https://doi.org/10.26552/ pas.Z.2025.1.36

UNIVERSITY OF ŽILINA

# REALIZÁCIA A NASTAVENIE MECHANIZMU RIADENIA PRE LIETADLO STRATON D7

**Jakub Weinfortner**
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

**Jozef Čerňan**
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

**Abstract**

*The article is focused on the design and optimization of the control system of the ultralight aircraft Straton D7 "mini" with the aim of improving its flight performance during low-altitude flight. The main topics included the application of drag-inducing mechanization, the design of alternative control methods, and the use of modern composite materials in the production of control components. The theoretical part of the thesis presented an overview of aircraft control systems and analyzed individual control elements. In the practical part, a spoiler mechanism was designed, its functionality was tested, and the entire control system was adjusted. Furthermore, an alternative method of ground control using a tailwheel undercarriage was developed. The thesis also examined the possibilities of using composite materials for the production of control surfaces and Push rods, as well as the potential placement of aerodynamic trim tabs on V tail surfaces. The outcomes of the thesis represent an innovative approach to the design of the Straton D7 control system in the context of modern amateur aviation requirements.*

**Keywords**

*Flight controls ,spoiler mechanism ,control system,*

## 1. Úvod

Hlavným cieľom práce je realizácia a nastavenie systému riadenia pre lietadlo Straton D7. Súčasťou práce je analýza originálneho systému riadenia za pomoci pôvodných návrhov ktorá slúžila pre návrh modernizovaných systémov riadenia. Pre praktickú časť práce bolo potrebné rozpoznať problémy v pôvodnom návrhu lietadla. Praktická časť sa zaoberá riešením nájdenej problematiky riadenia lietadla Straton D7. Riešenie na problému pri riadení lietadla pri zemi bolo vyriešené návrhom a implementáciou spojlerov na krídle. Navrhnuté riešenia boli podrobené overeniu funkčnosti za pomoci využitia digitálnych technológií a simulačných programov. Praktická časť práce zahŕňa riešenie pri pohybe na zemi za pomoci navrhnutého ostrohového podvozku. Moderný prístup pri použití materiálov bol navrhnutý pre výrobu prvkov riadenia. Tejto časti práce sú popísane možnosti zníženia hmotnosti lietadla pri využití kompozitných materiálov v systéme riadenia lietadla . Táto práca sa zameriava aj na kompletizáciu a nastavenie riadenia primárnych riadiacich plôch. V praktickej časti je riešená možnosť vyváženia chvostových motýlikových plôch.

## 2. Lietadlo Straton D7

Jedno z prvých ultraľahkých aerodynamicky riadených letúnov ktorý získal typový preukaz LAA. Typ D-7 Straton mini je konštrukciou Ing. Oldricha Olšanského CSc.

D-7 je jednomiestny vzperový hornoplošník s krídlom nadsadeným nad trupom. Pohonná jednotka je v tlačnom usporiadaní na odtokovej hrane krídla. Krídlo je celodrevené, jednonosíkové s torznou skriňou v tvare písmena D. Torzná skriňa s nábežnou hranou sú tvorené z leteckej preglejky v zadnej časti je krídlo potiahnuté plátnom. Trup v prednej časti tvorí sklolaminátová škrupina vystužená preglejkovým rebrovaním. v zadnej časti je trup tvorený pološkrupinovou konštrukciou ktorá je tvorená z preglejky v podobe rúry s konštantným kruhovým prierezom. Smerové a výškové kormidlo je združené do motýlikových riadiacich plôch ktoré sú drevenej konštrukcie. Niektoré amatérske stavby už disponujú aerodynamickou brzdou alebo rušičmi vztlaku na krídle. Podvozok je v prevažnej miere tvorený jedným hlavným pojazdovým kolesom, ktoré je umiestnené pod krídlom v laminátovej pološkrupine a bočnými pomocnými kolesami. Firma TORRESI vyvinula verziu so zdvojeným hlavným podvozkom na kompozitných pružinách. Pre pohonnú jednotku sa prevažne používal automobilový motor Trabant bez reduktora, ale niektoré verzie disponovali pohonnou jednotkou firmy Hirth alebo Rotax 447. Letúň je prevažne vyrábaný amatérsky podľa výkresov, ktoré bolo možné dostať od firmy TORRESI .[1], [2], [3], [4], [5], [6]

