

Head of the editorial board

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

Members of editorial board

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

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

prof. Dr. Obrad Babic
University of Belgrade,
Serbia

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

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

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

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

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

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

prof. Dr. Johan Wideberg
University of Sevilla,
Spain

Richard Moxon
Cranfield University,
United Kingdom

Dr. Francisco García Benítez
University of Seville,
Spain

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
Brno University of Technology,
The Czech Republic

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

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

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

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

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

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

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

REGISTER

ALTERNATÍVNE METÓDY NAVIGÁCIE BEZPILOTNÝCH LIETAJÚCICH ZARIADENÍ

ALTERNATIVE NAVIGATION METHODS FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES

3

Močková, Ch., Dianovský R.

**NÍZKO-NÁKLADOVÉ PODNIKANIE LETECKÝCH DOPRAVCOV NA DLHÉ VZDIALENOSTI:
ÚSPEŠNÝ A PERSPEKTÍVNY MODEL?**

LONG-HAUL LOW-COST BUSINESS OF AIRLINES: A SUCCESSFUL AND PERSPECTIVE MODEL?

10

Tomová, A., Švancárová, N.

**ANALÝZA METEOROLOGICKÝCH BALÓNOV A SONDÁŽNYCH RAKIET AKO NÁSTROJOV NA
VÝSKUM ATMOSFÉRY**

*ANALYSIS OF METEOROLOGICAL BALLOONS AND SOUNDING ROCKETS AS DEVICES FOR
ATMOSPHERIC RESEARCH*

15

Malárik, S., Dianovský, R.

**NÁVRH VERNOSTNÉHO PROGRAMU AKO NÁSTROJA NA ZVÝŠENIE ZÁKAZNÍCKEJ
LOJALITY V LETECKEJ SPOLOČNOSTI**

*PROPOSAL OF A LOYALTY PROGRAM AS A MEANS OF ENHANCING CUSTOMER LOYALTY IN
THE AIRLINE INDUSTRY*

22

Baštáková, Z., Kováčiková, K., Nichtová, R.



ALTERNATÍVNE METÓDY NAVIGÁCIE BEZPILOTNÝCH LIETAJÚCICH ZARIADENÍ

ALTERNATIVE NAVIGATION METHODS FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES

Chiara Močková

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
mockovach@gmail.com

Robert Dianovský

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
dianovsky1@stud.uniza.sk

Abstract

This article deals with the analysis and comparison of alternative navigation methods for unmanned aerial vehicles (UAVs). The aim of the article is to evaluate the effectiveness of selected navigation systems in conditions where traditional GPS-based methods may fail. The introduction presents traditional navigation methods and their limitations. The article focuses on alternative solutions such as visual navigation, celestial navigation, radio signal-based positioning, and inertial visual odometry (VIO). In the final part, the practical implementation of a visual navigation system using drone imagery and satellite images is described, along with the evaluation of its reliability at different flight altitudes. The results confirm the high potential of visual navigation as an independent or complementary system for UAV operations.

Keywords

unmanned aerial systems, alternative navigation methods, visual localization, celestial positioning, inertial measurement unit, radio-based navigation, visual-inertial odometry

1. Úvod

Cieľom tohto článku je preskúmať a porovnať rôzne alternatívne metódy navigácie, ktoré by mohli byť využité pri navigácii bezpilotných lietajúcich zariadení (UAV). Tieto metódy sa zameriavajú predovšetkým na náhradu alebo doplnenie tradičných navigačných systémov, ako je GPS, ktorých dostupnosť môže byť v určitých prostrediach obmedzená alebo rušená. Medzi takéto prostredia patria najmä mestské oblasti, interiéry alebo miesta s aktívnym rušením signálov.

V oblasti bezpilotného letectva je spoľahlivá navigácia kľúčovým predpokladom pre bezpečnú a efektívnu prevádzku. Preto sa neustále hľadajú riešenia, ktoré by zabezpečili presnú lokalizáciu aj v náročných podmienkach. Alternatívne prístupy, ako vizuálna navigácia, celestiálna navigácia, navigácia pomocou rádiových signálov alebo vizuálno-inerciálna odometria, predstavujú sľubné možnosti.

