

# SYSTEM FOR EARLY IDENTIFICATION OF LOCAL ATMOSPHERIC CHANGES IN FLIGHT

## SYSTÉM VČASNEJ IDENTIFIKÁCIE LOKÁLNYCH ATMOSFERICKÝCH ZMIEN POČAS LETU

**Richard Dvorský**  
Air Transport Department  
University of Žilina  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
richard.dvorsky1@gmail.com

**Pavol Pecho**  
Air Transport Department  
University of Žilina  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
pavol.pecho@fpedas.uniza.sk

### Abstract

*Paper "System for early identification of local atmospheric changes in flight" is aimed at creating a model of a new variant of instrumentation of non-powered aircraft by monitoring air parameters such as air temperature, static pressure and air humidity. We will use modern technologies to create this device. This created device will work in the search for thermal currents. After next research as a tool in powered aircraft where it will function as a system for identifying local atmospheric changes that are dangerous for flight itself. Another possible use will be in transport aircraft to predict turbulence.*

### Keywords

*non - powered flying, aircraft instruments, atmospheric changes, meteorology, experimental flight*

## 1. Úvod

Bezmotorové lietanie stálo pri zrode samotného lietania. Tento fenomén sa postupne vyvíjal a bol využívaný pri výcvikoch vojenských pilotov. Je považovaný za najlepší spôsob ako sa naučiť lietať. Bezmotorové lietanie je úzko späté s chuťou pretekať sa a zlepšovať svoje výkony. Postupom času prichádzalo k zlepšovaniu výkonov pilotov, čo bolo podmienené lepším pochopením podmienok pre vytvorenie termických stúpavých prúdov a ich využitím. Na vylepšovanie leteckej techniky bolo potrebné reagovať vylepšovaním prístrojového vybavenia. Vývoj prístrojového vybavenia súvisel s úrovňou technológií, ktoré boli v daných obdobiach využívané. Technologická úroveň prístrojov bola vždy spojená so zvyšovaním výkonov zaznamenaných pilotmi bezmotorových lietadiel. Cieľom diplomovej práce bolo navrhnutie nového systému, ktorý bude využitý ako prístrojová výbava bezmotorových lietadiel na monitorovanie zmien parametrov atmosféry pre identifikáciu možnej prítomnosti stúpavých prúdov. Návrh systému a jeho zostrojenie bude zamerané na využitie moderných technológií s veľkou presnosťou a vhodnými vlastnosťami. Tento systém by mal priniesť možnosť využitia systému pri vyhľadávaní termických prúdov v atmosfére za letu. V porovnaní s klasickým prístrojovým vybavením prinesie najmä lacnejšiu a dostupnejšiu verziu tohto vybavenia. Po navrhnutí a zostrojení tohto systému bude práca zameraná na následné experimentálne testovanie systému s cieľom overiť jeho funkčnosť a prínos.

## 2. Vlastnosti vzduchu vhodné na monitorovanie

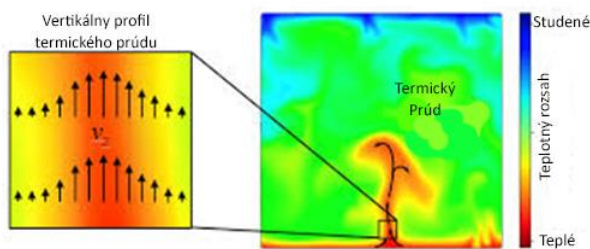
Aby bolo možné efektívne identifikovať možnú prítomnosť termických prúdov, musia byť analyzované charakteristiky

parametrov okolitého vzduchu. Na základe premien hodnôt parametrov vzduchu bude možné určiť prítomnosť stúpavého, respektíve klesavého prúdu. Parametre vzduchu, ktoré boli vybrané na skúmanie prítomnosti termického prúdenia sú: teplota vzduchu v okolí lietadla, vlhkosť vzduchu v okolí lietadla, tlak vzduchu v okolí lietadla.