Letún sa vyznačuje malou hmotnosťou, ku ktorej odpovedajú aj dobré výkony a nízke referenčné rýchlosti. Vďaka použitiu motora Trabant má letún pomerne nízku spotrebu ktorá sa pohybuje medzi 3-4 l/h. Letún má dobrú ovládateľnosť a dostatočnú stabilitu. Je vhodný na aeroturistiku, lietanie v termike alebo na rekreačné lietanie. Tento letún bol taktiež vyvezený do mnohých krajín, kde sa montoval s plechovým krídlom (USA).[3], [4]

*Obrázok 1 Lietadlo Straton D7*

Zdroj [4]

## 3. Metodika a metódy skúmania

Hlavným zdrojom informácií použitých pri spracovaní tejto bakalárskej práce bola literatúra vo forme :

- Návodov a manuálov
- Odborných príspevkov
- Knižných zdrojov
- Internetových zdrojov

Pri vypracovaní práce boli použité rôzne logické metódy za pomoci ktorých bolo možne dosiahnuť stanovené ciele práce.

Metóda zberu a spracovania informácií bola v tejto práci uplatnená v dvoch oblastiach. V prvej oblasti bola metóda zberu a spracovania informácií použitá pre zber informácií z dostupnej literatúry o systémoch riadenia lietadiel ako aj o jednotlivých prvkoch riadenia lietadiel. V druhej oblasti bola táto metóda využitá pri zhromažďovaní informácií o lietadle Straton D7 „mini“. Pri zhromažďovaní informácií o lietadle táto metóda umožnila autorovi priblížiť problematiku samotného lietadla a niektorých jeho častí. Vďaka tejto metóde bolo možné získať dostatočné množstvo informácií ktoré umožnili postupovať autorovi v návrhovej činnosti pre riešenia niektorých problematík samotného lietadla.

Metóda analýzy bola v tejto práci použitá na viacerých úrovniach. Najprv bolo potrebné analyzovať systém riadenia a funkčnosť aktuálnych komponentov riadenia .Použitie analýzy bolo potrebné aj pri bližšej špecifikácií nedostatkov v systéme riadenia lietadla za pomoci čoho bolo zistené nedostatky ako absencia prostriedkov na zníženie odporu lietadla ,absencia riaditeľného ostrohového podvozku ako aj možné zníženie hmotnosti riadiacich prvkov za pomoci použitia moderných materiálov. Metóda analýzy bola použitá aj pri návrhovej činnosti autora kedy bolo potrebné analyzovať vhodné umiestnenie rušičov vztlaku ako aj samotný tvar sekundárnych riadiacich plôch a ich vplyv na letové vlastnosti lietadla.

Metóda komparácie bola v tejto práci využitá pri viacerých úrovniach práce. Jednou z hlavných oblasti kde bola využitá metóda komparácie bola oblasť kde bolo nutné porovnať pôvodný návrh krídla bez odporovej mechanizácie a návrhy s rôznou odporovou mechanizáciou čo umožnilo získať ucelený pohľad na vec autorovi a zvoliť vhodnú odporovú mechanizáciu. Metóda komparácie bola použitá aj pri návrhovej činnosti kde bolo potrebné porovnať jednotlivé mechanické prvky odporové mechanizácie pri iných typoch lietadiel. Metóda komparácie bola využívaná aj pri menších oblastiach ako voľba vhodného materiálu pre optimalizovaný systém riadenia lietadla .