Článok podrobnejšie opisuje jednotlivé alternatívne navigačné metódy a ich praktické využitie. Súčasťou práce je aj návrh systému vizuálnej navigácie využívajúceho snímky z dronu a ich porovnanie so satelitnými zábermi, s cieľom určiť presnú polohu UAV. Výsledky experimentov sú analyzované s dôrazom na spoľahlivosť navigácie pri rôznych výškach letu a v rôznych prostrediach.

2. Súčasný stav riešenej problematiky

Navigácia bezpilotných lietajúcich zariadení je v súčasnosti založená prevažne na dvoch hlavných technológiách: globálnom navigačnom satelitnom systéme (GNSS), predovšetkým GPS, a

inerciálnom navigačnom systéme (INS). (Krešák & Bérešová, 2014)

GPS (Global Positioning System) umožňuje presné určovanie polohy UAV kdekoľvek na svete, kde je dostupný satelitný signál. Tento systém je široko využívaný pre svoju vysokú presnosť, dostupnosť a bezplatné využívanie. Princíp fungovania GPS je založený na meraní času prenosu signálu medzi družicou a prijímačom, z ktorého sa vypočíta vzdialenosť a následne poloha v trojrozmernom priestore. Systém pozostáva z kozmického segmentu (satelity), riadiaceho segmentu (pozemné stanice) a užívateľského segmentu (prijímače). Napriek svojim výhodám je GPS citlivý na rušenie signálu, čo môže viesť k strate polohy v prostrediach ako sú mestské oblasti, interiéry alebo pri aktívnom elektronickom rušení. (Krešák & Bérešová, 2014)

Inerciálny navigačný systém (INS) predstavuje ďalší kľúčový nástroj na určovanie polohy UAV. INS je založený na spracovaní údajov z akcelerometrov a gyroskopov, ktoré merajú zrýchlenie a rotáciu zariadenia. Integráciou týchto údajov je možné odhadnúť aktuálnu polohu a orientáciu dronu bez závislosti na externom signáli. Výhodou INS je jeho odolnosť voči rušeniu a schopnosť autonómne fungovať, avšak v dôsledku integračných chýb sa presnosť časom znižuje. Pre zvýšenie presnosti INS sa bežne využívajú filtre, ako napríklad Kalmanov filter alebo komplementárny filter, ktoré pomáhajú minimalizovať akumuláciu chýb. (Pivarčiová, et al., 2015)

Obe technológie, GPS aj INS, sa v praxi často kombinujú, aby sa dosiahla vyššia presnosť a spoľahlivosť navigácie. Napriek tomu existujú situácie, kde ich využitie nie je dostatočné, čo vedie k potrebe vývoja alternatívnych navigačných metód.

3. Alternatívne metódy navigácie

Vzhľadom na obmedzenia tradičných navigačných systémov ako GPS a INS je dôležité hľadať efektívne a spoľahlivé alternatívne riešenia. Moderné bezpilotné lietajúce zariadenia často operujú v prostrediach, kde je satelitný signál nedostupný alebo rušený. Alternatívne navigačné metódy preto ponúkajú možnosť zabezpečiť presné určovanie polohy a orientácie aj v takýchto náročných podmienkach. V tejto časti sú podrobne rozpracované hlavné prístupy a technológie, ktoré predstavujú perspektívu v oblasti navigácie UAV.

3.1. Vizuálna navigácia

Vizuálna navigácia patrí medzi najčastejšie využívané alternatívne metódy navigácie dronov. Vďaka dostupnosti kamier a rozvoju spracovania obrazu umožňuje UAV orientáciu v priestore pomocou porovnávania snímok z palubnej kamery s vopred pripravenými mapami alebo prostredníctvom vytvárania vlastných máp počas letu. (Soklasa, 2010)

Metódy vizuálnej navigácie môžeme rozdeliť do niekoľkých skupín:

- **Systémy s existujúcou mapou**, kde dron porovnáva aktuálny vizuálny obraz s databázou snímok. (Soklasa, 2010)
- **Systémy vytvárajúce si mapu (SLAM)**, ktoré dokážu mapovať neznáme prostredie a zároveň určovať vlastnú polohu. (Straka, 2025) (Štec, 2024)
- **Topologické systémy**, ktoré pracujú na báze uzlov a hrán v prostredí. (GEOMAD, dátum neznámy)
- **Neuromorfné kamery**, inšpirované ľudským zrakom, ktoré zaznamenávajú len zmeny v jase a výrazne znižujú dátovú náročnosť. (FlySight, 2024)
- **Vizuálna odometria**, ktorá sleduje zmeny polohy dronu na základe po sebe nasledujúcich snímok. (Sanz, 2023)

Každá z týchto metód má svoje špecifické výhody a je vhodná na odlišné typy misí v rôznych prostrediach.

