. Remote Sensing And Image Interpretation. 7. John Wiley, 2015. ISBN 978-1-118-34328-9.

Pandey, P., Srivastava P., Balzter, H., Bhattacharya, B.,  
Petropoulos, G. 2020. Hyperspectral Remote Sensing:  
Theory and Applications. 1. Elsevier

Scheer, L., Sitko R. 2009. Satelitné snímky a potenciál ich  
využitia v lesníctve. *Životné prostredie*, 43(4), 220-  
223

Žíhľavník, A. 2005. Hospodárska úprava lesov: Vysokoškolská  
učebnica. Technická univerzita vo Zvolene



# VÝCVIK PILOTOV BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV

## UNMANNED AERIAL VEHICLE PILOT TRAINING

**Kristína Kováčiková**

Katedra leteckej dopravy  
Žilinská univerzita v Žiline  
Univerzitná 8215/1  
010 26, Žilina  
Kristina.kovacikova@stud.uniza.sk

**Branislav Kandra**

Katedra leteckej dopravy  
Žilinská univerzita v Žiline  
Univerzitná 8215/1  
010 26, Žilina  
Branislav.kandra@fpedas.uniza.sk

**Martina Kováčiková**

Katedra spojov  
Žilinská univerzita v Žiline  
Univerzitná 8215/1  
010 26, Žilina  
Martina.kovacikova@fpedas.uniza.sk

### Abstract

*Unmanned aerial vehicles are a part of a fast-growing aviation sector that has the potential to create new jobs as well as economic growth in the individual countries of the European Union. Unmanned aerial vehicle is a relatively new concept compared to the aircraft and it is possible to still find shortcomings in pilot training. The aim of the scientific paper is to map the current state of pilot training regarding unmanned aerial vehicles and to determine the level of demand for the implementation of an unmanned aerial vehicle flight simulator in the flight training of pilots of unmanned aerial vehicles at the Department of Air Transport at the University of Žilina.*

### Keywords

*Pilot training, UAV, unmanned aerial vehicle flight simulator*

## 1. Úvod

Bezpilotné lietadlá boli pôvodne vyvinuté pre vojenský a letecký priemysel. Môžu byť ovládané na diaľku alebo lietať autonómne prostredníctvom softvérového riadených letových plánov v zabudovaných systémoch, ktoré pracujú v spojení s palubnými senzormi a GPS (Sedlackova et al., 2020). V nedávnej minulosti boli bezpilotné lietadlá najčastejšie spájané s armádou, kde sa pôvodne používali na protiletadlové ciele, či zhromažďovanie spravodajských informácií. V súčasnosti sa používajú v širokom spektre civilných úloh od pátrania a záchran, sledovania dopravy, monitorovania počasia a hasenia požiarov až po fotografovanie a rôzne poľnohospodárske a dokonca aj donáškové služby (Kovacikova et al., 2021).

Navigačné systémy, ako napríklad GPS, sú zvyčajne umiestnené na nose bezpilotného lietadla (Novak et al., 2020). GPS umiestnené na bezpilotnom lietadle komunikuje s ovládačom a zdieľa jeho presnú polohu (Hrúz et al., 2021). Ak je k dispozícii palubný výškomer, môže poskytnúť informácie o nadmorskej výške. Výškomer tiež pomáha udržiavať bezpilotné lietadlo v určitej nadmorskej výške. Bezpilotné prostriedky môžu byť vybavené množstvom senzorov, napríklad senzory vzdialenosti (ultrazvukové, laserové), senzory letového času, chemické senzory a stabilizačné a orientačné senzory (Kim et al. 2019).

Vizuálne senzory ponúkajú statické alebo obrazové dáta, pričom RGB senzory zbierajú štandardné vizuálne červené, zelené a modré vlnové dĺžky a multispektrálne senzory zbierajú viditeľné a neviditeľné vlnové dĺžky, ako je infračervené a ultrafialové. Medzi bežné funkcie bezpilotných lietadiel patria aj akcelerometre, gyroskopy, magnetometre, barometre a GPS (He et al., 2017).

Niektoré bezpilotné lietadlá využívajú detekciu prekážok, aby sa vyhli kolíziám. Na účely pristávania používajú bezpilotné prostriedky vizuálne polohovacie systémy s kamerami

smerujúcimi nadol a ultrazvukovými senzormi. Ultrazvukové senzory určujú, ako blízko sa nachádzajú nad zemou (Kreps, 2016).

Podľa súčasnej slovenskej legislatívy pre bezpilotné lietadlá je potrebné splniť určité podmienky pre ich legálne používanie v podnikaní. Jednou z nich je, že osoba obsluhujúca bezpilotný prostriedok musí byť držiteľom povolenia na riadenie lietadla schopného lietať bez pilota (Azaltovic et al., 2020). Teoretické znalosti sú hlavnou súčasťou pre získanie preukazu pilota. Skúšky sa vykonávajú vo vopred určených termínoch na Dopravnom úrade. Skúšku je možné vykonať v slovenskom jazyku, ktorý podľa rozhodnutia č.2/2019 pozostáva z týchto predmetov: letecké právo a postupy riadenia letovej prevádzky, všeobecné vedomosti o lietadle, letové výkony lietadla a plánovanie letov, meteorológia, prevádzkové postupy, základy letu a komunikácia. Pre úspešné absolvovanie skúšky je potrebné, aby uchádzač dosiahol aspoň 75% zo všetkých predmetov. Ak uchádzač nedosiahne minimálne posudzované percento z jedného alebo viacerých predmetov, bude hodnotený ako neprospel. Z predmetov, z ktorých uchádzač nedosiahol minimálne uvažované percento, je potrebné teoretickú skúšku opakovať (Škultéty et al., 2018).

Po úspešnom absolvovaní skúšok z teórie na Dopravnom úrade je potrebné absolvovať praktickú časť skúšky, ktorá sa vykonáva s inšpektorom z Dopravného úradu. Praktická skúška je zameraná na orientáciu vo vzdušnom priestore SR, praktické znalosti pravidiel lietania v konkrétnej lokalite s využitím leteckej mapy ICAO a ovládanie bezpilotného lietadla počas letu (Škultéty, 2018). Praktické skúšky prebiehajú na Letisku Štefana Baniča v Boleráze alebo na Letisku Nitra Janíkovec (Brodniansky a Novák, 2021).

Na Slovensku je množstvo spoločností, ktoré poskytujú výcvik pilotov bezpilotných lietadiel. Katedra leteckej dopravy Žilinskej



univerzity ponúka kurz v trvaní 38 hodín, z toho 35 hodín absolvujú účastníci teóriou a následne 3 letové hodiny výcviku.

Pod pojmom stres sa vo všeobecnosti rozumie zmena psychickej záťaže a vzniká vtedy, keď na človeka pôsobí rušivý faktor (Azaltovic et al., 2020). V súvislosti s prípravou pilota na výkon jeho povolania, prípadne činností súvisiacich s lietaním, je dôležitou súčasťou príprava na záťažové situácie a ich zvládanie. Stres je prirodzená ľudská reakcia, ktorá nie je vždy negatívna. V skutočnosti je mierne množstvo stresu prospešné pre ľudský výkon (Muchiri a Kimatchi, 2016).

## 2. Cieľ a metodika

Primárnym cieľom vedeckého článku je zistiť mieru dopytu po implementácii bezpilotného leteckého simulátora do leteckého výcviku pilotov bezpilotných prostriedkov na Katedre leteckej dopravy v Žiline. Z tohto dôvodu je realizovaný primárny výskum, ktorý je zameraný na študentov Žilinskej univerzity na Katedre leteckej dopravy, ktorí absolvovali výcvik v priebehu rokov 2017-2020.

Na dosiahnutie požadovaného výsledku je potrebné použiť metódy excerpce, analýzy súčasného stavu, štatistické metódy, primárny výskum, indukciu a dedukciu. Následne sú na výpočet minimálnej vzorky použité štatistické metódy. V rámci vedeckého článku je realizovaný primárny výskum formou dotazníka, ktorý bol zaslaný respondentom elektronicky.

V roku 2021 bol celkový počet pilotov bezpilotných prostriedkov, ktorí absolvovali výcvik na Katedre leteckej dopravy v rokoch 2017-2020, 126. Minimálny počet respondentov je následne vypočítaný podľa nasledujúceho vzorca:

$$n \geq \frac{N * t_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 * \sigma^2}{(N-1) * \Delta^2 + t_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 * \sigma^2}$$

kde:  $n$  = minimálna veľkosť vzorky (minimálny počet respondentov);  $t_{1-\alpha/2}$  = kritická hodnota určená z tabuliek;  $\sigma^2$  = rozptyl vypočítaný zo štandardnej odchýlky;  $\Delta$  = rozsah maximálnej prípustnej chyby.

Výpočet ukázal, že pri 95% spoľahlivosti odhadu a 5% maximálnej prípustnej odchýlke je potrebné získať od respondentov aspoň 96 odpovedí. Pri vyhodnocovaní výskumu sú spracované odpovede od 99 respondentov, čím je zabezpečené relevantné vyhodnotenie získaných výsledkov.

## 3. Výsledky

### Úroveň dopytu po implementácii bezpilotného leteckého simulátora do leteckého výcviku pilotov bezpilotných prostriedkov

Pomocou identifikačných otázok je zistené, že z celkového počtu 99 respondentov sa výskumu zúčastnilo až 97 mužov a len 2 ženy. Najviac respondentov bolo vo veku 38-44 rokov, čo predstavovalo 43%. Naopak, najmenej respondentov bolo vo veku 18-24 rokov, z celkového počtu 99 respondentov tvorili len 4%. Aritmetickým priemerom je vypočítané, že piloti bezpilotných prostriedkov majú nalietaých priemerne 90 hodín, respondent s približne 300 hodinami má najviac

nalietaých hodín a respondent s približne 4 hodinami má najnižší počet nalietaých hodín.

Prvým výskumným cieľom je zistiť, či respondenti poznajú pojem bezpilotný letecký simulátor (Tabuľka 1). Výskumný predpoklad pre prvý výskumný cieľ je: „Viac ako 80% respondentov pozná pojem bezpilotný letecký simulátor.“

Otázka prislúchajúca k prvému výskumnému cieľu znie: „Poznáte pojem bezpilotný letecký simulátor?“

Tabuľka 1: Odpovede respondentov na otázku č. 1

Otázka	Odpoveď	Počet respondentov	%
Poznáte pojem bezpilotný letecký simulátor?	Áno	97	98
	Nie	2	2
	Spolu	99	100

Prvý predpoklad sa potvrdil, keďže 97 pilotov, čo predstavuje 98%, pozná pojem bezpilotný letecký simulátor. Na vyhodnotenie prvého predpokladu sú spracované odpovede od všetkých 99 respondentov. Identifikačnými otázkami je zistené, že tento pojem poznajú najmä muži vo veku 38-44 rokov. Dvaja respondenti tento pojem nepoznajú, sú to piloti bezpilotných lietadiel vo veku 44 a viac rokov. Ženy, ktoré sú respondentkami na dotazník, tento pojem poznajú a sú vo veku 32-44 rokov.

Výskumný predpoklad pre druhý výskumný cieľ je: „Menej ako polovica respondentov má predchádzajúce skúsenosti s bezpilotným leteckým simulátorom“. Na vyhodnotenie druhého predpokladu sú spracované odpovede od 97 respondentov, ktorí poznajú pojem bezpilotný letecký simulátor, čo je zistené prostredníctvom prvého výskumného cieľa (Tabuľka 2).

Otázka k druhému výskumnému cieľu znie: „Máte skúsenosti s bezpilotným leteckým simulátorom?“

Tabuľka 2: Odpovede respondentov na otázku č. 2

Otázka	Odpoveď	Počet respondentov	%
Máte skúsenosti s bezpilotným leteckým simulátorom?	Áno	30	31
	Nie	67	69
	Spolu	97	100

Druhý výskumný predpoklad je potvrdený, keďže len 31% (čo predstavuje 30 respondentov z 97) uvádza, že má skúsenosti s bezpilotným leteckým simulátorom. Respondenti, ktorí majú predchádzajúce skúsenosti s bezpilotným leteckým simulátorom, sú muži vo veku 32-38 rokov. Ich presný počet predstavuje 57% z počtu 30 respondentov. Zvyšných 43% obsadili muži vo veku 38-44 rokov. Skúsenosti s bezpilotným leteckým simulátorom nemá 67 respondentov. Až 69% opýtaných, ktorí nemajú skúsenosti s bezpilotným leteckým simulátorom, tvoria aj ženy vo veku 32 – 44 rokov a muži vo veku 44 a viac rokov.