**Teplota vzduchu v okolí lietadla** : Parameter vzduchu, ktorý je najviac závislý od výšky letu. Za predpokladu, že vo vrstve vzduchu v rovnakej výške je rovnaká teplota vzduchu a teploty v rovnakých výškach. Závisí to aj na prítomnosti rôznych meteorologických frontových útvarov alebo prítomnosti tlakových útvarov, v ktorých sa môžu vyskytnúť teplotné anomálie. Za predpokladu, že letíme nad územím, ktoré je ovplyvňované rovnakou meteorologickou situáciou, môžeme predpokladať, že teplota je konštantná vo výške. V prípade, že príde k narušeniu stabilného teplotného zvrstvenia termickým prúdením, môže prísť k výkyvu pozorovanej teploty. Ak ide o stúpavý prúd, príde k zvýšeniu teploty oproti stabilnému zvrstveniu. V prípade, ak ide o klesavý prúd, teplota sa zníži.

**Vlhkosť vzduchu v okolí lietadla** – Vlhkosť okolitého vzduchu môže byť tak isto využívaná na identifikáciu prítomnosti stúpavého prúdu. Môže tomu byť za predpokladu, že hodnota vzdušnej vlhkosti je rovnaká v stabilnom zvrstvení vzduchu a pri rovnakých meteorologických podmienkach nad územím, nad ktorým je vykonávaný let. Tento parameter vzduchu je možné sledovať, ak je na povrchu, nad ktorým letíme dostatočná hladina atmosférickej vlhkosti. V prípade, ak príde k vytvoreniu stúpavého termického prúdu, príde k odovzdaniu vlhkosti okolitému vzduchu. Táto odovzdaná vlhkosť vzduchu môže byť zaznamenaná a za pomoci nej môžeme určiť prítomnosť stúpavého prúdu.

**Tlak vzduchu v okolí lietadla** – Monitorovanie tohto parametra vychádza zo štandardnej metódy identifikácie stúpavých prúdov. Vychádzame z poznatku, že vzdušné tlakové pole je stabilne rozložené. Z toho vyplýva, že v stabilnom nenarušovanom prostredí je tlakové rozloženie konštantné. V prípade, že príde k narušeniu stabilného poľa termickým prúdom, príde k zmeneniu hodnoty podľa druhu termického prúdu. Ak pôjde o stúpavý prúd, bude tlak konštantného tlaku vyšší. V prípade klesavého prúdu, bude toto tlakové rozrušenie s nižšou hodnotou tlaku



Obrázok 1: Schéma profilu stúpavého prúdu.

Zdroj: <https://www.microsoft.com/en-us/research/uploads/prod/2019/04/thermal-and-approximate-vertical-wind.png>

Na základe určených parametrov môžeme vytvoriť návrh systému, ktorý sa bude venovať analýze prostredia okolo lietadla a monitorovaním parametrov vzduchu. Na základe zistených odchýlok v parametroch vzduchu bude možné identifikovať prítomnosť termických prúdov v mieste, v ktorom lietadlo letí.

### 3. Návrh monitorovacieho systému vybraných parametrov

V tejto časti sa výskum bude venovať návrhu a zostaveniu monitorovacieho systému, ktorý bude možné využiť na monitorovanie parametrov vzduchu, ktoré po vyhodnotení budú identifikovať prítomnosť termického prúdenia.

#### 3.1. Hardvérová časť

Ako základná jednotka systému bude využívaná vývojová doska ARDUINO, ktorá bude fungovať ako základná jednotka pre spracovanie údajov a ich následné spracovanie. Jednotka bude fungovať nezávisle od iných jednotiek v porovnaní s pôvodným návrhom, kde bola navrhovaná spolupráca dvoch na seba závislých jednotiek. Realizáciou tejto úpravy predpokladáme zjednodušenie celého systému, a takisto zlepšenie interpretácie dát pre používateľa. Ako základ tohto systému bola vybraná vývojová doska ARDUINO MEGA. Vývojová doska ARDUINO MEGA dosahuje dostatočné výkonové parametre potrebné na správnu funkciu navrhovaného systému. Zaznamenávanie priebehu parametrov okolitého vzduchu bude zabezpečené senzormi. Pre snímanie tlaku v okolitom vzduchu za letu bol vybraný senzor, ktorý je využívaný aj v profesionálnych prístrojoch, ktoré sú súčasťou prístrojového vybavenia bezmotorových klzákov. Preto je predpoklad, že tento senzor bude schopný zaznamenať aj malé zmeny v atmosfére a jeho fungovanie bude bez výrazných porúch. Na analyzovanie parametru tlaku vzduchu bol vybraný senzor MS5611. Zlúčenie senzorov prišlo pri parametroch teplota okolitého vzduchu a vlhkosť okolitého vzduchu. K tomuto kroku bolo pristúpené