3.2. Kombinované metódy – Vizuálno-inerciálna odometria (VIO)

Kombinácia vizuálnych údajov a dát z inerciálnej meracej jednotky (IMU) predstavuje efektívny spôsob, ako zvýšiť presnosť navigácie. Vizuálno-inerciálna odometria (VIO) umožňuje určenie polohy a orientácie dronu aj v prostredí bez GPS signálu. V praxi sa využívajú rôzne varianty tejto technológie, ako napríklad RD-VIO, SRVIO alebo PL-VIO, ktoré prinášajú lepšiu robustnosť a presnosť v náročných podmienkach. (ThinkAutonomous, 2024)

3.3. Navigácia na základe rádiových signálov

Táto metóda využíva rôzne druhy rádiových vln na určovanie polohy. predstavuje a umožňuje presné určovanie polohy aj v prostrediach, kde GPS nie je dostatočne silný alebo je úplne nedostupný, napríklad v interiéroch alebo mestských kaňonoch. Zameriava sa na tri hlavné metódy navigácie:

- **Wi-Fi navigácia:** Wi-Fi navigácia funguje vďaka existujúcim Wi-Fi sieťam. K tejto navigačnej metóde priradujeme aj Wi-Fi- RTT (Round Trip Time), ktorá funguje na princípe, že meria čas, ktorý je potrebný na komunikáciu v oboch smeroch medzi prístupovým bodom aj dronom. Vďaka tejto metóde vieme získať presnosť až jeden meter v interiéri, pričom často je kombinovaná spolu práve s výškometri na získanie lepšej presnosti. Výhodou je veľká dostupnosť Wi-Fi sietí, no medzi nevýhodou patrí závislosť od stability signálu a rušenia. (Yuichiro & Kentaro, 2024)
- **Bluetooth navigácia:** v Bluetooth navigácia, najmä pomocou Bluetooth Low Energy (BLE), je vhodná na krátke vzdialenosti (do 10 metrov). BLE majáky môžu byť rozmiestnené v priestore, pričom dron určuje svoju polohu vďaka intenzite prijatého signálu (RSSI) alebo časových meraní. Táto technológia je energeticky efektívna, čo predlžuje dobu letu UAV, ale jej nevýhodou je obmedzený dosah a možnosť náchylnosti na rušenie inými zariadeniami. (Thi, 2023)
- **UWB lokalizácia:** ultra-širokopásmová technológia s centimetrovou presnosťou, vhodná pre interiéry a husté mestské oblasti.
- **Navigácia cez BTS a fingerprinting:** využíva mobilné základňové stanice a porovnáva aktuálne údaje s databázou známych signálových vzorov. (Bhattacharjee, 2024)

Tieto metódy sa často kombinujú pre zvýšenie presnosti a spoľahlivosti v rôznych prostrediach.

3.4. Celestiálna navigácia

Hoci ide o historicky najstaršiu formu navigácie, celestiálna navigácia si nachádza uplatnenie aj v súčasných moderných UAV systémoch. Princíp spočíva v sledovaní hviezd a ich pozícií na nočnej oblohe. Medzi jej kľúčové vlastnosti patrí práve jednoduchosť a nízka hmotnosť, nakoľko tento systém je na rozdiel od tradičných technológií jednoduchší, ľahší nevyžaduje ani komplikovaný hardware. Vďaka zloženiu z dostupných materiálov a komponentov sa tento systém stáva aj cenovo dostupný. Obrovskou výhodou je nezávislosť a nepoužívanie rádiových signálov, takže sa stáva nezávislým a odolným voči rušeniu. (Davis, dátum neznámy)