Výskumným predpokladom pre tretí výskumný cieľ je zistiť, či respondenti pociťujú stres pri výcviku. Výskumný predpoklad pre tretí výskumný cieľ je: "Menej ako polovica opýtaných pociťovala stres pri výcviku na bezpilotné lietadlá." Pre vyhodnotenie uvedeného predpokladu sú spracované odpovede od 99 respondentov, čo predstavovalo celkový počet respondentov dotazníka (Tabuľka 3).

Otázka k tretiemu cieľu výskumu znie: „Pociťovali ste stres počas praktického výcviku“?

Tabuľka 3: Odpovede respondentov na otázku č. 3

Otázka	Odpoveď	Počet respondentov	%
Pociťovali ste stres počas praktického výcviku?	Áno	62	63
	Nie	29	29
	Neviem	8	8
	Spolu	99	100

Tretí výskumný predpoklad sa nepotvrdil, nakoľko viac ako polovica opýtaných pociťovala stres pri výcviku s bezpilotným lietadlom, a to 63%, čo predstavovalo 62 opýtaných z celkového počtu 99. Stres nepociťovalo 29 opýtaných, najviac mužov vo veku 32- 38. Z 97 respondentov, ktorí poznajú pojem bezpilotný letecký simulátor, až 91% uviedlo, že zaradenie leteckého simulátora do výcviku by bolo prospešné, len 3% si mysleli opak a 6 respondentov nevedelo na otázku odpovedať. Z počtu opýtaných, ktorí poznajú pojem bezpilotný letecký simulátor, si 68% myslí, že zaradenie bezpilotného simulátora do výcviku by pomohlo eliminovať stres pri praktickom výcviku. Išlo prevažne o mužov vo veku 32-44 rokov a 2 ženy v rovnakom veku.

Štvrtým výskumným cieľom je zistiť, či by respondenti používali bezpilotný letecký simulátor, ak by takáto možnosť bola počas výcviku k dispozícii (Tabuľka 4). Výskumný predpoklad pre štvrtý výskumný cieľ je: "Viac ako dve tretiny respondentov by uvítali možnosť využitia leteckého simulátora počas výcviku." Na vyhodnotenie štvrtého predpokladu sa pracovalo so vzorkou 97 respondentov, ktorí sa vedeli k danej problematike adekvátne vyjadriť. Otázka k štvrtému cieľu výskumu znie: „Ak by bolo možné pri výcviku použiť bezpilotný letecký simulátor, využili by ste takúto možnosť“?

Tabuľka 4: Odpovede respondentov na otázku č. 4

Otázka	Odpoveď	Počet respondentov	%
Ak by bolo možné pri výcviku použiť bezpilotný letecký simulátor, využili by ste takúto možnosť?	Áno	92	95
	Nie	4	4
	Neviem	1	1
	Spolu	97	100

Posledný predpoklad je potvrdený, keďže viac ako dve tretiny, 95% (predstavuje 92 respondentov), by pri výcviku využili

možnosť bezpilotného leteckého simulátora. Z celkového počtu respondentov by túto možnosť využili 2 ženy vo veku 32-44 rokov a všetci muži vo veku 18-38 rokov, ako aj 39 mužov vo veku 38-44 rokov. Tých, ktorí by pri výcviku nevyužili možnosť využitia bezpilotného leteckého simulátora, predstavujú len 4% z celkového počtu 97.

### Návrh na zlepšenie efektívnosti praktického výcviku

Na základe získaných údajov z experimentu a odpovedí respondentov je vytvorený návrh na zefektívnenie praktického výcviku pilotov bezpilotných prostriedkov na Katedre leteckej dopravy v Žiline. Vytvorený návrh implementácie simulátora môže byť užitočný pri leteckom výcviku na Katedre leteckej dopravy a na predmete „Prevádzka bezpilotných prostriedkov“.

Piloti bezpilotných prostriedkov vo výcviku sú vystavení väčšej psychickej záťaži ako pri simulovanom lete. Na základe získaných odpovedí sa predpoklad potvrdil a z výslednej vzorky 99 respondentov by až 92 využilo možnosť bezpilotného leteckého simulátora, ak by ho mohli absolvovať počas svojho výcviku. Keďže viac ako polovica opýtaných pociťovala počas výcviku stres, vytvorený návrh implementácie môže byť prínosom pre Katedru leteckej dopravy a pilotov. Zaradenie bezpilotného leteckého simulátora by mohlo mať pozitívny vplyv na celkový výcvik pilotov, dôležité je však jeho správne nastavenie.

Je dôležité poznamenať, že návrh na zaradenie bezpilotného leteckého simulátora do výcviku sa týka len pilotov bezpilotných prostriedkov, ktorí majú minimálne, resp. žiadne skúsenosti s bezpilotným simulátorom alebo praktickým letom. Ak je v skupine pilotov vo výcviku účastník, ktorý má predchádzajúce skúsenosti s lietaním alebo bezpilotným leteckým simulátorom a napriek tomu chce mať možnosť využívať bezpilotný letecký simulátor, je možné ho zaradiť medzi ostatných pilotov, ktorí sa zúčastnia simulovaných lekcí lietania.

Návrh na zaradenie bezpilotného leteckého simulátora do výcviku:

#### 1. Časť

15-30 minút potrebných na zoznámenie sa s ovládaním bezpilotného lietadla. Piloti získajú teoretické vedomosti a pokúsia sa ich aplikovať počas simulovaného letu. Inštruktor bezpilotného lietadla študenta oboznámi s ovládaním a podrobne vysvetlí priebeh letu. Po vykonaní bezpečného vzletu a pristátia môžu piloti prejsť k časti 2.

#### 2. Časť

Ak piloti bezpilotných lietadiel vedia vykonať bezpečný vzlet a pristátie, nasledujú 2 hodiny, ktoré sú venované obrazcom počas vykonávania letu. Piloti sa naučia vykonávať manévry stanovené inštruktorom, ako napríklad: obdĺžnik alebo kruh. Budú sa riadiť pokynmi inštruktora a vykonávať jednoduché úlohy, ktoré určí inštruktor. Pokúsia sa zvládnuť aj rôzne krízové situácie, ktoré môžu nastať počas letu s bezpilotným prostriedkom.

#### 3. Časť

Posledná časť výcviku na bezpilotnom leteckom simulátore bude venovaná testovaniu pilotov bezpilotných prostriedkov. Inštruktor navrhne trajektóriu letu, ktorú bude musieť pilot bezpilotného lietadla preletieť spolu s krízovou situáciou, ktorá

by potenciálne mohla nastať počas praktického letu. Tretia časť bude trvať 30 minút. Ak by sa vyskytli nejasnosti alebo otázky, pilot bezpilotného lietadla ich môže konzultovať s inštruktorom a zopakovať.

Celkový výcvik na bezpilotnom leteckom simulátore trvá 3 hodiny. Zavedenie bezpilotného leteckého simulátora do výcviku pilotov formou 3 hodín by malo potenciál a výhody k ich výcviku.

#### 4. Záver

Bezpilotné lietadlá sú súčasťou rýchlo sa rozvíjajúceho odvetvia letectva, ktoré má potenciál vytvárať nové pracovné miesta, ako aj hospodársky rast v jednotlivých krajinách Európskej únie. Bezpilotné lietadlá v porovnaní s lietadlami je relatívne nový koncept a stále je možné nájsť nedostatky vo výcviku pilotov.

V tomto vedeckom článku sa autori sa zameriavajú najmä na dôležitosť používania bezpilotného leteckého simulátora pri výcviku pilotov. Aj keď je tréner neoddeliteľnou súčasťou výcviku pilotov lietadiel ako aj pilotov vrtuľníkov, možnosť bezpilotného leteckého simulátora pri výcviku pilotov sa využíva minimálne. Piloti lietadiel a helikoptér môžu použiť simulátor na zvládnutie techniky a otestovanie predletových a letových procesov pred prvým letom. Počas výcviku pilotov bezpilotných lietadiel nemajú piloti bezpilotných lietadiel priestor na to, aby si prostredníctvom simulovaného letu osvojili citlivosť ovládania a základné návyky ovládania potrebné pre bezpečnú prevádzku bezpilotných lietadiel. Množstvo nazbieraných informácií môže pôsobiť na pilota pri výcviku ako veľký stres, preto by bolo vhodné si získané informácie osvojiť ešte pred samotným praktickým letom.

Samotný let s bezpilotným prostriedkom pôsobí na jeho pilota ako väčší stresor v porovnaní so simulovaným letom. Je teda zrejmé, že stres ako potenciálny faktor vytvárania nepriaznivej / rizikovej situácie počas samotného letu je možné eliminovať zaradením bezpilotného simulátora do pilotného výcviku. Názor na väčšiu psychickú záťaž pri praktickom lete autori overili aj prostredníctvom odpovedí, ktoré získali od respondentov prostredníctvom primárneho výskumu.

Na základe získaných odpovedí z primárneho výskumu sa potvrdilo, že so zaradením bezpilotného leteckého simulátora do výcviku súhlasí aj väčšina pilotov, ktorí už výcvik absolvovali. Prostredníctvom návrhu implementácie autori vytvorili jednotlivé časti, ktoré podrobne popisujú, ako by mohlo zaradenie leteckého simulátora do výcviku pilotov vyzeráť.

Na záver je možné zhodnotiť, že vytvorený návrh implementácie by mohol pozitívne ovplyvniť výcvik pilotov na Katedre leteckej dopravy, ako aj predmet prevádzky bezpilotných lietadiel. Piloti by si mohli osvojiť citlivosť ovládania, základné ovládanie a predísť tak možným komplikáciám pri lete. Návrh by sa mal implementovať do všetkých operácií poskytujúcich výcvik pilotov.

#### Referencie

Azaltovic, V.; Skvarekova, I.; Pecho, P.; Kandra, B.; 2020. Measurement methodology of hypoglycemia and alcohol effect on UAV piloting accuracy. *New Trends in Aviation Development*, pp.: 14-18, <doi:10.1109/NTAD51447.2020.9379081>.

Brodniansky, M.; Novák, A.; 2021. Monitoring communication design system for UAV detection. *Transport Means - Proceedings of the International Conference*, pp.: 343-349.

He, D.; Chan, S.; Guizani, M.; 2017. Communication Security of Unmanned Aerial Vehicles. *IEEE Wireless Communications*, Vol.24, Is.4, pp.: 134-139. <doi:10.1109/mwc.2016.1600073wc>.

Hrúz, M.; Bugaj, M.; Novák, A.; Kandra, B.; Badánik, B.; 2021. The Use of UAV with Infrared Camera and RFID for Airframe Condition Monitoring. *Applied Sciences*, Vol.11, Is.9, <doi:10.3390/app11093737>.

Kim, J.; Kim, S.; Ju, C.; Son, H.; 2019. Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Review of Perspective of Platform, Control, and Applications. *IEEE Access*, Vol. 1, Is. 1, <doi:10.1109/access.2019.293211>.

Kovacikova, K.; Kazda, A.; Novak, A.; 2021. Life cycle assessment of environmental impacts of transport infrastructure for evidence-based policy making. *New Trends in Aviation Development*, pp.: 113-117. <doi:10.1109/NTAD54074.2021.9746518>.

Kreps, S.; 2016. *Drones: What Everyone Needs to Know*. Oxford University Press, New York, <doi:10.1093/wentk/97801902>.

Muchiri, N.; Kimathi, S.; 2016. A review of applications and potential applications of UAV. *Proceedings of Sustainable Research Innovations Conference*, pp. 280-283.

Novák, A.; Sedláčková, A. N.; Bugaj, M.; Kandra, B.; Lusiak, T.; 2020. Use of unmanned aerial vehicles in aircraft maintenance. *Transportation Research Procedia*, Vol.51, pp.: 160-170, <doi:10.1016/j.trpro.2020.11.018>.

Sedlackova, A. N.; Kurdel, P.; Labun, J.; 2020. Simulation of Unmanned Aircraft Vehicle Flight precision. *Transportation Research Procedia*, vol.44, pp.:313-320, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.037>.

Škultéty, F.; Badánik, B.; Bartoš, M.; Kandra, B.; 2018. Design of Controllable Unmanned Rescue Parachute Wing. *Transportation Research Procedia*, Vol.35, pp.: 220-229, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.026>.