najmä kvôli tomu, že senzor je schopný monitorovať 2 parametre bez toho, aby prišlo k porušeniu kvality výstupu alebo citlivosti daného zariadenia. Zároveň sme k výberu tohto senzoru pristúpili z toho dôvodu, že senzor je schopný slúžiť ako záloha pri výpadku primárneho senzora na monitorovanie tlaku v okolí lietadla. Pre tento účel sme vybrali senzor BME 280. Ako zobrazovacia jednotka informácií pre pilota bude slúžiť displej. Je to zobrazovacia jednotka, ktorá je kompatibilná s vývojovou doskou ARDUINO. Daná zobrazovacia jednotka bola zvolená preto, aby bolo možné zabezpečiť čo najprehľadnejšie poskytovanie informácií pilotovi. V súvislosti s výberom zobrazovacej jednotky bolo uvažované s možnosťou ovládania celého systému. Pre tento účel bol zvolený dotykový displej Nextion NX8048T050.

#### 3.2. Softvérová časť

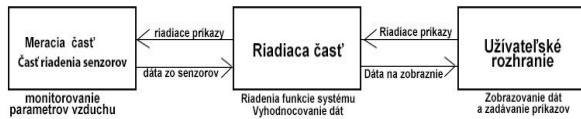
Softvérová časť projektu bude koncipovaná na jednej platforme. Táto skutočnosť pozitívne ovplyvní náročnosť projektu. Taktiež to bude mať vplyv na fungovanie celého systému, v ktorom príde k zmenšeniu možnosti na chybovosť v komunikácii medzi dvoma platformami. To znamená, že nebude nutné spracovávať dáta získané pomocou senzorov do formátu, v ktorom budú spracované druhou platformou. Táto konverzia by mohla mať vplyv na rýchlosť spracovania dát v druhom zariadení, poprípade by mohlo prísť k interferenciám, ktoré by mohli viesť k nepresnostiam v určovaní prítomnosti termických prúdov. Softvér bude vykonávať spracovanie a zobrazovanie informácií na jednej platforme. Základná funkcia softvéru bude získavanie dát zo senzorov a ich následné spracovanie. Ovládanie fungovania a funkcií softvéru bude zabezpečované za pomoci dotykového displeja. Na dotykovom displeji budú prítomné virtuálne tlačidlá, ktoré pri ich aktivovaní budú odosielať signál do vývojovej dosky ARDUINO za pomoci softvérového ovládača. Na základe povelového signálu potom vývojová doska ARDUINO bude zahajovať procedúry naprogramované pod týmto signálom. Tieto procedúry budú v súvislosti so spracovaním určených parametrov vzduchu, ktoré budú využívané na identifikáciu termického prúdu. Tieto procedúry sa budú primárne venovať jednému parametru. Budú však sledované aj ostatné parametre, ktoré budú pilotovi poskytovať informácie o ich hodnotách.