Metóda syntézy bola použitá pri návrhovej činnosti autora . Na základe analýzy bolo potrebné navrhnúť systém riadenia sekundárnych plôch. Bolo potrebné aplikovať poznatky získané pri analýze do návrhovej činnosti pri navrhovaní sekundárnych riadiacich plôch ktorými boli rušiče vztlaku. Syntéza bola využitá pri spájaní originálnych prvkov krídla a navrhnutých časti ktoré umožňujú umiestnenie a využitie navrhnutých rušičov vztlaku .

Ďalej bola syntéza použitá pri realizácií návrhu vyvažovacích plôšok kedy bolo potrebné zjednotiť funkčnosť kombinovaných kormidiel a funkciu vyvažovanej plôšky tak aby nedochádzalo k nepriaznivým vedľajším efektom.

## 4. Praktická realizácia a overenie funkčnosti

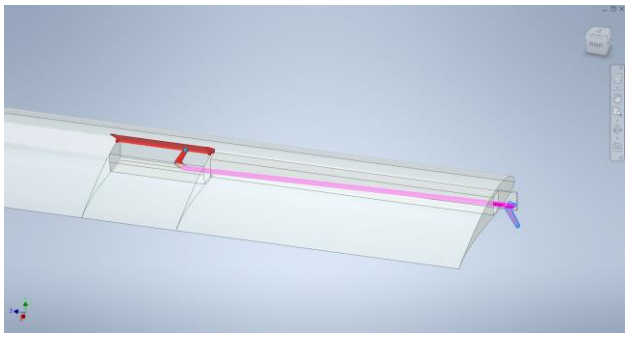
### *4.1. Návrhová činnosť*

#### *4.1.1. Návrh Spojlerov*

Pre potreby zníženia množstva vztlaku generovaného prízemným efektom bolo potrebné navrhnuť odporovú mechanizáciu. Odporová mechanizácia bola navrhnutá vo forme spojlerov umiestnených na sacej strane krídla. Návrhy boli vykonané v softwareovom programe Autodesk inventor kde boli nakreslené. Pre plne pohyblivý model spojleru bolo potrebné vytvoriť sadu komponentov ktoré boli vytvorené podobne ako spojler v mierke 1:1 .

#### *4.1.2. Odklápací spojler*

Odklápací spojler bol navrhnutý na základe pozorovania a analýzy designov na iných konštrukciách lietadiel . Spojler s nachádza na sacej strane profilu blízko koreňovej časti krídla . Konštrukcia spojleru je pripevnená k nosníku za pomoci otočného závesu . K spojleru je pripevnený posúvač ktorý sa nachádza na integrovanej oske na spojleri tento posúvač umožňuje premeniť otočný pohyb páky na odklopný. Páka je pripevnená k nosníku v spodnej časti , k páke je pripevnené tiahlo ktoré vedie šachtou vytvorenou za nosníkom a rebrovaním krídla. Tiahlo je spojené z pákovým mechanizmom pripojeným na koreň krídla. Pakový mechanizmus na koreni krídla je prepojený z systémom riadenia a postrannou riadiacou pákou.



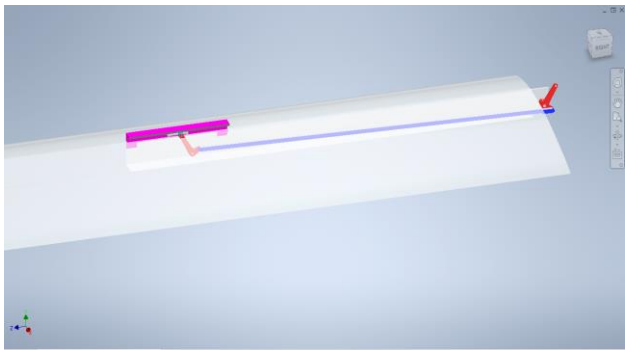
.