# POŽIADAVKY NA HARMONIZÁCIU ÚDRŽBY ULTRALÁHKÝCH LIETADIEL

## REQUIREMENTS FOR HARMONISATION OF ULTRALIGHT AIRCRAFT MAINTENANCE

**Filip Škultéty**

Katedra leteckej dopravy  
Žilinská univerzita v Žiline  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
skultety@fpedas.uniza.sk

**Jozef Čerňan**

Katedra leteckej dopravy  
Žilinská univerzita v Žiline  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
cernan@fpedas.uniza.sk

**Michal Janovec**

Katedra leteckej dopravy  
Žilinská univerzita v Žiline  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
janovec@fpedas.uniza.sk

**Frederik Chodelka**

Katedra leteckej dopravy  
Žilinská univerzita v Žiline  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
frederik.chodelka@fpedas.uniza.sk

**Abstract**

*The exact definition of an Ultralight Aircraft is still very diverse, especially in the European region. Internationally, there are various Ultralight Aircraft (UL) classes with nationally varying certification regulations. Accordingly, Ultralight Aircraft is used colloquially more or less comprehensively for Very Light Aircraft or Light-Sport Aircraft. However, they are subject to much stricter certification and maintenance regulations. This paper aims to compare the current legal situation in the European Union countries, extract the best practices, and propose how a new "AMC & GM" should define the laws and regulations to create the best possible environment for UL airworthiness. This paper is written based on information and directions published on the websites of the responsible authorities of the respective countries, as well as communication with these authorities and first-hand knowledge obtained by conducting numerous interviews with people in the field of UL maintenance. The results indicate how different each country regulates the maintenance and continuing airworthiness of ULs and how important a harmonised regulation would be. It is especially important to have clarity as with larger aircraft and thus also to prevent numerous accidents and hazardous situations in the future.*

**Keywords**

*ultralight aircraft, Europe, standardisation, maintenance*

**1. Úvod**

Exaktná definícia ultraľahkého lietadla (UL) je v jednotlivých krajinách Európskej únie, ale aj mimo nej stále interpretovaná veľmi rozdielne. V medzinárodnom meradle existujú rôzne triedy ultraľahkých lietadiel s národne odlišnými certifikačnými predpismi. V súlade s tým sa pojem ultraľahké lietadlo hovorovo používa viac-menej komplexne pre veľmi ľahké lietadlá alebo ľahké športové lietadlá, hoci tieto kategórie podliehajú oveľa prísnejším predpisom pre certifikáciu, údržbu a zachovanie letovej spôsobilosti. Cieľom tohto článku je analyzovať súčasnú právnu situáciu v krajinách Európskej únie, vybrať najlepšie postupy a vytvoriť východiská, aby sa v budúcnosti vytvorilo čo najlepšie prostredie pre údržbu UL. Tento článok je kreovaný na základe zdrojov informácií a zákonov zverejnených na webových stránkach zodpovedných orgánov jednotlivých krajín, ako aj na základe komunikácie s týmito orgánmi a tiež informácií „z prvej ruky“ získaných uskutočnením mnohých rozhovorov s ľuďmi z oblasti údržby UL. Výsledky naznačujú ako rozdielne jednotlivé krajiny legislatívne upravujú údržbu a zachovanie letovej spôsobilosti UL a aká dôležitá by bola harmonizovaná apretúra. Je to dôležité najmä preto, aby sa dosiahla jednoznačnosť, ako je to v prípade väčších lietadiel, ktoré podliehajú certifikácii Európskej agentúry pre bezpečnosť letectva (EASA).

História ultraľahkého letectva siaha až do 80. rokov minulého storočia. V dôsledku zvyšujúceho sa tlaku na znižovanie nákladov začali niektorí výrobcovia konštruovať veľmi ľahké lietadlá. Vzhľadom na vtedajšiu veľmi subtílnu konštrukciu a chýbajúci kontrolný orgán došlo k mnohým nehodám. Výsledkom čoho bolo zavedenie balistického padákového záchranného systému (BRS) a na druhej strane boli schválené prvé stavebné predpisy. Tieto lietadlá sa obecné nazývajú ultraľahké

lietadlá, hoci hmotnostné a rýchlostné limity sa v jednotlivých krajinách líšia. Dnes UL patria medzi najmodernejšie a najbezpečnejšie dopravné prostriedky. Rýchly progres technológií a používanie najmodernejších materiálov umožnilo ultraľahkým lietadlám dnes lietať maximálnou rýchlosťou až 350 km/h s doletom niekedy aj viac ako 1500 km, pri maximálnej hmotnosti 600 kg a spotrebou paliva len okolo 10 litrov paliva za hodinu (Smithsonianmag, 2022).

Pôvodne UL lietadlá mohli mať maximálnu vzletovú hmotnosť (MTOM) 450 kg, respektíve 472,5 kg vrátane BRS, avšak v júli 2018 bol schválený článok č. 2 ods. 8 až 11 nariadenia č. (EU) 2018/1139 o možnosti udelenia výnimky, ktorá členským štátom EASA umožnila uplatniť toto nariadenie pre lietadlá s hmotnosťou od 450 kg do 600 kg (EASA, 2018). V praxi to znamená, že členské štáty EÚ môžu povoliť na svojom území prevádzku UL s hmotnosťou do 600 kg.

*"8. (a) A Member State may decide to exempt from this Regulation the design, production, maintenance and operation activities in respect of one or more of the following categories of aircraft: aeroplanes, other than unmanned aeroplanes, which have no more than two seats, measurable stall speed or minimum steady flight speed in landing configuration not exceeding 45 knots calibrated air speed and a maximum take-off mass (MTOM), as recorded by the Member State, of no more than 600 kg for aeroplanes not intended to be operated on water or 650 kg for aeroplanes intended to be operated on water."* (EASA, 2018).

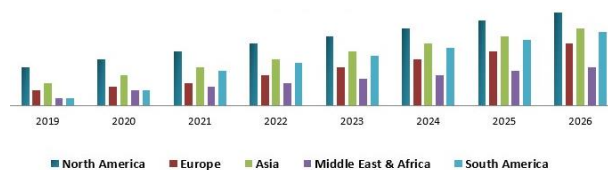
Na Slovensku sú UL definované Dopravným úradom ako letecké športové zariadenia (LŠZ) – lietadlo osobitnej kategórie určené na letecké športy, rekreačné lietanie a praktický letecký výcvik,

na ktorého konštrukciu a prevádzku sa vzťahujú osobitné podmienky určené DÚ. “ (NSAT, 2019).

Pre lietadlá kategórie lietadiel platia osobitné podmienky konštrukcie:

- s jednomiestnym alebo dvojmiestnym usporiadaním kabíny;
- s maximálnou vzletovou hmotnosťou (MTOM) do 600 kg;
- s minimálnou rýchlosťou letu v pristávacej konfigurácii alebo s merateľnou pádovou rýchlosťou nepresahujúcou 45 uzlov (83 km/h);
- vybavené úplným záchranným padákovým systémom a neschopné vzlietnuť alebo pristáť na vodnej hladine (NSAT, 2019).

Zistiť presné hodnoty celosvetového predaja UL lietadiel je veľmi časovo náročné, pretože niektoré krajiny nedisponujú týmito štatistikami. Bolo by teda potrebné získať údaje od všetkých výrobcov UL lietadiel a globálny trh tohto segmentu sa navyše často spája spolu s predajom ľahkých športových lietadiel. Avšak môžeme konštatovať stúpajúci trend (viď. obrázok 1). Spoločnosť Maximize Market Research PVT. LTD v roku 2021 odhaduje objem globálneho trhu UL lietadiel s hodnotou 6,45 miliardy amerických dolárov v roku 2026 pri priemernej medziročnej miere rastu 4,55 % počas prognózovaného obdobia (Maximizemarketresearch, 2021).



Obrázok 1: (Zdroj: Maximizemarketresearch, 2021)

## 2. Metódy

V posledných rokoch sa uskutočnilo niekoľko štúdií, ktoré sa zaoberali otázkami regulácie a údržby ľahkých, veľmi ľahkých a ultraľahkých lietadiel. Jednou z nich bola štúdia "Regulatory Options for the European Light Aircraft (ELA1)" vypracovaná spoločnosťou Hawk Information Services Limited vo Veľkej Británii. Táto spoločnosť použila nasledovné metódy na zber a spracovanie informácií:

- Prieskumy (e-mail);
- Osobné pohovory (telefonicky a osobne);
- Preskúmanie dokumentácie (uverejnená literatúra a dokumenty CAA);
- Zameranie na skupinu zainteresovaných strán (prevádzkovatelia leteckých škôl a lietadiel) (Mbachu, 2018).

Spomínanú štúdiu si nechala vypracovať EASA, pretože už vtedy sa riešila otázka o jednotnom európskom riešení údržby UL lietadiel a ich certifikačných a údržbových predpisoch. Keďže EASA od roku 2010 neurobila žiadne významné zmeny, následné štúdie sa neuskutočnili a informácie v danej veci zostali na úrovni roku 2010, kedy bolo analyzovaných len osem krajín, a to prevažne zo západnej Európy. Krajiny, kde UL lietanie nie je až tak rozvinuté neboli zastúpené. Napriek tomu táto štúdia má

veľmi dobrú prepracovanú metodiku s rôznymi predpismi a zákonmi krajín a slúžila ako vzor pre našu prácu.

Cieľom tejto práce bolo vypracovať návrh harmonizovaného prístupu k údržbe UL lietadiel. Ďalšou ambíciou je v budúcnosti vytvoriť databázu členských krajín EÚ, ktorá bude obsahovať prehľadné informácie o národných predpisoch a nariadeniach upravujúcich riadenie údržby a zachovanie letovej spôsobilosti UL lietadiel. Ambíciou bude tiež poukázať na skutkový stav, ktorý je aktuálne v jednotlivých členských krajinách. Okrem toho by táto databáza mohla pomôcť pilotom či majiteľom UL lietadiel nájsť informácie o prevádzke, stavbe či licencovaní UL lietadiel.

### 2.1. Zber údajov

Kontaktovaním všetkých úradov civilného letectva v Európskej únii, leteckých škôl s UL a vykonaním mnohých rozhovorov s rôznymi zainteresovanými stranami sme sa pokúsili získať informácie o piatich hlavných témach:

- Požiadavky na registráciu UL a letovú spôsobilosť;
- Údržba a zachovanie letovej spôsobilosti;
- Zákony ovplyvňujúce údržbu a registráciu v ich krajine;
- Dôsledky nesúladu.

Z e-mailov prijatých od CAA sme zhromaždili najdôležitejšie informácie a zapísali ich vo forme tabuľky. Táto tabuľka má slúžiť ako prehľadná prezentácia podmienok pre UL príslušných krajín. Tabuľka bola navrhnutá podobne ako tabuľky v Hawk Information Report z roku 2010 s tým rozdielom, že sme vynechali menej dôležité informácie a tabuľku aktualizovali pre rok 2022. Informácie z rozhovorov so zainteresovanými stranami boli dôležité najmä pre zlepšenie alebo predefinovanie zákonov, obmedzení a nariadení využívaním informácií z prvej ruky a osobných názorov ľudí v danej oblasti.

Množstvo noriem a postupov pre údržbu UL je tiež daných priamo výrobcami drakov, motorov a systémov lietadiel. Tieto obmedzenia sú stanovené na základe konkrétneho modelu lietadla. Preto sme sa rozhodli porovnať len právne požiadavky jednotlivých štátov upravujúce:

- počiatočnú letovú spôsobilosť a registrácia;
- stavbu UL lietadiel (homebuilt aircraft/kit);
- zachovanie letovej spôsobilosti;
- licencovanie a prevádzka.

## 3. Výsledky

Po porovnaní získaných a vyššie uvedených informácií sme sa rozhodli vypracovať nasledujúcu navrhovanú tabuľku, ktorá by mohla slúžiť ako návod pre členské krajiny EÚ. Kvôli dostatočnej prehľadnosti sme sa nezaoberali drobnými diskrepanciami, ako je to vo špecifických prípadoch pretože existujú rôzne lietadlá, ktoré si vyžadujú špeciálny prístup k údržbe a každá krajina môže mať rôzne druhy týchto lietadiel (najmä amatérske stavby rôznych prototypov). Hydroplánmi s MTOM do 650 kg sme sa nezaoberali.