### 4. Konštrukcia a overovanie funkčnosti systému monitorovania atmosferických zmien

#### 4.1. Softvérová časť systému

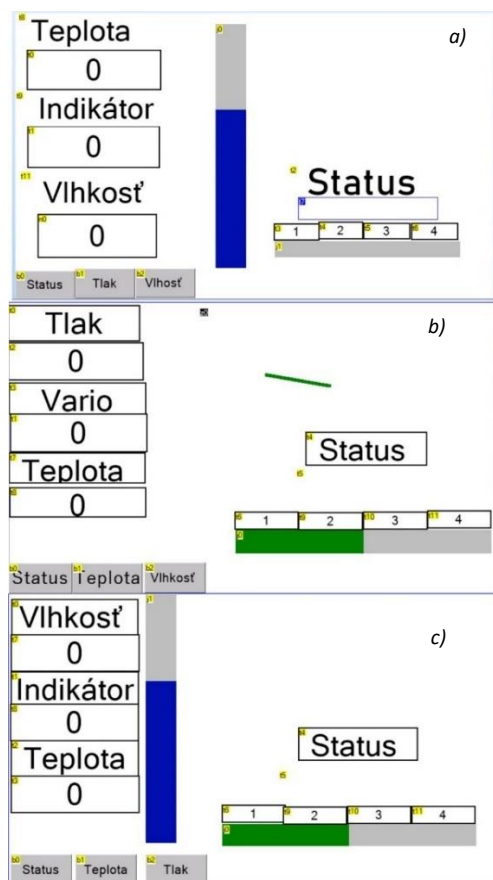
Systémová časť softvéru je rozdelená na tri časti, ktoré medzi sebou spolupracujú a budú na seba nadväzovať. Prvý oddiel systému je pomenovaný ako časť merania a riadenia senzorov. Základnou funkciou tejto časti softvéru je získavanie dát z pripojených senzorov. Táto procedúra bude dosahovaná na základe využitia softvérových ovládačov jednotlivých senzorov. Ďalšou časťou softvérovej časti systému, ktorá je považovaná za najdôležitejšiu časť, je spracovateľská, vyhodnocovacia a riadiaca časť softvéru. Táto časť je určená na spracovanie hodnôt, ktoré prídu z meracej časti softvéru. Softvér spracováva a vyhodnocuje hodnoty parametrov atmosféry, ktoré sú určené v danej procedúre programu. Procedúra začne vyhodnocovať hodnoty dodané z meracej časti. Vyhodnocovanie prebieha na základe zadaného vzorca alebo postupu, ktorý je zadaný v každej procedúre pre každú hodnotu zvlášť. Na základe

spracovania týchto údajov v spracovateľskej časti, posieľa táto časť informácie do užívateľskej časti systému, v ktorej prichádza k interpretácii. Užívateľská časť prístroja slúži na zadávanie príkazov od užívateľa pomocou navrhnutého a naprogramovaného rozhrania na dotykovej obrazovke Nextion. Interpretáciu informácií a situácie letu používateľ získava zo zobrazovacieho modulu, ktorý je pre tento variant systému navrhnutý – dotykový displej.



Obrázok 2: Zjednodušená schéma fungovania systému. Zdroj: Autori.

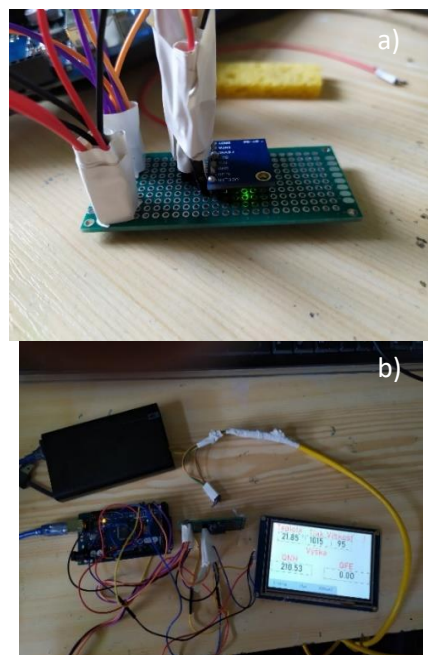
Dáta spracovávané a vyhodnocované systémom je potrebné interpretovať zrozumiteľne a prehľadne pre používateľa systému. Musí byť dosiahnuté čo najefektívnejšie zobrazenie informácií z meraní dosiahnutých systémom. Z tohto dôvodu bol zvolený systém zobrazenia, v ktorom má každý z procedúr merania a vyhodnocovania parametrov systému svoju informačnú stránku, ktorá zobrazuje informácie o meraní a vyhodnotení súčasnej situácie za letu. Stránku si používateľ vyvolá povelom zadaným cez dotykové tlačidlá umiestnené na spodnej lište každej z obrazoviek, ktorá je zobrazovaná na obrazovke systému.



Obrázok 3: Obrazovky pre jednotlivé procedúry a) Obrazovka teploty b) Obrazovka tlaku c) Obrazovka vlhkosti. Zdroj: Autori.