*Obrázok 2 Odklopný spojler s mechanizáciou*

Zdroj (autor)

### 4.1.3. Výsuvný spojler

Výsuvný spojler je inšpirovaný rušičmi vztlaku používanými na ultraľahkých lietadlách a klzákoch . Spojler sa skladá z doskovitého telese ktoré v zatvorenom stave ostáva zasunuté v šachte za nosníkom . Na spojleri sa nachádza integrovaná os na ktorej sa nachádza posuvné zariadenie. Toto posuvné zariadenie umožňuje pohyb do vysunutej Polohy. Posuvný pohyb je umožnený premenou otočného pohybu za pomoci páky ktorá je umiestnená na nosníku. Pák na nosníku je spojená z pákou v koreňovej časti krídla za pomoci tiahla čo umožňuje prenos sily z riadenia na spojler .

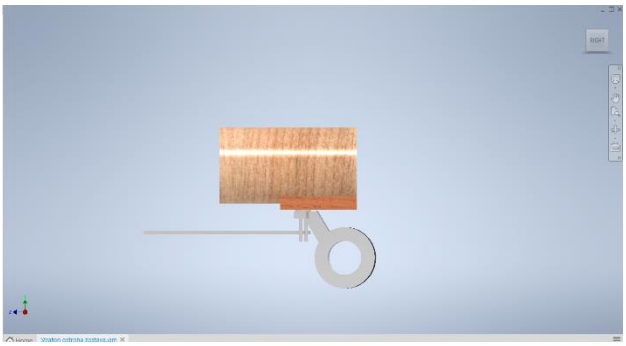


*Obrázok 3 Výsuvný spojler s mechanizáciou*

Zdroj (autor)

### 4.1.4. Systém riadenia ostrohového podvozku

Pre potreby riadenia lietadla na zemi bez pomoci asistenta bol navrhnutý ostrohový podvozok možnosťou riadenia . Systém riadenia ostrohového podvozku nahrádza pôvodný podvozok. Navrhovaný podvozok sa skladá z otočného závesu podvozku ktorý je ukotvený k chvostovému nosníku lietadla. Na otočný záves je možné umiestniť záves kolesa a koleso na osi . Pre možnosť riadenia je na každú stranu otočného závesu pridané malé tiahlo . Na toto tiahlo sa pripája lano . Lano je možné viesť chvostovým nosníkom alebo ho pripevniť na spodnú časť nosníku za pomoci bowdenu a pripevnovacích skrutiek. Lano je vstupuje do trupovej časti kde je pripevnené na váhadlo nožného riadenia ktoré je spojené z pedálmi a príslušnými lanami.



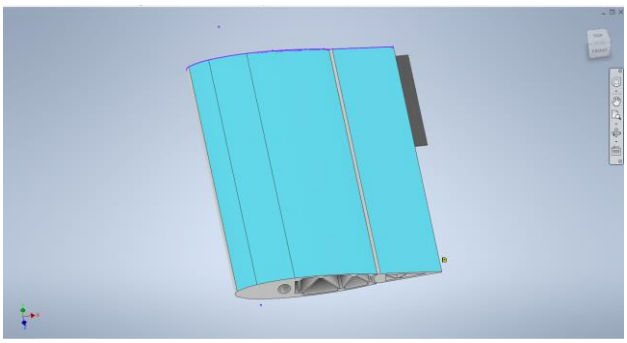
.

*Obrázok 4 Návrh riadietľného ostrohovéhoo podvozku*

Zdroj (Autor)

### 4.1.5. Aerodynamické vyváženie

Pre zlepšenie letových vlastností a zjednodušenie pilotáže bol navrhnutý systém aerodynamického vyváženia . Aerodynamické vyváženie umožňuje vyvážit lietadlo ktoré môže vďaka modifikáciám byť ťažké na nos alebo chvost. Vyvažovacia plocha bola umiestnená na koreňovú časť zmiešaného kormidla lietadla straton D7 pre dosiahnutie lepších výsledkov je odporúčané použiť dve vyvažovacie plochy. Plocha je nastaviteľná na zemi .