Text zvýraznený sivou farbou predstavuje nové návrhy na zmeny, ktoré zatiaľ neexistujú a ktoré sa ukázali ako najvhodnejšie riešenia z hľadiska najvyšších bezpečnostných štandardov.

Tabuľka 1: Sumarizačná tabuľka navrhovaných požiadaviek pre úpravu UL lietania v rámci EÚ

Počiatočná letová spôsobilosť		Zachovanie letovej spôsobilosti	
Oficiálne označenie	Ultraľahké lietadlo / Ultralight Aircraft	Platí predĺženie platnosti „C of A“ (osvedčenie o letovej spôsobilosti) alebo povolenie?	✓
Osobitné požiadavky na lietadlo	zápis lietadla do registra lietadiel, osvedčenie o letovej spôsobilosti, typový certifikát, letová príručka, príručka údržby, lietadlová kniha	Frekvencia revalidácie	ročne / polročne (v závislosti od doby letu za posledných 12 Mesiacov)
Triedy UL lietadiel	-	Údržba majiteľom	✓
MTOM (max. vzletová hmotnosť)	600 kg / 650 kg (hydroplán)	Harmonogram údržby	✓
Právna zodpovednosť za prevádzku	Národne schválené Združenie / Organizácia	Kto určuje plán údržby?	Výrobca / schválená organizácia v rámci „European database of design standards“
Design Organisation Approval (DOA) / Production Organisation Approval (POA) požadovaný?	X / X Alternatívne schválenie zodpovedným orgánom alebo CAA	Povinná lietadlová kniha	✓
Stavebné predpisy	Aplikované podľa EASA database of design standards	<b>Letecký výcvik a licencovanie</b>	
Certifikácia	Zodpovedný úrad schválený EASA	Preukaz spôsobilosti pilota	LAPL (A)
Požiadavka BRS	✓	Kto vydáva licenciu?	Schválené združenie / organizácia
Vlastné licencovanie (prevádzkovateľ)	X	Kvalifikácie pre rôzne UL?	X
Osvedčenie o letovej spôsobilosti	✓	Platnosť licencie	1 alebo 2 roky (v závislosti od času letu – viac nižšie)

Vydaný TC (Typový certifikát) / STC (doplnkový TC)	✓ / viac nižšie	Podmienky	VFR deň
Rádiostanica	✓	Teoretická skúška a počet vyučovacích hodín	✓ / 25 (delené počtom predmetov)
Rozdiel medzi továrenskou a vlastnou výrobou (stavebnica)	✓ (žiadne obmedzenia)	Minimálny rozsah letového výcviku	25h (5 h solo) Min. jeden let 200 km+ s minimálne dve pristátia na iných letiskách
Nekvalifikovaný import UL	X	Minimálny nálet na prepravu pasažierov	+ 5h
Osvedčenie o súlade so životným prostredím	X	Požiadavky na zdravotnú spôsobilosť	✓
Národná registrácia ultralightov	✓	Prevádzka regulovaná úradom/organizáciou ?	✓
Normy vykonávanie údržby	✓	Minimálny vek na letecký výcvik	17 na začiatok výcviku 18 na vydanie preukazu
Predpisy na zachovanie letovej spôsobilosti	✓	Vyžaduje sa povolenie pre zahraničných pilotov?	X
Jednomiestna deregulovaná trieda	X	Požiadavka na minimálny stav paliva	X
Povolené ultraľahké vetrone	✓	Je možný prenájom UL?	✓
Dohľad nad údržbou	✓		

Nasledujúce podkapitoly obsahujú zdôvodnenie nášho návrhu, ktorý sme interpretovali vo vyššie uvedenej sumarizačnej tabuľke.

### 3.1. Oficiálne označenie (*ultralight definition*)

Označenie ultraľahké lietadlo (*Ultralight Aircraft*) pomenúva motorové lietadlo ťažšie ako vzduch, ktoré registrované v gescii národného úradu alebo poverenej organizácii jednotlivej krajiny a má hmotnosť do 600 kg. Samozrejme by bol akceptovaný aj iný názov ako napr. „*Microlight*“ alebo úplne nové označenie, treba však podotknúť, že výraz „*Ultralight*“ sa už používa vo väčšine členských štátov EASA.

### 3.2. Osobitné požiadavky na UL lietadlo

Medzi špeciálne požiadavky patria osobitné dokumenty, ktoré musia byť počas letu na palube, ale aj zvláštne vybavenie lietadla. Osobitnými požiadavkami, ktoré považujeme za zbytočné a sú príliš reštriktívne je napríklad požiadavka na farebnú kombináciu, ktorá existuje napríklad v Dánsku. Medzi doklady, ktoré je potrebné mať na palube lietadla patrí osvedčenie o registrácii, osvedčenie o letovej spôsobilosti, typové osvedčenie, letová príručka a lietadlová kniha. Ak by sa

lietadlo malo používať na prevádzku v riadenom vzdušnom priestore či medzinárodné lety, malo by byť vybavené leteckou rádiostanicou, odpovedačom sekundárneho radaru (SSR) a minimálne prenosný núdzový vysielateľ polohy (ELT).

### 3.3. Triedy UL lietadiel

Ak sa aplikuje všeobecná definícia vymedzujúca termín ultraľahké lietadlo, rôzne triedy UL sú v mnohých prípadoch neodôvodnené. (viď. francúzsky predpis, kde boli *microlighty* rozdelené do 6 tried a na UL letúny sa viaže trieda 3). Ak by sa ML premenovali na UL, musel by sa nájsť nový názov pre ostatných 5 tried, napr. všeobecne letecké športové zariadenia.

### 3.4. MTOM

Cieľom EASA je nájsť jednotné riešenie, ktoré bude možné aplikovať vo všetkých členských štátoch. Preto odporúčame stanoviť MTOM na 600 kg, podobne ako je to v súčasnosti vo viacerých krajinách EÚ a rovnako ako aj pre kategóriu LSA. Zavedenie jednotných štandardov by navyše zjednodušilo stavebné normy a predpisy upravujúce požiadavky na certifikáciu UL lietadiel.



### 3.5. Právna zodpovednosť za prevádzku

Právnu zodpovednosť môžu naďalej vykonávať schválené združenia a organizácie prostredníctvom CAA, ako je to vo väčšine krajín. Je však vhodné zabezpečiť, aby nebolo príliš veľa organizácií, ktoré zastrešujú UL. Ak je združenie priveľa, môžu byť neobozretní pri plnení svojich úloh a interných predpisov, čoho výsledkom môže byť zníženie bezpečnosti. Príliš veľa schválených organizácií by tiež mohlo sťažiť kontrolu CAA. Najmä v krajinách s nízkym počtom UL pilotov by takéto združenia nemali byť viac ako dve, pretože sa potom zníži aj počet členov a budú sa musieť optimalizovať náklady. To môže mať dopad na bezpečnosť.

### 3.6. DOA / POA

Aj keď niektoré krajiny vyžadujú od výrobcov platné Povolenie organizácie na projektovanie (DOA) a Povolenie organizácie na výrobu (POA) ako alternatíva k nim by bolo možné získať súhlas od zodpovedného orgánu alebo CAA. Harmonizácia v tejto veci nie je potrebná.

### 3.7. Stavebné predpisy/normy

Niektoré krajiny umožňujú výrobcovi vybrať si, podľa ktorých stavebných noriem sa budú riadiť, niektoré povoľujú napríklad nemecké LTF-UL, české U-2 alebo iné. Riešením by bola európska databáza povolených noriem, za ktorú by bol zodpovedný európsky orgán (napr. EASA) alebo schválená organizácia. Možnosťou by bolo aj zjednotenie s americkými normami alebo ich zaradenie do databázy, keďže v súčasnosti je stále problematické registrovať americké lietadlá v Európe a naopak.

### 3.8. Požiadavka BRS

Pretože technológia balistických záchranných systémov sa v posledných rokoch mimoriadne rozvinula, nie je dnes obťažné nájsť systém BRS, ktorý je vo finančných možnostiach majiteľov UL lietadiel. Okrem toho existuje veľa výrobcov, ktorí predávajú výlučne svoje lietadlá vybavené s takýmito systémami, čo má pozitívny vplyv na ich predaj. Požiadavka na povinného vybavenia BRS by mala jednoznačne pozitívny vplyv na bezpečnosť UL lietania.

### 3.9. Vlastné licencovanie (prevádzkovateľ)

Vlastná certifikácia pre počiatočnú letovú spôsobilosť by bola v zásade možná, ale vo väčšine krajín by sa najprv musel pre tento proces vytvoriť legislatívny rámec. Keďže v každej krajine existujú schválené organizácie a združenia, samocertifikácia je dosť neodôvodnená.

### 3.10. Osvedčenie o letovej spôsobilosti

Osvedčenie o letovej spôsobilosti by malo byť povinné rovnako ako predĺženie platnosti osvedčenia. Treba však rozlišovať medzi ročnou a polročnou revalidáciou. Osvedčenie o letovej spôsobilosti by sa malo po roku obnoviť alebo ak bol posledný let pred viac ako 9 mesiacmi, malo by sa pred ďalším letom vykonať predĺženie platnosti. Najneskôr po 12 mesiacoch by malo mať každé UL lietadlo revalidáciu letovej spôsobilosti. Prevádzkovateľ lietadla zodpovedá za prevádzkovanie lietadla v súlade s jeho osvedčením letovej spôsobilosti a za vykonávanie

ostatných činností, ktoré súvisia so zachovaním alebo obnovením letovej spôsobilosti lietadla a s jeho údržbou. Osvedčenie o overení letovej spôsobilosti sa nevydá ani nepredfízi, ak existuje dôkaz alebo náznaky, že lietadlo je nespôsobilé na let.

### 3.11. TC a STC

Typové osvedčenie (TC) by mal vydať schválený orgán na národnej úrovni za podmienky schválenia stavebnej normy. Doplnkový typový certifikát (STC) môže, ale nemusí byť vystavený na jednotlivé časti. Malo by však ísť len o podstatné časti, ktoré ovplyvňujú letové vlastnosti a bezpečnosť konštrukcie. Zmenu konštrukcie alebo výstroja lietadla v prevádzke, ktoré nie sú v súlade s typovým osvedčením lietadla, možno vykonať len so súhlasom s poverenou organizáciou.

### 3.12. Letecká rádiostanica

Ako je uvedené v podkapitole 3.2, letecká rádiostanica by mala byť povinná len pri lietaní v riadenom vzdušnom priestore a pri medzinárodných letoch.

### 3.13. Rozdiel medzi továrenskou a vlastnou výrobou (homebuilt aircraft/kit)

Príslušný úrad vydá osvedčenie letovej spôsobilosti lietadla po overení, že pre lietadlo bolo vydané typové osvedčenie, po vykonaní letovej skúšky a po kontrole úplnosti predpísaných dokladov. Lietadlám, ktoré nespĺňajú tieto podmienky, lietadlám individuálne skonštruovaným alebo dovezeným, pre ktoré sa nevydáva typové osvedčenie, sa môže osvedčenie letovej spôsobilosti lietadla vydať iba v prípade, ak sú v ňom vyznačené prevádzkové obmedzenia v súlade s predpismi pre príslušnú kategóriu lietadiel a druh prevádzky.

### 3.14. Nekvalifikovaný import UL

V prípade trvalého prevodu lietadla od jedného vlastníka alebo prevádzkovateľa na druhého v rámci dvoch členských krajín EÚ, odovzdávajúci vlastník alebo prevádzkovateľ zabezpečí, aby sa takisto previedli záznamy o zachovaní letovej spôsobilosti. Vďaka harmonizovaným pravidlám pre osvedčenie o letovej spôsobilosti, ako aj schvaľovaniu návrhov a jednotnej MTOM by malo každé UL lietadlo v EÚ spĺňať rovnaké špecifikácie. Dovoz by sa mal týkať len opätovnej registrácie lietadla do registra inej krajiny.

### 3.15. Osvedčenie o súlade so životným prostredím

Splnenie požiadaviek ochrany životného prostredia pred hlukom a emisiami zo znečisťujúcich látok z lietadiel ustanoví všeobecne záväzný právny predpis, ktorý vydá príslušný úrad. Vzhľadom na nízku hlučnosť, nízku spotrebu paliva a budúci trend elektromotorov by certifikát environmentálnej zhody pre UL nemal znamenať komplikácie pri certifikácii.

### 3.16. Národná registrácia ultralightov

UL by mali byť naďalej registrované na národnej úrovni, aby EASA nemala priamy dohľad nad týmito lietadlami. Registráciu UL lietadiel by mali mať naďalej v gescii schválené združenia



a organizácie, ktoré by boli pod priamym dohľadom národných leteckých úradov.