4. Porovnanie vybraných alternatívnych metód navigácie

Pri veľkom množstve alternatívnych metód navigácie je často problém vedieť sa rozhodnúť pre využitie tej správnej metódy pre konkrétne použitie. Dôležité v porovnaní bolo napríklad vzdialenosť na ktorú dokáže navigačný systém vhodne pracovať, presnosť s ktorou dokáže určiť svoju polohu ale aj jeho limity či použitie. Porovnávané boli metódy, ktoré sú spomenuté už v texte vyššie, ku ktorým patrí napríklad celestiálna navigácia, UWB lokalizácia, Wi-Fi navigácia a Bluetooth navigácia, vizuálna navigácia, odometria a ostatné už z vyššie spomenutých. Poukázané je aj na vhodnosť použitia týchto systémov ako doplnkových navigačných systémov ku GPS alebo INS navigácii.

4.1. Porovnávané parametre

Pre porovnanie rôznych metód alternatívnej navigácie je potrebné si vopred určiť rovnaké parametre, podľa ktorých sa budú porovnávať všetky navigačné systémy aby, aby sa predišlo k skresľovaniu výsledkov. Tieto parametre musia byť objektívne pre každú metódu a musia brať ohľad aj na ich praktickú využiteľnosť pri rôznych podmienkach a v rôznych scenároch. Okrem využitia musia byť spomenuté aj limity, pri ktorých sa navigačný systém stáva menej vhodným na použitie.

4.1.1. Spoločlivá vzdialenosť

Spoločlivá vzdialenosť je dôležitou časťou porovnania. Ide o vzdialenosť, na ktorú je vybraná navigačná metóda schopná pracovať presne bez odchýlok. Toto je veľmi dôležité pri plánovaní letov, vďaka čomu môže byť vybratá správna navigačná metóda s vyhovujúcim dosahom pre danú potrebnú operáciu. Jedná sa konkrétne o vzdialenosť, pri ktorej je dostatočujúca intenzita signálu pre správne a presné fungovanie celého systému.

4.1.2. Využitie

Časť využitia je porovnávaná z dôvodu rozličných možností využitia, rôznych navigačných systémov. Je to dôležité pre správny výber použitej navigačnej metódy nakoľko rôzne metódy sú určené pre rôzne aplikácie a použitie či už v exteriéry alebo interiéry.

4.1.3. Možnosti

Časť s názvom možnosti je dôležitá pre informácie, ktoré nám určujú, ako dokáže systém pracovať a čo ponúka odlišné od ostatných navigačných systémov. Rôzne možnosti využitia nám určujú rôzne navigačné metódy.

4.1.4. Limitácie

Časť s názvom limitácie navigačných systémov je veľmi dôležitou časťou celého porovnania. Táto časť sa zaoberá rôznymi vecami, ktoré dokážu obmedziť výkon konkrétneho navigačného systému. Sú to rôzne obmedzenia, ktoré znižujú použiteľnosť a presnosť vybranej navigačnej metódy.

4.1.5. Presnosť

Kritérium presnosti určuje schopnosť systému lokalizovať objekt s minimálnou odchýlkou. Centimetrová presnosť, ktorá je ľahko dosiahnuteľná s napríklad UWB lokalizáciou je ideálna pre aplikácie, ktoré si vyžadujú vysokú presnosť, zatiaľ čo systémy s metrovou presnosťou ako je napríklad Bluetooth navigácia sú zasa vhodnejšie pre operácie, ktoré sú menej náročné na presnosť.

4.2. Výsledky porovnania

Na základe predchádzajúcich kritérií bolo vykonané porovnanie alternatívnych metód navigácie bezpilotných lietajúcich zariadení. Porovnávaná bola presnosť, dosah, limitácie a možnosti využitia. Z tohoto porovnania vyplynuli výsledky, ktoré sú popísané nižšie. Na základe výsledkov bola za najvhodnejšiu

alternatívnu metódu navigácie identifikovaná práve vizuálna navigácia.

4.2.1. Celestiálna navigácia

Na prvý pohľad najlepšia možnosť alternatívnej navigačnej metódy aj vďaka svojmu obrovskému dosahu a nezávislosti na GPS signály. Obrovskou nevýhodou, je možnosť využitia len v noci počas jasnej oblohy, však túto metódu úplne vylučuje z možnosti využitia ako alternatívnej navigačnej metódy počas dňa. Možnosť využitia zostáva ako doplnkový navigačný systém v noci.