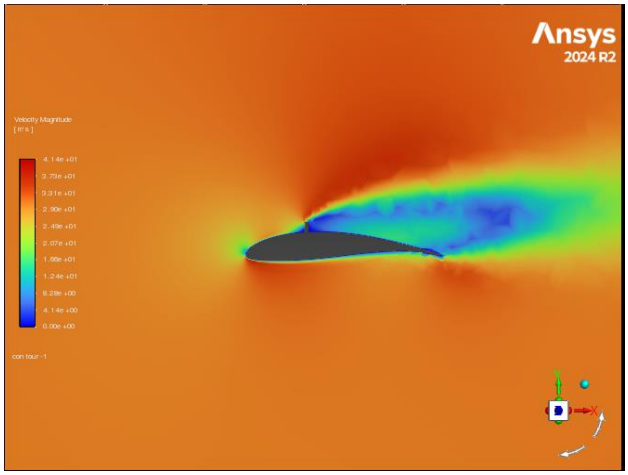
*Obrázok 5 Návrh umiestnenia vyvažovacej plošky na kormidlo*

Zdroj (Autor)

## 4.2. Overenie funkčnosti

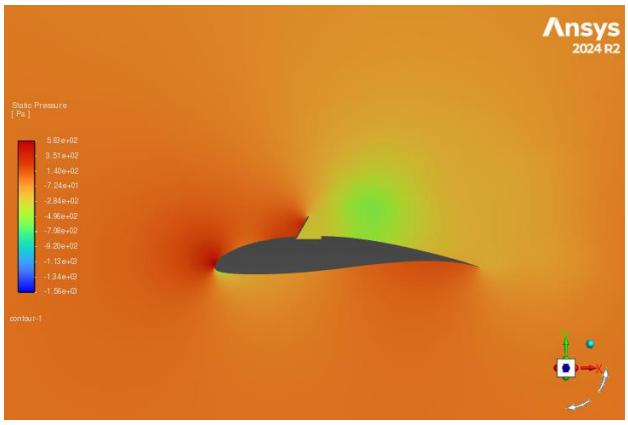
Overenie funkcie návrhov bolo vykonané pri návrhu spojlerov .Overenie funkčnosti spočívalo v zostavení komponentov jednotlivých návrhov a test pohybovej funkčnosti. Pre overenie aerodynamických vlastností spojlerov boli návrhy podrobené CFD analýze v simulačnom programe Ansys. Pre účel tejto práce boli merania vykonané na modeloch v mierke 1:10 vzhľadom na svoju simulačnú zložitosť .Pre simuláciu sme zvolili veľkosť meshu s minimálnou hodnotou 0,0001mm a maximálnou 0,05mm . CFD analýza bola vykonaná pre každý návrh ako aj pre krídlo bez sekundárnych plôch na troch rýchlostiach. Ako rýchlosti boli zvolene 110 km/h čo je najvyššia neprekročiteľná rýchlosť, 85 km/h ako cestovná rýchlosť a 53 km/h ako pádová rýchlosť . Simulácie boli vykonané v 100 iteráciách s nastavenou medznou vrstvou v počte 20. Výsledky CFD Analýzy boli spracované v numerických hodnotách do tabuľky a graficky kde boli pozorované jednotlivé aspekty a parametre krídla.

Parametre ktoré boli pozorované pri tejto analýze boli veľkosť a intenzita rozloženia rýchlosti prúdu vzduchu ako aj rozloženie tlaku na krídle.