### 3.17. Normy vykonávanie údržby

Vzhľadom na stavebné štandardy opísané v 3.7, ktoré by sa schvaľovali cez európsku databázu by boli veľmi užitočné aj rámcové štandardy na riadenie systémov údržby. Znamenalo by to, že by sa museli dodržiavať predpísané postupy definované výrobcom lietadla prípad jednotlivých komponentov lietadla.

### 3.18. Dohľad nad údržbou

Požiadavky na dohľad nad údržbou, konkrétne potreba vykonávať interný alebo externý audit kvality či ostatné kontroly je potrebné nastaviť v rozumnej miere. Zachovanie letovej spôsobilosti lietadla je dôležité pre bezpečnosť rovnako ako skutočná údržba tohto lietadla. Ak sa niektoré povinnosti zachovania letovej spôsobilosti nebudú plniť správne, existuje riziko, že sa nebude vykonávať potrebná údržba lietadla v plnom rozsahu. Aby bolo možné získať určitý stupeň dôvery v kompetenciu poverenej osoby pri plnení týchto úloh údržby je potrebné stanoviť základné zásady, ktoré musí technik dodržať v týchto oblastiach:

- spôsobilosť a zodpovednosť,
- vykonanie údržby a vedenie záznamov.

### 3.19. Vykonávanie údržby prevádzkovateľom

Prevádzkovateľ (majiteľ) lietadla zodpovedá za prevádzkovanie lietadla v súlade s jeho osvedčením letovej spôsobilosti a za vykonávanie ostatných činností, ktoré súvisia so zachovaním alebo obnovením letovej spôsobilosti. Ako je tomu dnes, údržbu by mali mať možnosť vykonávať majitelia lietadla. Existujú však rôzne rozsahy údržby s rôznou náročnosťou a požiadavkami na prax. V niektorých krajinách vám stačí potrebné „know-how“, ktoré nemusíte nikde preukazovať. V iných musíte byť členom jednej z asociácií schválených národným CAA, aby ste mohli vykonávať údržbu lietadiel. V niekoľkých ďalších krajinách je povinný výcvik technikov údržby spojený so skúškami, ktoré musíte absolvovať. Túto oblasť je potrebné vnímať veľmi obozretne, a to najmä z dôvodu zachovania čo najvyšších bezpečnostných štandardov pri čo najpriateľnejšej forme riadenia údržby pre prevádzkovateľov UL lietadiel.

## Záver

Ambíciou tohto článku bolo poukázať na súčasný stav a priniesť východiská pre budúci návrh jednotného európskeho štandardu riadenia údržby a letovej spôsobilosti pre ultraľahké lietadlá. Dá sa konštatovať, že touto prácou bol vytvorený teoretický rámec tohto štandardu s jednotlivými špecifikáciami. Sumarizačná tabuľka reprezentuje 46 oblastí a ich možné unifikované znenie ako by mohlo byť UL lietanie regulované. Ku každému dôležitému bodu sú viazané nasledovné podkapitoly, v ktoré objasňujú konkrétne návrhy.

Navrhované body posudzovania údržby a letovej spôsobilosti by mali mať pozitívny vplyv na bezpečnosť UL lietania. V súčasnej fáze je však toto odvetvie letectva veľmi fragmentované, najmä pokiaľ ide o predpisy na vnútroštátnej úrovni. Našou hlavnou úlohou bolo poukázať na tento fakt a vytvoriť východiská pre

budúcu európsku harmonizáciu. Ďalšia práca sa bude orientovať na vytvorenie medzinárodnej databázy a na riešenia s predpokladanými prínosmi v budúcnosti.

## Referencie

- Bugaj, M., et al., 2019. Analýza procesov údržby lietadiel. In: . Aero-journal: Scientific Journal of Air Transport Industry 1/2019, s. 12-16. ISSN 1338-8215.
- EASA, 2018. Opt-Out Article 2(8) to 2(11). [Dostupné online] Available at: <https://www.easa.europa.eu/opt-out-article-28-211>
- Kandera, B., Badánik, B. 2011. Zvyšovanie bezpečnosti všeobecného letectva s využitím mobilných protizrážkových systémov. Horizonty dopravy. ISSN 1210-0978.
- LTF-UL, 2003. German Civil Airworthiness Requirements (up to 472,5kg MTOW) – stavebný predpis.
- Maximizemarketresearch. 2021. Global Ultralight Aircraft Market worth US\$ XXX Mn by 2026. [Dostupné online] Available at: <https://www.maximizemarketresearch.com/global-ultralight-aircraft-market/>
- Mbachu, C., 2018. 6 Methods of Data Collection. [Dostupné online] Medium. Available at: <https://callygood.medium.com/6-methods-of-data-collection-e946e993b930>
- NSAT, 2019. Lietajúce športové zariadenia. [Dostupné online] Available at: <http://letectvo.nsat.sk/letova-sposobilost/lietajuce-sportove-zariadenia>
- Pecho, P. et al. 2016. Využitie analýzy príčin a následkov porúch v leteckej technike. Aero-Journal: international scientific journal of air transport industry 1/2016, s. 37-44. ISSN 1338-8215.
- Smithsonianmag, 2022. The Pioneering Age of Ultralights. [Dostupné online] Smithsonian Magazine. Available at: <https://www.smithsonianmag.com/air-space-magazine/pioneering-age-ultralights-180953366/>



# NÁVRH ZDOKONALENIA OVLÁDACÍCH PRVKOV SIMULÁTORA ZLÍN

## DESIGN FOR IMPROVEMENT CONTROL SYSTEMS OF THE ZLÍN SIMULATOR

**Michal Janovec**

Katedra leteckej dopravy  
Žilinská univerzita v Žiline  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
michal.janovec@fpedas.uniza.sk

**Matúš Materna**

Katedra leteckej dopravy  
Žilinská univerzita v Žiline  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
matus.materna@fpedas.uniza.sk

**Pavol Pecho**

Katedra leteckej dopravy  
Žilinská univerzita v Žiline  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
matus.materna@fpedas.uniza.sk

**Abstract**

*This article deals with possible improvements and improvements of the flight simulator Zlín, which is located at the Air Transport Department of the University of Žilina. The construction of the simulator and the basic control and display units of the simulator were made in the previous period. For the most realistic feeling of flight, it is necessary to constantly innovate and improve the simulator. The created technical improvements of the simulator control panel, the control mechanism of the lateral and longitudinal tilt, the balance control and the flaps control to this improvement of the simulator. In the article, these performed improvements of the simulator are described in detail. According to these procedures, the proposed improvements were subsequently practically performed on a simulator.*

**Keywords**

*Aircraft, Cockpit, Control, Simulation, Simulator Zlín*

**1. Úvod**

V posledných rokoch neustále stúpajú nároky na využívanie leteckých simulátorov počas výcviku leteckého personálu. Z tohto dôvodu sa kladú veľmi veľké nároky na neustále zdokonaľovanie v oblasti softvérového, ale aj hardvérového riešenia leteckých simulátorov a simulácií. V dôsledku neustáleho zlepšovania simulačného priemyslu sme dospeli do bodu, kedy je možné absolvovať pomerne veľkú časť výcviku na simulátoroch, reálne kopírujúcich či už mechanické, alebo dynamické vlastnosti lietadla počas letu a pohybu na zemi. V súčasnosti väčšina najväčších leteckých spoločností disponuje leteckým výcvikovým strediskom, kde sa nachádzajú Full Flight simulátory, na ktorých prebieha výcvik posádok pracujúcich pre konkrétnu leteckú spoločnosť.

Predložený článok sa zaoberá zdokonaľením ovládacieho panelu simulátora, ovládacieho mechanizmu priečného a pozdĺžneho sklonu, mechanizmu ovládania priečného a pozdĺžneho vyváženia a mechanizmu ovládania vztlakových klapiek simulátora Zlín. Vytvorené konštrukčné úpravy a nové návrhy ovládacích prvkov simulátora slúžia ku priblíženiu sa čo najväčšej realnosti simulácie letu.

**2. Súčasný stav riešenej problematiky**

V súčasnosti sa v civilnom aj vojenskom letectve neustále rozširuje využívanie simulačnej techniky pri výcviku. Letecké simulátory sú viacúčelové, nepohyblivé, edukačné, interaktívne zariadenia, ktoré slúžia k nácviku a zdokonaľovaniu určitých operačných postupov za letu a zemi. Hlavným cieľom leteckých simulátorov je viesť pilotov a technikov údržby lietadiel k získavaniu špecifických kompetencií a podporovať učenie objavovaním a tým zlepšovať potrebné zručnosti na výkon budúceho povolania. Simulátory poskytujú pilotom možnosť

interakcie a referencie, čím sú piloti aktívne zapojení do vzdelávacieho procesu. Podľa Aldricha (2005), úspech vzdelávacej skúsenosti na simulátore prostredníctvom simulácie závisí od správnej konfigurácie nasledujúcich troch:

- Simulačná zložka - umožňuje vytvoriť a reprezentovať skutočný svet s rozdielnymi okolnosťami a parametrami, potrebné pri výcviku pilotov, napr. predom definovanú leteckú situáciu.
- Pedagogická zložka – jednou zo základných črt pedagogickej zložky je, že je možné uplatniť koncept Learning by Doing. Piloti sa učia spôsobom robenia chýb na simulátore a následne uvažujú ako by tu situáciu vyriešili zvyčajne s pomocou inštruktora.
- Herná zložka – jednou zo základných črt hernej zložky je možnosť uplatniť koncept Learning by Fun. Herná zložka motivuje pilota počas procesu učenia, ktoré priamo ovplyvňuje jeho schopnosť učenia. Je možné si všimnúť, že pilot na základe svojich nadobudnutých vedomostí a skúseností, t. j. kompetencií, buď splní cieľ (vyhrá) alebo nespĺní cieľ (prehrá).

Praktický výcvik pilota môžeme rozdeliť na dve základné fázy a to: teoretickú výučbu a praktický výcvik. Obe sú diametrálne odlišné vo forme nadobudnutých zručností, no aj napriek tomu navzájom neodlúčiteľné. Počas teoretickej prípravy sa pilot učí letecké predpisy, meteorológiu, rádio-komunikáciu, leteckú frazeológiu, aerodynamiku, všeobecné vedomosti o lietadlách a iné teoretické základy rovnako potrebné pre prax. V praktickej časti si pilot osvojuje základné zručnosti a potrebné návyky pre vzlet, pristátie a samotný let lietadla. Táto fáza zahŕňa aj oboznámenie sa so všetkými prvkami v kokpíte vrátane

ovládania riadiacich plôch (Flight Controls: Primary Flight Controls, 2021).

## 2.1. Štruktúra leteckého simulátora

Techniky simulácie letu a technológiu, ktorá sa používa v moderných leteckých simulátoroch popisuje autor Allerton (2009). Medzi hlavné komponenty moderných leteckých simulátorov patria pohybové rovnice, aerodynamický model, model motora, dátová zbernica, model podvozku, model počasia, vizuálny model, zvykový systém, pohybový systém, prístrojový systém, navigačný systém a postupy údržby simulátora. Popis hlavných komponentov simulátora je uvedený v nasledujúcej časti článku (Allerton, 2009).

### 2.1.1. Pohybové rovnice

Sú základným komponentom leteckého simulátora. Hlavnou úlohou pohybových rovníc je modelovať dynamické vlastnosti nezávisle na type simulátora. V jednoduchosti povedané, pohybové rovnice sú špeciálne matematické funkcie, ktoré definujú všetky možné stavy simulátora, aké v priebehu simulácie môžu nastať. Systém vyberá parametre z jednotlivých častí simulátora, ako je napríklad kurz, rýchlosť atď., ktoré slúžia k matematickému riešeniu lineárneho a rotačného pohybu lietadla. V simulátoroch sa pohybové rovnice prerátavajú približne 50 až 60-krát za sekundu.

### 2.1.2. Aerodynamický model

Je to časť simulátora, kde sú definované všetky aerodynamické premenné, ktoré sú potrebné k výpočtu aerodynamických síl a momentov lietadla. Aerodynamické údaje vo forme databáz sú väčšinou získane priamo od výrobcu lietadla. Udáva ich kombináciou letových testov a testov v aerodynamickom tunely. Aerodynamický model je nosnou časťou výcviku pilota. V prípade, ak bude tento model nesprávne zadefinovaný, nastane situácia, že simulovaný model sa nebude správať ako skutočné lietadlo, čo môže mať za následok fatálne zlyhanie pilotov v praxi.