## 4.2. Hardvérová časť

Ako základ celého systému je určená vývojová doska ARDUINO. Na tomto základe bolo nutné vytvoriť takú schému pripojenia poskytujúcu bezproblémové pripojenie všetkých senzorov systému tak, aby bolo možné vytvoriť stabilnú dodávku zdroja energie a zabezpečenie stabilného dátového toku od a k senzoru systému. . Bolo prístupné k vytvoreniu dvoch vetiev pripojenia. Jedna vetva je vyhradená výlučne pre pripojenie zobrazovacej časti prístroja, aby bolo dosiahnutá nerušená a stabilná dátová komunikácia a spoľahlivá dodávka prúdu. Druhá vetva je vyhradená pre fungovanie senzorov. Základ pre pripájanie druhej vetvy tvorí PCB doska. Na dosku plošných spojov sú privedené a zapojené vodiče z vstupov na vývojovej doske ARDUINO. Na PCB doske je integrovaný senzor tlaku MS5611.



Obrázok 4: A) usporiadanie PCB dosky B) zobrazenie celého systému. Zdroj: Autori.

### 4.2.1. Umiestnenie senzorov

Pre správne fungovanie systému je nutné správne umiestniť senzory snímajúce parametre vzduchu. Z tohto dôvodu je potrebné určenie správneho miesta pre umiestnenie senzorov. V rámci teplotného senzora vlhkosti musí byť zabezpečené to, aby bolo možné dosiahnuť prísun náporového vzduchu, a to hlavne z dôvodu, aby bolo možné zabezpečiť meranie aktuálnych dát. Rozhodované bolo medzi dvomi pozíciami senzoru. V prvom variante išlo o umiestnenie senzora na trupe lietadla a druhým variantom bolo umiestnenie senzora v náporovom vetraní, v ktorom prichádza k prívodu vzduchu otvorom na to vyhradeným. bolo prístupné k druhému variantu, ktorý sa ukázal rovnako presný a účinný, ako pri umiestnení priamo na trup lietadla. Zvolením tohto umiestnenia odpadá potreba otvoreného vetracieho okienka za letu alebo nutnosti úpravy konštrukcie vetroňa, respektíve vytvorenia otvoru pre vyvedenie kabláže nutnej pre umožnenie prenosu a napájania senzora. Pre umiestnenie senzora monitorovania okolitého tlaku vzduchu boli taktiež vybrané dva varianty umiestnenia. Po testovacích letoch, pri ktorých boli overené oba varianty, bolo

dokázané, že oba varianty umiestnenia senzora poskytujú rovnakú presnosť merania. Preto bolo rozhodnuté, z dôvodu zjednodušenia konštrukčných požiadaviek zástavby systému do lietadla, o umiestnení senzora ako súčasť dosky plošných spojov systému.

#### 4.3. Experimentálne overenie funkčnosti systému

Po zostrojení funkčného prototypu systému bolo nutné experimentálne overenie funkčnosti systému. Bolo potrebné vykonať overenia umiestnenia senzorov, aby bolo možné určiť ich optimálnu polohu, a to s prihliadnutím na obťažnosť zabudovania senzora a jeho následného fungovania a presnosti merania. Následne bolo prístupné k overovaniu funkčnosti samotného systému ako celku.

##### 4.3.1. Experimentálne overovanie umiestnenia senzorov

Experimentálne overovanie umiestnenia senzorov bolo vykonávané letovými skúškami. Letové skúšky boli zamerané na zistenie funkčnosti a presnosti meraní jednotlivých senzorov pre stanovenie najvhodnejšieho umiestnenia senzorov. Pre toto overenie slúžili krátke lety v termickom počasí. Bol vytvorený pokusný systém zameraný na využitie vždy dvoch rovnakých senzorov. Na programovateľnom mikropočítači bol vytvorený program zameraný na získavanie dát z oboch senzorov a odosielanie informácií o výsledkoch merania na zobrazovaciu jednotku. Boli vykonané 4 lety zamerané na vyhľadávanie termických stúpaných prúdov. Dva lety boli vykonané za použitia dvoch senzorov BME 280, ktoré boli zamerané na monitorovanie teploty okolitého vzduchu a vlhkosti vzduchu. Ostatné dva lety sa vykonali za použitia dvoch senzorov MS5611 monitorujúcich tlak okolitého vzduchu. Po určení umiestnenia senzorov bolo možné prístupiť k experimentálnemu overeniu celého systému ako celku

##### 4.3.2. Experimentálne overovanie funkčnosti systémového celku

Na tento účel boli naplánované ďalšie termické lety v dlhšom trvaní, za využitia denného termického intervalu pri prelete na čo najdlhšej vzdialenosti.