4.2.2. UWB navigácia

UWB lokalizácia vyniká výbornou presnosťou na krátke vzdialenosti, avšak pri použití na väčšie vzdialenosti je jej dosah obmedzený na približne 100 metrov, čo robí túto navigáciu nevhodnú pre použitie v exteriéroch. Rovnako potrebuje táto technológia aj špecifickú infraštruktúru, čo ju robí menej univerzálnou pri použití v rôznych prostrediach.

4.2.3. Wi-Fi navigácia

Wi-Fi navigácia je vhodnou možnosťou vďaka cenovej dostupnosti, nakoľko táto navigačná metóda využíva existujúce Wi-Fi siete a nie je potrebné vytváranie novej infraštruktúry. Jej presnosť je však nižšia ako pri ostatných navigačných systémoch a závislosť na pokrytí konkrétnej oblasti Wi-Fi signálom ju robí nevhodnou pre použitie v odľahlých oblastiach.

4.2.4. Bluetooth navigácia

Bluetooth navigácia vyniká hlavne svojou nízkou energetickou náročnosťou a jednoduchosťou celého systému. Jej obrovskou nevýhodou je však krátky dosah a nízka presnosť. Tento typ navigácie je tak vhodný iba pri malých zariadeniach v konkrétnych priestoroch.

4.2.5. VIO (Vizuálno-inerciálna odometria)

Vizuálno-inerciálna odometria je navigačná metóda, ktorá dokáže presné určenie polohy aj bez GPS práve vďaka fungovaniu inerciálnych senzorov a kamier pre vizuálny obraz. Má vysokú presnosť avšak tá je limitovaná od kvality snímok a prostredia, čo vie byť nepresné v zhoršených svetelných podmienkach alebo pri homogénnom prostredí.

4.2.6. Odometria

Odometria je vhodná len ako doplnkový navigačný systém pre kratšie vzdialenosti, nakoľko pri dlhších trasách sa zväčšuje chyba a navigácia sa tak stáva nepresnou.

4.2.7. Neuromorfné kamery

Navigácia fungujúca na základe neuromorfných kamier, vďaka ktorým vieme využiť presnejšie spracovanie obrazu. Tento navigačný systém je však pomerne nový a málo preskúmaný preto aktuálne nemáme dostatočné množstvo informácií. Keďže ide o novinku, ďalšou nevýhodou týchto kamier je vyššia cena.

4.2.8. Vizuálna navigácia

Vizuálna navigácia sa ukázala ako najperspektívnejšia alternatívna metóda navigácie pre bezpilotné lietajúce zariadenia. Vďaka schopnosti detegovať prekážky či mapovať prostredie. Dosahovať dokáže centimetrovú až metrovú presnosť čo predstavuje univerzálne riešenie pre autonómne drony. Jej nezávislosť od externých signálov jej umožňuje nezávislé fungovanie aj v odľahlých oblastiach alebo prostrediach bez vystavanej infraštruktúry. Hoci kvalita obrazu a osvetlenie môžu ovplyvniť jej funkčnosť, tieto nedostatky sa dajú optimalizovať správnym návrhom systému. Z výsledkov môjho porovnania, v ktorom bola určená práve vizuálna navigáciu za najperspektívnejšiu metódu navigácie, bolo rozhodnuté praktickú časť zamerať práve na túto metódu. Praktická časť pozostáva z nasnímania vybraných lokalít z rôznych výšok dronom a následné porovnanie týchto snímok s vopred stiahnutou satelitnou snímku. Systém sa bude pokúšať detegovať podobné body a vyráta súradnice polohy dronu. Cieľom tohoto experimentu je potvrdiť, že je vizuálna navigácia vhodnou alternatívnou metódou navigácie pre bezpilotné lietajúce zariadenia. Zameranie bude na spoľahlivosť tohoto systému v rôznych výškach a v rôznych prostrediach.

5. **Praktická implementácia vybranej metódy alternatívnej navigácie**

Na základe výsledkov predošlého porovnania bola za najperspektívnejšiu metódu navigácie určená vizuálna navigácia. V nasledujúcej časti bol vytvorený experiment pre potvrdenie predošlého výsledku. Dôležitou časťou bolo vytvorenie si postupu práce a návrh algoritmu pre konkrétne praktické riešenie.