### 2.1.3. Model motora

V modeli motora sú definované základné letové parametre, charakteristiky, riadiace systémy motora. Tieto údaje poskytujú zvyčajne sám výrobca motora, ktoré definoval pomocou letových testov a charakteristik motora. Implementácia modelu motora vyžaduje prístup k premenným vypočítaných v letovom modeli. Z pohľadu dizajnéra simulátora je model motora skôr modelom dynamiky motora, než termodynamickým modelom, ktorý sa používa na odvodenie ťahu motora, prietokov paliva, tlakov a otáčok motora. Pomerne často je model motora taký detailný ako aerodynamický model. Na účely kvalifikácie simulátora bude regulačný orgán musieť vykonať rozsiahle testy režimov zlyhania motora, kedy výrobca motora musí poskytnúť tieto údaje.

### 2.1.4. Dátová zbernica

Dátová zbernica je v oblasti výroby simulátorov rozhodujúcim prvkom pre vernosť simulátora. V moderných simulátoroch sa používa skutočné prístrojové vybavenie z lietadla, pretože výroba presnej kópie pre simulačnú techniku je zvyčajne

ekonomicky náročnejšia, ako použitie reálneho prístrojového vybavenia z lietadla. Väčšina ovládacích prvkov lietadiel, ktoré využívame v simulačnej technike sú mechanické prvky. Tie poskytujú analógové dáta, ktoré je potrebné previesť na digitálny signál.

### 2.1.5. Model podvozku

Počas rolovania je podvozok neustále v kontakte so vzletovopristávacou dráhou, čo má za následok veľmi odlišnú dynamiku lietadla. Pre simulátory, ktoré slúžia aj na pozemnú prevádzku lietadla sa dodáva ďalší model, ktorý zahŕňa účinky pneumatík a podvozku. Mnohé z núdzových situácií, ktoré využívajú letové posádky, zahŕňajú incidenty počas vzletu (prasknutie pneumatík, zlyhanie motora, námraza na dráhe) a po pristávaní (zlyhanie spätného ťahu, prehriatie brzd a aquaplaning). V praxi existujú ďalšie prechody stavu tesne pred vzletom a tesne po pristávaní, kde sa aerodynamický príspevok k pohybu kombinuje s dynamikou podvozku. Okrem toho, vplyv zeme na aerodynamiku lietadla závisí od výšky lietadla nad dráhou a rýchlosťou lietadla. Tento vplyv musí byť tiež zahrnutý v aerodynamickom modeli a aj v modeli pozemnej obsluhy. Podobne aj zatáčanie pri vysokej rýchlosti na rolovacej dráhe, môže spôsobiť odieranie pneumatík, čo si vyžaduje podrobné dynamické modely kolies, brzd a riadenia predných kolies. Piloti sa musia tiež naučiť rolovať a manévrovať s veľkým dopravným lietadlom na neznámom letisku, čo môže byť napríklad v noci, alebo za zhoršených poveternostných podmienok veľmi ťažké. Následok neočakávaného vybočenia z dráhy môže byť pre leteckú spoločnosť veľmi nákladný a preto je pre pilotov vhodný práve nácvik manévrovania s lietadlom na simulátore.

### 2.1.6. Model počasia

Atmosféra má veľký vplyv na vývoj reálnej simulácie, preto je veľmi dôležité, aby boli rovnice na výpočet tlaku vzduchu, hustoty vzduchu a teploty vzduchu integrované do modelu počasia konkrétnej simulácie. Okrem týchto matematických výpočtov je veľmi dôležité zahrnúť aj výpočet vetra. Vietor má veľmi veľký vplyv na lietadlo, či už počas letu, pristátia alebo pohybu na letisku. Vietor tiež hrá dôležitú úlohu pri plánovaní letov pre prevádzkovateľov leteckých spoločností, takže model vetra musí byť trojrozmerný a musí sa meniť v čase. V dnešnej dobe sa v simuláciách používajú dva spôsoby modelovania vetra. Jeden spôsob je namodelovať správanie vetra pomocou tlakovej fronty, polohy a nadmorskej výšky alebo druhým spôsobom je získanie informácií z databáz meteorologických spoločností. Veľmi dôležitou súčasťou je modelovanie turbulencií, pretože je to najčastejší jav, s ktorým sa piloti v priebehu letu stretávajú. Zvyčajne sa turbulentné prúdenie generuje ako pseudonáhodný jav, ktorý pôsobí z ľubovoľného smeru na jednu z troch osí lietadla. Široko používané sú dva modely turbulencie, Dryden model (Beal, 1993) a model Royal Aircraft Establishment (RAE) (Tomlinson, 1975). V dôsledku veľkého počtu nehôd lietadiel z účinkov turbulencií, museli byť tieto vplyvy zapracované do výcviku na leteckých simulátoroch, či už vojenských alebo civilných pilotov. Toto je veľmi dôležitý míľnik v oblasti leteckých simulácií, ktorý už niekoľko desaťročí pomáha identifikovať nepriaznivé javy ako je strih vetra. Ďalším vplyvom, na ktorý nesmieme zabudnúť, je modelovanie potencionálne nebezpečných a rizikových javov, ako je napríklad vznik námrazy alebo silného dažďa. Vznik námrazy na lietadle môže spôsobiť zväčšenie aerodynamického odporu a tým prispieva k vzniku

turbulentného prúdenia počas každej fázy letu, čo môže mať kritické následky. Okrem modelovania týchto vplyvov, by podmienky pre námrazu mali odrážať poveternostné podmienky okolia a v prípade poľadovice, snehu alebo dažďa, by sa tieto podmienky implementovali aj do vizuálneho systému.

### 2.1.7. Vizuálny model

Vizuálny model zabezpečuje videnie sveta z pozície oka pilota v reálnom čase. Na to, aby sme zabezpečili reálne videnie sveta je potrebné nahráť do pamäte databázu objektov. Databáza sa skladá z modelu sveta, polí, letísk, vozidiel, budov, lietadiel a na generovanie týchto entít existujú rôzne štandardy, pričom OpenFlight je pravdepodobne najviac široko používaný formát. Každý objekt je zredukovaný na farebné a textúrované polygóny (zvyčajne trojuholníky), definované v súradnicovom systéme databázy. Veľmi často sú vykresľované na základe geometrickej charakteristiky, aby boli zabezpečené zobrazené detaily vykresľovaných objektov. V dôsledku zmeny polohy pilotovaného lietadla v čase sa zmení vypočítaná poloha pomocou pohybových rovníc a následne sa scéna vykreslí na prehrávané plátno alebo obrazovku. Hodnotenie kvality vizuálneho systému závisí od veľkého počtu charakteristík. Veľmi dôležitým prvkom pri simuláciách je kvalita vykresľovanej scény. Pri pridávaní ďalších detailov scény môže snímková frekvencia klesnúť pod minimálnu hodnotu pre konkrétny simulátor. Podobne, ak sa počet polygónov zníži, aby sa zvýšila rýchlosť vykresľovania, detaily scény sa môžu znížiť na neprijateľnú úroveň.

### 2.1.8. Zvukový systém

Kabína lietadla je náročné prostredie na hluk. Piloti počujú rôzne rozsahy zvukov o rozličných frekvenciách z rôznych zariadení, ako sú zvuky prúdu vzduchu, motorov, podsystemov, klimatizácie, pozemného hluku, ovládačov, rádiových signálov, navigačných prístrojov, varovaných signálov. Je potrebné, aby zvuky v simulátore sa čo možno najdôvernejšie podobali zvukom v reálnom svete. Niektoré zvuky ako napríklad rýchlosť vzduchu alebo otáčky motora sa líšia v závislosti od letových podmienok. Zvukový systém je jeden zo základných systémov simulátora, ktorý preberá vstupy z iných modulov, napríklad z modelu motora alebo z navigačného modulu. Vo všeobecnosti sa na vytváranie zvukov v leteckých simulátoroch používajú dva spôsoby. Najjednoduchšia technika je nahrávanie zvuku z reálneho lietadla pomocou vysokokvalitných nahrávačov, ktoré sú počas letu umiestnené v kabíne lietadla. Zvuky sa menia podľa rýchlosti vzduchu, nadmorskej výšky a režimu motora. Záznamy sú potom prístupné pre každú snímku na výstup pri frekvenciách 60 Hz. Zvukové signály musia byť tiež nepretržité – akékoľvek diskontinuity medzi snímkami by viedli k rušeniu, ktoré by bolo zistiteľné.

### 2.1.9. Pohybový systém

Počas simulácie očakáva pilot, že pocíti zrýchlenie, aké by mohol zažiť aj v skutočnom lietadle. Zrýchlenie sa matematicky generuje v pohybovom modeli a je prenášané z pohybovej

platformy, ktorá sa skladá minimálne zo šiestich lineárnych hydraulických členov (v prípade simulátorov Full Flight). Pri každom jednom pohybe sa platforma posunie do novej polohy, aby bolo možné replikovať pocit pohybu lietadla. Pri pohybovej simulácii sa využívajú akčné členy s veľmi vysokou odozvou, aby sa zabezpečil čo najplynulejší pohyb bez trhania. Pohybový systém sa skladá z počítačov, v ktorých sú generované matematické rovnice na ovládanie akčných členov. Tie následne menia polohu platformy na ktorej je uložený simulátor. Jeden z najdôležitejších aspektov v pohybovom systéme simulátora je bezpečnosť platformy. Kabína simulátora by sa mohla v dôsledku zlyhania pohybového systému prepadnúť o niekoľko metrov a spôsobiť vážne zranenia pilotov a inštruktorov, ktorí by sa v daný moment nachádzali na platforme. Na detekciu nebezpečných pohybov simulátora sa do systému integrujú redundantné počítače, zabezpečujúce vypnutie hydraulickej plošiny, aby sa predišlo prípadným zraneniam. Taktiež tieto počítače zabezpečujú v prípade požiaru vypnutie hydraulickeho systému, čo má za následok pokles plošiny na najnižšiu možnú úroveň. Tento pokles umožňuje včasný únik pilotom a inštruktorom z plošiny.

### 2.1.10. Prístrojový systém

Prístroje pred rokom 1980 boli palubné prístroje lietadiel ako mechanické členy, ktoré sa skladali z náročných pohybových a spojovacích mechanizmov. Po roku 1980 prešli prístrojové systémy v civilnom a vojenskom letectve na digitálne prístrojové systémy. Tieto systémy sú založené na počítačovej technológii s grafickým zobrazovaním údajov. Išlo o robustné monitory, ktoré obnovovali údaje aspoň 20-krát za sekundu. Grafický hardvér na displeji má veľmi vysokú rýchlosť kreslenia na udržanie snímkovej frekvencie a zahŕňa algoritmy vyhladzovania, ktoré vyhladzujú všetky zubaté čiary, alebo okraje pri vykresľovaní znakov a čiar. Simulátory v súčasnosti využívajú moderný počítačový procesor s nízko výkonnou grafickou kartou, ktorý je možný emulovať prístroje systémy, ktoré sa nachádzajú vo väčšine lietadiel. V súčasnosti vojenské aj civilné lietadla hlavne využívajú <sup>1</sup>Head - Up displeje a tzv. <sup>2</sup>Glass Cockpit.

### 2.1.11. Navigačný systém

Významnú časť leteckého výcviku tvorí navigačný výcvik. Letová simulácia má veľmi veľa výhod, v dôsledku toho, simulátory poskytujú rôzne stupne navigačných schopností. Pre prístrojové priblíženia sú emulované systémy <sup>3</sup>VOR, automatické vyhľadávanie smeru (<sup>4</sup>ADF) a <sup>5</sup>ILS. To si vyžaduje integráciu s rádiovými riadiacimi panelmi alebo <sup>6</sup>FMS na výber frekvencií prijímačov a aktuálnu databázu navigačných pomôcok. Okrem toho musia byť chyby spojené s týmito systémami správne modelované. Napríklad VOR pracuje v pásme veľmi vysokých frekvencií (VHF). Obdobne je potrebné modelovať falošnú indikáciu sklonu, bežné na niektorých zariadeniach ILS. Pre navigačné systémy ako VOR, inerciálne navigačné systémy (INS) a globálny polohový systém (<sup>7</sup>GPS) je potrebné simulovať okrem správnej funkčnosti aj chybové vlastnosti týchto systémov. V lietadle sú navigačné systémy integrované s FMS cez dátové

<sup>1</sup> priehľadový displej

<sup>2</sup> letecký kokpit osadený elektronickými prístrojmi a (obvykle) LCD displejmi

<sup>3</sup> VKV všesmerový rádio maják

<sup>4</sup> automatický rádio kompas

<sup>5</sup> systém pristávania podľa prístrojov

<sup>6</sup> počítač manažmentu letu

<sup>7</sup> globálny polohový systém

zbernice Arinc, ktoré je potrebné simulovať aj v leteckých simuláciách.