*Obrázok 6 Rozloženie rýchlosti na výsuvnom spojleri*

Zdroj Autor




*Obrázok 7 Rozloženie tlaku pre krídlo s odklopným spojlerom*

Zdroj (Autor)

### *4.3. Inštalácia nožného riadenia*

Riadenie sme zostavili podľa stavebného výkresu. Naše riadenie sa skladá z tiahel uložených v klzných puzdrách chvostového nosníka a lanového prevodu z nožného riadenia. Mechanizmus nožného riadenia je spriahnutý s mechanizmom pákového riadenia nakoľko ide o kombinované chvostové plochy. Začali sme výrobou tiahel v chvostovej časti. Dokopy sme potrebovali 2 tiahla. Tie som vyrobil z duralovej trubky s priemerom (10 mm). Tieto tiahla som na jednej strane zakončil nastaviteľným vidlicovým zakončením na ktoré som nasadil nosovú poistnú podložku. Druhú stranu som zakončil záslepkou ktorú som uložil z presahom do rúrky. Záslepku som vyrobil z teflonového valca ktorý som za pomoci trieskového obrábania na sústruhu opracoval na požadovaný pomer. Po opracovaní som záslepku za pomoci gumeného kladiva a drevenej podložky nalisoval do trubky. Po osadení záslepky som vyvŕtal dieru do trubky s priemerom 5 mm . Vyvŕtaný otvor som odihlil za pomoci valcového ihlového pilníka. Tento postup som vykonal aj pre druhú rúrku. Ďalší postup som smeroval na inštaláciu vahadlového systému riadenia do trupu. Tento systém má za úlohu syntézou pohybov riadiacej páky a nožného riadenia vychýlenie výkonných členov. Na spodnú stranu chvostového nosníku pred priehradou som vyvŕtal diery podľa stavebného výkresu. Diery sme z druhej strany opatrili závitovým lôžkom ktoré sme pomocou epoxidového lepidla prilepili k nosníku . Z pomoci svorníkov sme pripevnili vahadlo zo spodnej strany nosníka. Nad hornú stranu nosníka sme do priehrady za sedadlom a druhej v poradí v osi trupu vyvŕtali otvory do ktorých sme umiestnili teflonové puzdra a nasledovnej trubku priemeru (10mm). Na rúrku sme umiestnili konzolu ovládania z duralovej pásoviny. Na zahnuté strany sme pripevnili za pomoci svorníkov na jednej strane 2 tiahla narezané na predpísanú dĺžku. Tieto tiahla sme opatril na koncoch taktiež teflonovou záslepkou uloženou s presahom. Po dokončení tohto procesu som sa pustil do výroby tiahel nožného riadenia. Jednalo sa o 2 menšie tiahla ktoré som vyrobil z duralovej trubky . Z stavebného výkresu som odčítal rozmer a trubky za pomoci pílky na železo skrátil na požadovaný pomer. Odrezanú stranu som opracoval za pomoci pilníku. Na zakončenie tohto tiahla som podľa výkresu použil výklopne a výklopne nastaviteľné puzdro. Do trubky som vyvŕtal na každý koniec 2 diery kolmé na os trubky a vzájomne posunuté o 90 $^{o}$ . Prevratne uloženie puzdra a trubky som spojil za pomoci nitovania. Zvolil som nit s pologuľatou hlavou. Tento postup som zopakoval aj pre druhé tiahlo . Tiahla som následne inštaloval do trupu spolu s vahadlami. Ako ďalšie som si zvolil výrobu a inštaláciu lán nožného riadenia. Lano som pretiahol bowdenom ktorý som pripevnil na vnútornú stranu trupu. Jednu stranu lana som vybavil dreveným zakončením a druhu nastaviteľným zakončením vyrobeným zo svorníku a podložiek pre dočasné zriadenie riadenia. Ďalej som na predom naznačené miesto nainštaloval pedále nožného riadenia . Na pedále som potom osadil pružiny pre vytvorenie vratnej sily v riadení.