5.1. Postup práce

V praktickej časti tejto práce bolo zamerané už na spomínanú vizuálnu navigáciu. Bolo veľmi dôležité vytvoriť presný postup práce, ktorý zahŕňal množstvo potrebných krokov. Každý krok musel byť premyslený a neskôr aj poctivo realizovaný. Na začiatok bolo potrebné vytvorenie návrhu a neskôr jeho premena do reálnych podmienok. Nakoniec bol vytvorený systém, ktorý porovnáva real-time fotografie z dronu s vopred stiahnutými satelitnými snímkami.

5.1.1. Výber lokality na zhotovenie dronových snímok

Ako prvý krok bolo vybratie správnej lokality pre snímanie dronových záberov. Pri tomto kroku bolo kladené dôležité kritérium na overenie funkčnosti systému a to rôznorodosť snímaného prostredia. Nakoniec bolo rozhodnuté pre nasledovné:

- **Homogénne prostredie poľa**- Toto prostredie bolo vybraté práve z hľadiska nízkeho počtu možných zachytných bodov na snímkach, čo vedie k predpokladu nižšej presnosti funkčnosti navigačného systému. Toto prostredie umožnilo testovať limity vizuálnej navigácie z hľadiska počtu zachytných bodov.
- **Mestské prostredie**- Práve prostredie mesta, v ktorom sa nachádza väčšie množstvo zachytných bodov je vhodná testovacia plocha aj na testovanie z rôznych výšok. Vďaka tomuto prostrediu vieme otestovať funkčnosť v rámci veľkosti

podobných bodov. V mestskom prostredí sa nachádza dostatočné množstvo zachytných bodov, ako sú napríklad stromy alebo cesty či chodníky. Výber týchto dvoch lokalít bol dôležitý pre testovanie systému v rôznych podmienkach na získanie veľkého množstva výsledkov.

5.1.2. Výber zdroja satelitných snímok

Po výbere lokalít pre snímky z dronu, nasledovala nutnosť výberu zdroja satelitnej snímky. Zvážené boli viaceré možnosti avšak ako najvhodnejšiu možnosť boli vybrané satelitnej údaje od spoločnosti Airbus, presnejšie snímky z roku 2025, ktoré vznikli v spolupráci s CNES, ktoré boli dostupné na stránke Google Earth. Práve Airbus poskytuje snímky v dobrom rozlíšení vhodné na presné porovnanie so snímkami z dronu. Platforma Google Earth zasa zabezpečuje jednoduchú manipuláciu a dobrý prístup k potrebným údajom.

5.1.3. Určovanie výšky zhotovovania dronových snímok

Ďalším krokom v postupe je určenie si vhodnej výšky na snímanie fotografií z dronu. Rozhodnuté bolo pre nasledujúce tri výšky:

- 30 metrov- Malá výška poskytuje viac zachytených detailov, avšak jej počet vizuálnych referenčných bodov je nižší.
- 60 metrov- Stredná výška prináša kompromis medzi detailmi a počtom vizuálnych referenčných bodov.
- 120 metrov- Vyššia výška dáva možnosť zachytiť väčšiu plochu, avšak kvalita snímky sa znižuje, čo môže viesť k zníženému počtu detailov. Testovanie na rôznych výškach bolo dôležité na overenie vplyvu výšky na kvalitu výsledkov a spoľahlivosť systému.

5.1.4. Výber programovacieho prostredia

Pri výbere programovacieho systému bola vzatá do úvahy hlavne jeho jednoduchosť a množstvo materiálov na ovládanie, nakoľko v programovaní som nemala žiadne predošlé skúsenosti. Vybraná bola aplikácia PyCharm, ktorá pracuje v programovacom jazyku Python. Tento systém ponúkol dostatočné možnosti na vytvorenie praktickej časti a otestovaní funkčnosti celého systému.