### 2.1.12. Údržba

Správna funkčnosť systémov v simulátore musí byť neustále kontrolovaná, aby bolo zabezpečené, že systémy pracujú v povolených medziach limitov. V prípade reálnych simulátorov, ktoré sú certifikované na výcvik leteckého personálu, musí prevádzkovateľ viesť záznamy o plánovaných a neplánovaných údržbách v údržbárskom denníku. Taktiež je potrebné vykonávať diagnostické testy, aby sme boli schopní overiť potrebné vlastnosti simulátora. Pre všetky moduly a podsystemy simulátora sú vytvorené špecifické testy, ktoré majú za úlohu overiť funkčnosť simulátora. Vizualný systém a projekčný systém sú kontrolované na zarovnanie, kde sa na detekciu posunu v optických systémoch používajú vzory obdĺžnikov a bodiek. Pre mechanické časti a akčné členy simulátora sa robia testy na opotrebenie a únavu. Takéto testy sú zvyčajne založené na počítači, kde sa iniciujú a výsledky sa porovnávajú s výsledkami z počiatočných referenčných testov. Okrem mechanických porúch môže dochádzať k zlyhaniu elektronických systémov ako sú jednotlivé snímače. Okrem toho, aby bola zabezpečená funkčnosť simulátora mal by mať vlastník simulátora vyškolený personál technickej podpory, ktorá poskytuje údržbu v prípade poruchy simulátora.

## 3. Návrh zdokonalenia ovládacích a riadiacich systémov simulátora

Simulátor Zlín je základný<sup>8</sup> CBT simulátor, ktorý je lokalizovaný na Katedre leteckej dopravy, Žilinskej univerzity v Žiline. Návrh zdokonalenia simulátora je zameraný na ovládací panel simulátora, ovládací mechanizmus priečného a pozdĺžneho sklonu, mechanizmu ovládania priečného a pozdĺžneho vyváženia a mechanizmu ovládania vztlakových klapiek. Jednotlivé návrhy sú uvedené v nasledujúcej časti článku.

### 3.1. Ovládací panel

Ovládací panel je zariadenie, ktoré je umiestnené na lietadle Zlín medzi sedadlami pilotov. Ovládací panel, ktorý sme využili pri úprave simulátora bol odstránený z lietadla Zlín 142. Ovládací panel pozostáva so šestnástich prepínačov. Prepínače nachádzajúce sa na ovládacom paneli sú dvojpohové, to znamená, že ich vieme prepnúť do dvoch základných polôh, kedy je kontakt prepínača zopnutý a obvodom preteká elektrický prúd alebo kontakt prepínača je rozpojený a obvodom nepreteká elektrický prúd. Prepínače umiestnené na ovládacom paneli simulátora Zlín slúžia k ovládaniu nasledujúcich zariadení:

- pristávacích reflektorov,
- majáku,
- osvetlenia,
- rádia,
- meniča,

- batérie,
- generátora,
- štartéra,
- odpovedača,
- letových prístrojov,
- rádiokompasu.

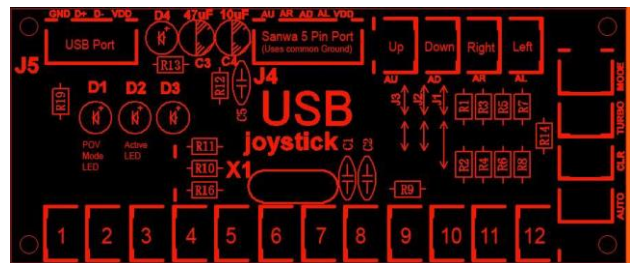
#### 3.1.1. Komponenty potrebné k ovládacímu panelu

Na prepojenie ovládacího panelu, ktorí sme demontovali z vyradeného lietadla so simulačným softvérom X-Plane, sú potrebné nasledujúce komponenty:

#### Digitálny USB Enkodér

Hlavnou úlohou enkodéra je digitalizovanie signálnych impulzov prichádzajúcich od prepínačov ovládacího panelu. Digitálny enkodér je vytvorený pomocou<sup>9</sup> CMOS technológie na doske plošného spoja o veľkosti 8,5 cm x 3,5 cm x 1 cm, ktorá slúži ako rozhranie medzi počítačom a prepínačmi umiestnenými na ovládacom paneli lietadla Zlín (Leo Bodnar Electronics, 2017).

Enkodér pozostáva z dvadsiatich dvoch portov, na ktorých sú pripojené plastové konektory Molex. Dvadsať portov enkodéra slúži na prívod vstupných signálov a dva porty slúžia ako výstup z digitálneho enkodéra. Z dvadsiatich portov umiestnených na doske plošného spoja je vyčlenených dvanásť portov, ktoré slúžia na pripojenie dvojpohových prepínačov. Na blokovej schéme na obrázku 1 sú analógové vstupy na pripojenie prepínačov označené číslami 1 až 12. Výstupné signály je možné prenášať cez USB port označený na schéme ako J5. USB port je tvorený štyrmi pinmi, kde prvý pin má označenie GND a slúži ako uzemnenie medzi jednotlivými elektrickými zariadeniami. Nasledujúce dva piny pod označením D- a D+ sú dátové piny, ktoré vytvárajú komunikačnú cestu medzi pripojenými elektrickými zariadeniami. Posledný pin má označenie VDD a slúži na pripojenie zdroju napätia o veľkosti 3,3 Voltu. Taktiež enkodér obsahuje možnosť pripojiť ako vstupné zariadenie joystick typu SANWA, ktorý je na obrázku 1 označený ako J4 a pozostáva z piatich pinov, reprezentovaných označením AU,AD,AL,AR (Leo Bodnar Electronics, 2017).



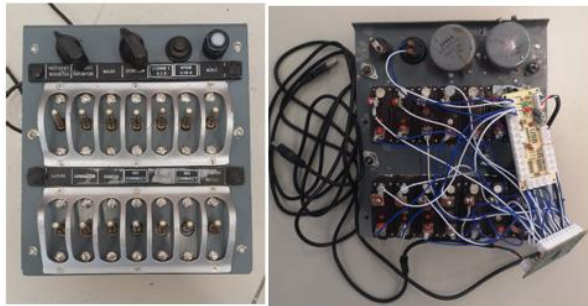
Obrázok 1: Blokovaná schéma enkodéra využívaný pri ovládacom paneli simulátora Zlín (Leo Bodnar Electronics, 2017).

V našom prípade sme odstránili jednotlivé uzemňovacie vodiče, ktoré boli upevnené ku kostre ovládacího panelu. Po odstránení sme prepojili jednotlivé prepínače novou kabelážou,

<sup>8</sup> školenie pomocou počítača

<sup>9</sup> technológia výroby logických integrovaných obvodov (čipov)

ktorá bola určená na simulačnú techniku. V následnom kroku sme novovytvorené vodiče pripojili podľa schémy zapojenia. Na jednej strane sme dvojice vodičov pripájali ku kontaktom prepínačov ovládacieho panela a na druhej strane sme prepájali káblové zväzky s portami digitálneho enkodéra pomocou plastového konektora Molex, ktorý je súčasťou balenia.



Obrázok 2: Ovládací panel lietadla Zlín.

### 3.2. Ovládací mechanizmus priečného a pozdĺžneho sklonu

Ovládací mechanizmus je zariadenie, ktorým pilot nastavuje výchylky smerových a výškových kormidiel lietadla. Vďaka týmto pohybom je možné ovládať simulátor lietadla v dvoch navzájom kolmých osiach. Ovládaciu páku, ktorú využívame v simulátore Zlín je možné reálne vidieť na modeli lietadla Zlín 142. Ovládacia páka lietadla Zlín 142 je principiálne veľmi jednoduchá pretože pozostáva len s ergonomicky tvarovanej tyče na ktorej sa nachádzajú dve tlačidlá pre ovládanie interkomu a vysielacky.

#### Snímacie elementy

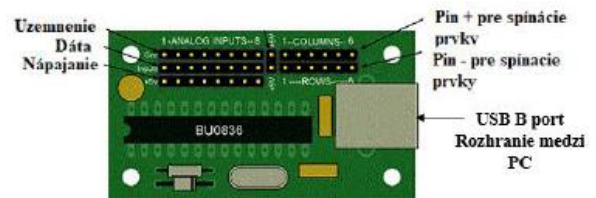
V pôvodnom návrhu bol využitý ako snímací element Allegro A1302, ktorý využíva metódu snímania magnetického poľa pomocou hallového javu. Senzor zachytáva zmenu magnetického poľa pomocou magnetu, ktorý je upevnený na oceľových tyčiach pohybového mechanizmu ovládacej páky. V našom prípade dochádzalo ku zlej indikácii magnetického poľa pomocou hallových snímačov pri krajných výchylkách ovládacej páky. Z tohto dôvodu sme vybrali ako náhradu snímacieho elementu potenciometer P260. Rozdiel potenciometra oproti hallovému snímaču je v tom, že potenciometer prevádza rotačný pohyb na zmenu elektrického odporu. V našom riešení je potenciometer pevne spojený s ovládacím mechanizmom simulátora, takže vychýlenie ovládacieho mechanizmu je prevádzané na pootočení snímacieho potenciometra.



Obrázok 3: Zmena snímacích elementov ovládacieho mechanizmu simulátora Zlín.

#### Ovládač Leo Bodnar BU0836A

Ovládač Leo Bodnar zabezpečuje prenos pohybov ovládacích prvkov a spracovanie elektrických signálov prichádzajúcich so snímacích elementov simulátora. Ovládač Leo Bodnar je tvorený ôsmymi trojkoľíkovými konektormi na prívod analógových signálov, v našom prípade na prívod signálnou z potenciometrov a taktiež obsahuje šesť dvojkoľíkových konektorov, ktoré sú určené napríklad na prenos prepínačov a tlačidiel. Blokovú schému zariadenia Leo Bodnar BU0836 aj s popisom je možné vidieť na obrázku 4.



Obrázok 4: Schéma ovládača Leo Bodnar BU0836A (Leo Bodnar Electronics, 2017).

#### Potenciometer P260

Potenciometer je základná elektrická súčiastka – regulovaný delič napätia. Potenciometer P260 je lineárny jednootáčkový potenciometer, ktorý dokáže meniť hodnotu elektrického odporu v rozsahu 10 kΩ. Potenciometer P260 je tvorený tromi prívodmi elektrických signálov.

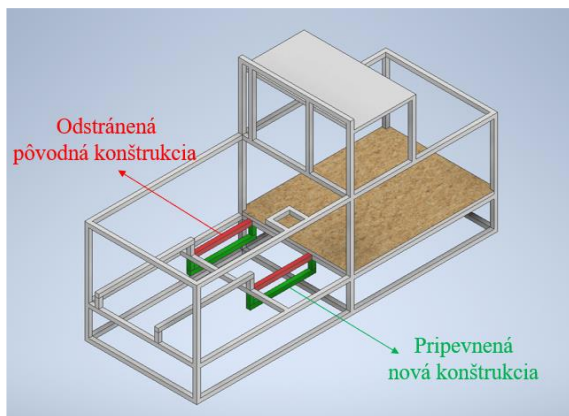
#### Plynová vzpera

Plynová vzpera je viacúčelový výrobok jednoduchého valcovitého tvaru s rôznymi variantmi uchytenia, pracujúca ako plynová pružina s tlmiacim účinkom na základe stlačeného plynu. Napomáha resp. uľahčuje otváranie a zatváranie, vysúvanie alebo zasúvanie a zároveň aretáciu v krajnej polohe na to vhodných, prispôsobených, pohyblivých častiach rôznych zariadení. Plynová vzpera bola použitá v ovládacom mechanizme na utlmenie kmitov po uvoľnení knipla z maximálnych výchyliek. Plynová vzpera taktiež slúži na simulovanie síl v ovládacom mechanizme. Použitím plynových vzper s odlišnými hodnotami tlakov potrebných na ich stlačenie, vieme simulovať sily v ovládacom mechanizme simulátora.