*Obrázok 8 Pohľad na nožné riadenie počas inštalácie*

Zdroj (Autor)

## 5. Záver

V závere práce je možné zhodnotiť že ciele práce boli dosiahnuté. Po Analýze výsledkov simulácie obtekania na navrhovaných rušičoch vztlaku bol pri oboch návrhoch dosiahnutý pozitívny výsledok. Pri výsuvnej verzií spojleru bol dosiahnutý najväčší odpor. Pri odklopnom variante bol dosiahnutý odpor nižšej hodnoty ako pri výsuvnom ale dochádza k značnému ovplyvneniu vztlaku na krídle. Cieľ nastavenia a kompletizácie riadenia lietadla bol dosiahnutý len čiastočne kedy bol nastavený systém riadenia zmiešaných motýlikových plôch. Nastavenie priečneho riadenia nebolo vykonané vzhľadom na skutočnosť že v čase realizácie práce nebol skompletizovaný nosník krídla. Táto skutočnosť zabránila práci na konštrukcií a nastavení priečneho riadenia lietadla. Menšie ciele v práci boli dosiahnuté v podobe zníženia hmotnosti lietadla, ktorá je pre tento typ konštrukcie významná. Zníženie hmotnosti bolo dosiahnuté za pomoci návrhu využitia kompozitných materiálov na výrobu riadiacich plôch ale aj jednotlivých komponentov riadenia. Veľkosť úspory hmotnosti je variabilná a závisí od množstva použitých kompozitných komponentov. Je možné povedať že cieľ optimalizácie riadenia na zemi bol dosiahnutý návrhom riaditelného ostrohového podvozku. Pre správnu funkciu tohto návrhu je však potrebné vybaviť lietadlo zdvojeným hlavným podvozkom. Cieľ aerodynamického vyváženia bol dosiahnutý za pomoci navrhnutia vyvažovacej plôšky pre zmiešané kormidlo. Pre správnu funkciu tohto návrhu je potrebné inštalovať dve vyvažovacie plôšky na kormidla chvostových plôch. Týmto vyvážením sme získali pomerne lacné riešenie pre vyváženie lietadla ktoré môže byť nestabilné vďaka nesprávnemu postupu pri výrobe alebo iným okolnostiam.


## Poďakovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže Slovenskej republiky KEGA 024ŽU-4/2023 s názvom "Integrácia najnovších vedných poznatkov v rámci zvyšovania kvality praktickej a laboratórnej výučby študijného programu Letecká doprava".


## Referencie


[1] O. Olšanský, „Dokumentacia k Stavbe lietadla Straton D7 mini".

[2] „OSEMDESIATY ŠTVRTÝ DIEL FOTOPOHĽADOV DO HISTÓRIE LETISKA KOŠICE: ULTRAĽAHKÝ STRATON D-7", Letisko Košice. Viděno: 22. duben 2025. [Online]. Dostupné z: https://www.airportkosice.sk/sk/pre-cestujucich/aktuality/osemdesiaty-stvrty-diel-fotopohladov-do-historie-letiska-kosice

[3] „Straton D7", *letectví*.

[4] F. servis [www full-net cz]; e-mail: info@full-net.cz a inzerent, „Prodám Straton D7 mini", AEROHANGÁR. Viděno: 27. duben 2025. [Online]. Dostupné z: https://www.aerohangar.cz/ultralight/ultralehka-letadla/prodam-straton-d7-mini/

[5] ČTK, „Loňský pád letadla u Chocně způsobila technická závada", Blesk.cz. Viděno: 22. duben 2025. [Online]. Dostupné z: https://www.blesk.cz/clanek/zpravy-live-ekonomika/494749/lonsky-pad-letadla-u-chocne-zpusobila-technicka-zavada.html

[6] „ProFe D-8 Moby Dick", *Wikipedia*. 2. červenec 2024. Viděno: 22. duben 2025. [Online]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=ProFe_D-8_Moby_Dick&oldid=1232282830