##### Spôsob vykonania experimentálneho letu

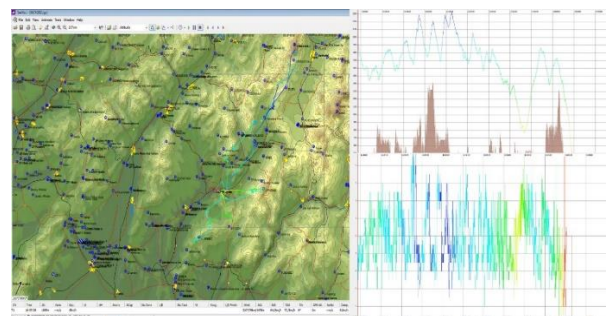
Počas letu bol použitý navrhovaný systém pre zistenie prítomnosti a optimalizáciu využitia stúpaného termického prúdovania. Systém, jeho fungovanie a následné poskytovanie informácií o výskytoch termických prúdov bolo počas celej doby letu monitorované pomocou záznamovej kamery Gopro. Celý priebeh letu bol zaznamenaný za pomoci schváleného zapisovača letových údajov pre použitie v bezmotorových lietadlách LX Nano 3. Ako pomocný zapisovač letových údajov bol použitý softvér XCSoar bežiaci v navigačnom zariadení pilota.



Obrázok 5: Zobrazenie zaznamenávania funkčnosti systému a ukážka vyhodnocovaného záberu. Zdroj: Autori.

##### Analýza vykonaného experimentálneho letu

Na základe dát zozbieraných z letového zapisovača vieme určiť niekoľko základných informácií o lete. Maximálna výška letu bola 2300 metrov nad morom. Maximálne stúpanie bolo zaznamenané na hodnote 4,2 m/s maximálna hodnota klesania bola 4,2 m/s. Celkový čas strávený v stúpaní počas letu bol 1 hodina a 21 minút s celkovým ziskom 3869 metrov, čo predstavovalo 30% letu



Obrázok 6: Analýza letu v programe Naviter SeeYou. Zdroj : Autori.

Taktiež bolo vykonané vzájomné porovnanie letov v programe See You. Podmienkou pre porovnanie bola celková dĺžka letu. Obidva lety majú rovnakú dĺžku letu. Jeden let bol vykonaný za využitia systému a druhý bez využitia systému. Porovnanie bolo zamerané na dáta o vykonanom stúpaní za letu. Predmetom skúmania bol celkový čas lietadla v stúpaní a následné vyjadrenie celkového času letu v percentuálnom porovnaní času stráveného v stúpaní. Analýza sa venuje popisu stúpania. Celkové stúpanie zabralo pri lete 1: 21: 32, čo v percentuálnom vyjadrení predstavuje 30% letu. V prípade letu, ktorý porovnáваме, predstavovala doba v stúpaní 1: 59: 40, čo predstavovalo 44% letu. Prišli sme k výsledku, že pri využití systému nastalo zlepšenie, a to konkrétne o 37minút a 08 sekúnd, čo predstavovalo v percentuálnom vyjadrení 14%. Takisto na základe hodnoty priemerného stúpania môže byť skonštatované, že experimentálny let bol vykonaný v slabších termických podmienkach. Vyskytovali sa teda slabšie stúpania, ako pri lete bez systému. Pri vyhodnocovaní týchto parametrov sme prišli k výsledku, že pri lete s využitím systému bolo zaznamenané percentuálne zlepšenie využitia času v stúpaní a zníženie času v stúpaní.