#### 3.2.1. Postup úpravy ovládacieho mechanizmu simulátora Zlín

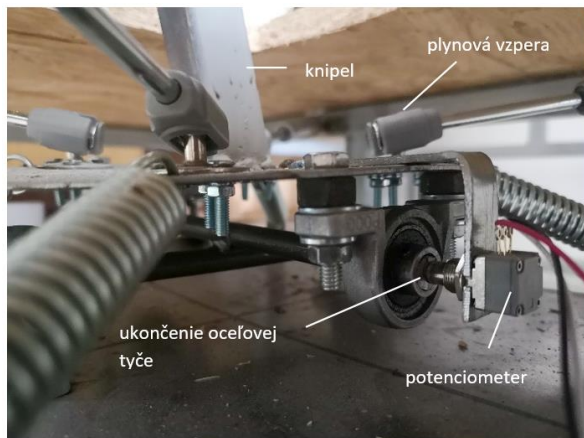
V dôsledku nastavenia výchyliek páky ovládania „knipla“, ktoré zodpovedajú skutočným výchylkám reálneho lietadla, bolo potrebné zmeniť polohu ovládacieho mechanizmu. Polohu ovládacieho mechanizmu bolo potrebné upraviť aj z dôvodu vytvorenia podlahy simulátora. V našom prípade sme polohu ovládacieho mechanizmu znižovali o 200 mm oproti pôvodnému riešeniu. Vykonaná zmena je zobrazená na obrázku 5.





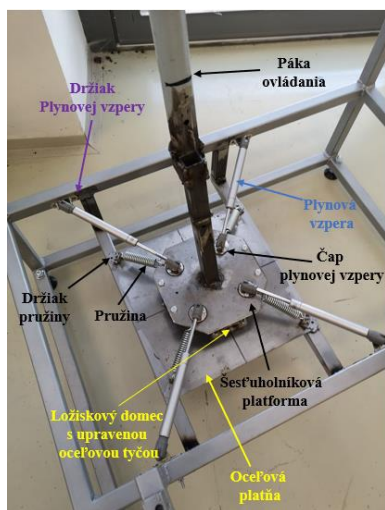
Obrázok 5: Zmena polohy ovládacieho mechanizmu v konštrukcii simulátora.

Na zabezpečenie prenosu pohybov z ovládacieho mechanizmu do ovládacej jednotky Leo Bodnar bolo potrebné vyhotoviť uchytenie snímacích potenciometrov. Potenciometre sme umiestnili na oceľové tyče, ktoré sú súčasťou ovládacieho mechanizmu.



Obrázok 6: Umiestnenie potenciometrov na ovládacom mechanizme simulátora.

Výsledné technické riešenie ovládacieho mechanizmu simulátora je zobrazené na obrázku 7.



Obrázok 7: Ovládací mechanizmus simulátora Zlín.

### 3.3. Mechanizmus ovládania priečného a pozdĺžneho vyváženia a mechanizmus ovládania vztlakových klapiek

Pri mechanizme ovládania vyváženia a ovládania vztlakových klapiek sme samotný návrh vytvárali, nejednalo sa o úpravu už vytvoreného mechanizmu. Poloha klapiek lietadla Zlín sa nastavuje pomocou páky, ktorá je umiestnená v ovládacom paneli lietadla, nachádzajúcom sa medzi sedadlami lietadla. Klapky lietadla je možné nastavovať v troch základných polohách a to:

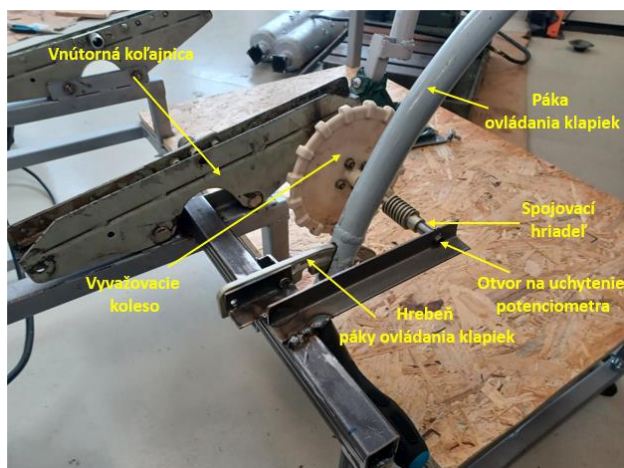
- zatiahnuté (0°),
- vzlet (14°),
- pristátie (37°).

Páka ovládania klapiek lietadla Zlín sa skladá z ložiska umiestneného v spodnej časti páky, aretačnej zarážky a aretačného tlačidla. Jednotlivé polohy klapiek sa nastavujú pohybom a zaaretovaním páky v danej polohe. Ovládacia páka sa v jednotlivých polohách zabezpečí pomocou ozubeného hrebeňa, do ktorého zapadá poistný mechanizmus.

Komponenty, ktoré sme použili pre vytvorenie mechanizmu sú nasledovné:

- potenciometre, potrebné na snímanie polohy páky ovládania klapiek a pozdĺžneho a smerového vyváženia,
- vertikálny nosník,
- prepojovací nosník,
- zaistovací hrebeň ovládania klapiek,
- úchyty hrebeňa a páky ovládania klapiek,
- uchytenie sedačky pilota,
- úchyt na prepojenie vyvažovacieho kolesa.

Pre vytvorenie mechanizmu ovládania klapiek a vyvažovania bolo potrebné vytvoriť nosnú konštrukciu. Nosná konštrukcia pozostáva z vertikálneho a prepojovacieho nosníka. Na vytvorenie nosnej konštrukcie boli použité oceľové profily rozmeru 25 mm x 25 mm. Po úprave a stanovení rozmerov sme nosníky umiestnili na konštrukciu simulátora pomocou zvarových spojov. Vytvorený konštrukcia je zobrazená na obrázku 8.



Obrázok 8: Hlavné časti konštrukcie vytvorenej na umiestnenie vyvažovacieho kolesa a páky ovládania klapiek.

V záverečnom kroku sme uchytili vyvažovacie koleso na vnútornej koľajnici sedadla tak, aby sme zabezpečili správne osadenie vyvažovacieho kolesa do centrálného panelu. Následne je cez otvor v hriadeľi umožnené zabudovať potenciometer BK10, ktorý slúži ako snímací element. Ako posledný krok, bolo potrebné pripojiť potenciometer BK10 s ovládacou jednotkou Leo Bodnar. Výsledné umiestnenie páky ovládania klapiek a ovládania vyvažovania je zobrazené na obrázku 9.



Obrázok 9: Mechanizmus ovládania vztlakových klapiek a ovládania vyváženia umiestneného na simulátore Zlín.

#### 4. Záver

Predložený článok sa zaoberal možnosťami vylepšenia a zdokonalenia leteckého simulátora Zlín. Časti simulátora, ktoré boli zdokonalené sú ovládací mechanizmus priečneho a pozdĺžneho sklonu, zdokonalenie ovládacieho panelu simulátora a mechanizmus ovládania vztlakových klapiek.

Vylepšenia, ktoré sme navrhli a nakoniec aj prakticky vykonali, poskytnú pre užívateľov simulátora realistickejší pocit z letu na simulátore. Pri ovládacom paneli sme vytvorili funkčný panel prepínačov, ktorý spolupracuje so simulačným softvérom X-Plane. Na spracovanie signálov z jednotlivých prepínačov bol použitý digitálny enkodér, ktorý prevádza signály do softvéru X-Plane. Dôležitým ovládacím prvkom, ktorý sme zdokonalili, je ovládací mechanizmus priečneho a pozdĺžneho sklonu lietadla. Pri tejto úprave boli vykonané zmeny v oblasti konštrukcie, zmeny snímania polohy mechanizmu, kedy sme urobili zmeny v snímacích senzoch. Pôvodné hallove snímače boli nahradené potenciometrami. Pre túto úpravu sme sa rozhodli z dôvodu nestability signálu z hallových snímačov a následnej nemožnosti správnej kalibrácie v softvéri X-Plane. Z vytvoreného riešenia, potenciometre poskytujú stabilnejší a presnejší priebeh signálu, ktorý je potrebný pre čo najpresnejšiu kalibráciu ovládacieho mechanizmu. Posledným zlepšením simulátora bolo vytvorenie mechanizmu ovládania vztlakových klapiek a vyváženia lietadla. Pri tomto riešení sme využili demontované komponenty z lietadla, ktoré sme použili v simulátore. Na zber signálu zo snímacích potenciometrov sme použili jednotku od spoločnosti Leo Bodnar, ktorá spolupracuje so softvérom X-Plane. Softvér X-Plane využívame ako simulačný softvér pre náš letecký simulátor.

Vytvorené konštrukčné úpravy prispievajú k zdokonaleniu simulátora Zlín. V budúcnosti sa budeme ešte zaoberať zdokonaleniami v oblasti zobrazovacích prístrojov letových údajov, prístrojového panelu a ovládania smerového riadenia, pre čo najrealistickejšiu simuláciu letu na lietadle Zlín.

#### Ďakovanie

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

- Aguado, C., Moreno, R., Sergio, R. 2014. Education simulation in practice: teaching experience using a flight simulation. Journal of Technology and Science Education vol. 4, ISSN 2013-6374, 20 s. Dostupné na: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1135499.pdf>
- Aldrich, C. 2005. Learning by Doing. A Comprehensive Guide to Simulations, Computer Games, and Pedagogy in e-Learning and Other Educational Experiences. San Francisco: Pfeifer.
- Allerton, D. 2009. Principles of flight simulation, John Wiley and Sons, West Sussex, UK, ISBN 978-0-470-75436-8, 501 s.
- Allegro Microsystems. 2009. Data sheet A1301 and 1302, Allegro MicroSystems Inc. 10 s. Dostupné na <http://www.leobodnar.com/products/BU0836X/A1302.pdf>
- Ehest Company. 2015. Teaching and Testing in Flight simulation Training Devices. European aviation safety agency, 32 s. Dostupné na:



[https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/206904\\_EASA\\_EHEST\\_HE\\_10.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/206904_EASA_EHEST_HE_10.pdf)

Flight Safety International Simulation. 2011. Flight simulation training systems. Flight Safety International Simulation, 12 s. Dostupné na: [https://www.flightsafety.com/html/pdf/3739\\_comm%20sim\\_bro\\_pgxpg\\_final.pdf](https://www.flightsafety.com/html/pdf/3739_comm%20sim_bro_pgxpg_final.pdf)

Janovec, M., Čerňan, J. & Novák, A. 2021. Design of construction and instrumentation of the Zlín aircraft simulator. Transportation Research Procedia, pp. 46-56.

Janovec, M., Kandra, B., Materna, M., Pecho, P., Radosa, F. 2021. Prototyp simulátora letového environmentálneho laboratória evirolab. 5 s. Dostupné na: [https://drepo.uniza.sk/bitstream/handle/hdluniza/535/2021\\_01-19-23.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://drepo.uniza.sk/bitstream/handle/hdluniza/535/2021_01-19-23.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Leo Bodnar Electronics. 2017. Operating manual. Leo Bodnar electronics, 5 s. Dostupné na: <http://www.leobodnar.com/products/BU0836A/BU0836A.pdf>

Stalter, C. I. 1981. Characteristics of flight simulator visual systems. Ames research center NASA, 90s, Dostupné na: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA098267.pdf>

Zlín Aircraft. 2017. Flight manual of the Aircraft Z142. Zlín Aircraft a.s. 172 s. Dostupné na: <https://www.manualslib.com/manual/1792761/Zlin-Aircraft-Z-142.html>

# **AEROjournal**

[www.aero.uniza.sk](http://www.aero.uniza.sk)

International Scientific Journal  
Published by University of Žilina, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, The Slovak Republic  
The Faculty of Operation and Economics of Transport and Communications  
Air Transport Department

Head of the editorial board: **prof. Ing. Antonín Kazda, PhD.**  
Editor in chief: **doc. Ing. Martin Bugaj, PhD.**  
Technical editor: **Ing. Matúš Materna, PhD.**

Printed by: EDIS – Vydavateľstvo Žilinskej univerzity v Žiline, Univerzitná 8215/1, Žilina  
Circulation: 100 prints



<https://doi.org/10.26552/aer.J.2022.1>

ISSN: 1338-8215

EV 6082/22