Circling:	Time	Vario	Alt.Gain	Alt.Loss	Thermals
Total	01:21:32 (30%)	1,1m/s	6077m	-642m	34
Left	00:39:30 (48%)	1,1m/s	2932m	-403m	17
Right	00:37:14 (46%)	1,1m/s	2743m	-187m	15
Mixed	00:04:48 (6%)	1,2m/s	402m	-52m	2
Tries (<45s)	00:14:22 (6%)	-0,2m/s	394m	-554m	19

a)

Circling:	Time	Vario	Alt.Gain	Alt.Loss	Thermals
Total	01:59:40 (44%)	1,4m/s	10303m	-441m	38
Left	01:38:56 (83%)	1,4m/s	8671m	-393m	31
Right	00:17:22 (15%)	1,3m/s	1400m	-35m	5
Mixed	00:03:22 (3%)	1,1m/s	232m	-13m	2
Tries (<45s)	00:06:54 (3%)	0,2m/s	338m	-268m	15

b)

Obrázok 7: Analýza času v stúpaní a) let z využitím systému b) let bez použitia systému. Zdroj : Autori.

Tabuľka 1 Výsledky porovnávania letov. Zdroj: Autori.

Celkový čas režimu letu v stúpanom prúde s využitím navrhovaného systému / percentuálne vyjadrenie	Celkový režimu letu v stúpanom prúde v štandardnom prístrojovom vybavení/ percentuálne vyjadrenie
1:21:32 / 30%	1:59:40 / 44%

Celková úspora času s využitím navrhovaného systému 0:37:08 / celkové zvýšenie efektívnosti využitia stúpavých prúdov 14%

## 5. Záver

bolo vykonané experimentálne testovanie. Predmetom experimentálneho testovania bolo preukázanie funkčnosti a prínosov systému. Na základe testovania bolo možné určiť prínos zariadenia pri využití v bezmotorovom lietaní. Výsledkom vyhodnocovania bolo preukázané zefektívnenie využívania termických prúdov. Tento fakt je preukázaný tým, že pri využití systému je zaznamenaný úbytok času stráveného v stúpaní, čo má za následok percentuálne menšiu časť letu strávenú v stúpaní. Toto zlepšenie bolo dosiahnuté tým, že prichádzalo k využívaniu jadier termických prúdov a eliminovalo sa využitie termických bublín. Zefektívnilo sa teda využitie týchto stúpavých prúdov. Na základe úspešnej analýzy parametrov vzduchu bude možné pokračovať vo výskume zameranom na implikáciu upravenej verzie navrhovaného systému do motorových lietadiel. Implikácia do motorových lietadiel bude slúžiť na identifikáciu nebezpečných javov v atmosfére. Medzi tieto javy sa zahrňuje termická turbulencia, microburst a iné. Tieto javy majú negatívny vplyv na bezpečnosť letu. V prípade využitia systému aj na tento účel, by mohlo prísť k zlepšeniu bezpečnosti letov.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Výskum a vývoj využiteľnosti autonómnych lietajúcich prostriedkov v boji proti pandémie spôsobenej COVID-19, kód ITMS 313011ATR9, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Referencie

- [1] World Meteorological Organization, Weather forecasting for soaring flight, Geneva: Chaiperson, Publications Board, 2009.
- [2] P. Dvořák, Termika aneb vyšší škola plachtění., Cheb: Svět křidel, 2002.
- [3] P. Dvořák, Letecká meteorologie, Svět křidel, 2010.
- [4] N. Camacho, Cooperative Autonomy of Multiple Solar-Powered Thermaling Gliders, 2014.
- [5] K. Andersson, Thermal Centering Control for Autonomous Soaring; Stability Analysis and Flight Test Results, 2012.
- [6] W. Vallejo, C. Diaz-Urbe and C. Fajardo, „Do-it-yourself methodology for calorimeter construction based in arduino data acquisition device for introductory chemical laboratories“, Heliyon, 2020.
- [7] P. Pecho, V. Ažaltovič, B. Kandra and M. Bugaj, „Introduction study of design and layout of UAVs 3d printed wings in relation to optimal lightweight and load distribution“, Transportation Research Procedia, pp. 861-868, 2019.
- [8] C. J. Pennycuick, „Chapter 10 Gliding Flight and Soaring“, rev. Pennycuick, C. J. (2008). Chapter 10 Gliding Flight and Soaring. Modelling the Flying Bird, , 2008, pp. 271-304.
- [9] Bugaj, M. 2015. Aeromechanika 1: základy aerodynamiky. 1. vyd. - Bratislava : DOLIS, 2015. - 208 s., ilustr. - ISBN 978-80-970419-3-9.