5.1.5. Návrh algoritmu na porovnanie snímok

Samotný návrh algoritmu zahŕňal niekoľko krokov:

- Prekonvertovanie snímok do grayscale formátu- Tento krok je dôležitý kvôli zjednodušeniu procesu porovnania tým, že sa odstránia farebné informácie a zachovávajú sa len základné vizuálne prvky snímok.
- Vyhľadávanie podobných bodov medzi snímkami- Algoritmus analyzuje dronové fotografie a satelitné snímky s cieľom identifikovať spoločné body (napr. budovy alebo cesty).
- Vyznačenie oblasti na satelitnej snímke, kde bola pravdepodobne zhotovená dronová fotografia. Počas testovania bol zistený problém s rozdielnou veľkosťou snímok a orientáciou objektov na satelitných snímkach čo spôsobovalo

chyby pri výsledkoch mojej práce. Problém s veľkosťou snímok bol vyriešený pridaním časti do kódu, ktorá si na základe výšky snímky satelitu a výšky snímky dronu upraví cez jednoduchý prepočet na pomer jednotlivé veľkosti. Hoci tento proces bol časovo náročnejší, umožnil dosiahnuť funkčný systém. Ďalším problémom bola orientácia snímok a tento problém bol vyriešený manuálnou úpravou otočenia satelitnej snímky. Do budúcnosti je plánované efektívne vylepšenie procesu pomocou kódu.

5.1.6. Vylepšenie systému o spoľahlivosť výsledkov

Aby mohlo byť overené ako si je systém percentuálne istý svojím výsledkom, vytvorený bol kód pre výpočet percentuálnej istoty vyznačenej oblasti. Tento výpočet umožňuje posúdiť či je skúmaná navigačná metóda dostatočne spoľahlivá.

5.1.7. Určenie súradníc polohy dronu

Poslednou časťou bolo naprogramovanie systému na výpočet presných súradníc polohy dronu v rámci vyznačenej oblasti. Na základe známych súradníc z ľavého horného rohu satelitnej snímky a pravého dolného rohu satelitnej snímky systém vypočítal polohu dronu podľa jeho pozície vo vyznačenej oblasti.

5.2. Výsledky experimentálnej časti

Po vykonaní experimentu nasleduje časť, v ktorej budú odprezentované konkrétne výsledky, ktoré boli získané počas praktickej časti. Táto časť práce postupuje presne podľa predošlých popísaných krokov. Výsledné dáta som spracovala a vytvorila tak výsledky presnosti a možnosti využitia vizuálnej navigácie ako samostatnej navigačnej metódy. Príklad satelitnej snímky a snímky z dronu je priložený v nasledujúcich snímkach nižšie.



Obrázok 1. Satelitná snímka.



Obrázok 2. Snímka z dronu.

Cieľom experimentu bolo overiť, do akej miery je navrhnutá vizuálna navigácia schopná spoľahlivo s dostatočnou

presnosťou identifikovať polohu dronu v rôznych prostrediach a pri rôznych výškach snímania. V tejto časti práce sú preto rozobraté získané výsledky, hodnotenie úspešnosti systému v homogénnych a aj mestských oblastiach a analýza vplyvu zvolených výšok snímania. Tieto výsledky môžu podať celkový pohľad na výhody aj nevýhody použitia vizuálnej navigácie, čo prináša základ pre záverečné zhodnotenie vybranej navigačnej metódy. Na základe vyhodnotenia 18 relevantných snímok (šesť lokalít v troch rozličných výškach) bol analyzovaný výkon vizuálneho navigačného algoritmu. Vybrané výsledky sú k videniu nižšie. Zelený rám obrázku značí, že poloha bola vyhodnotená správne, červený rám značí, že poloha bola identifikovaná nesprávne. Zelený rám vo fotke ukazuje označenú oblasť fotografie so stredom (červenou bodkou) programom.



Obrázok 3. Nesprávne označená oblasť z výšky 30 metrov.



Obrázok 4. Správne označená lokalita z výšky 60 metrov.



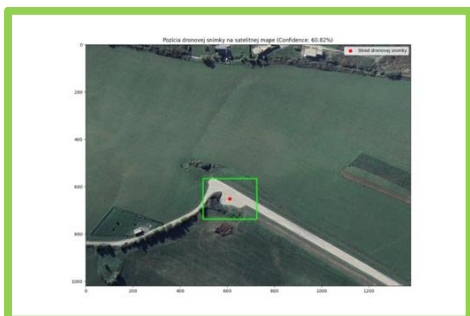
Obrázok 5. Správne označená lokalita z výšky 120 metrov.

V tomto prípade je možné vidieť že systém funguje správne v mestskom prostredí, v ktorom má dostatočný počet záchytných

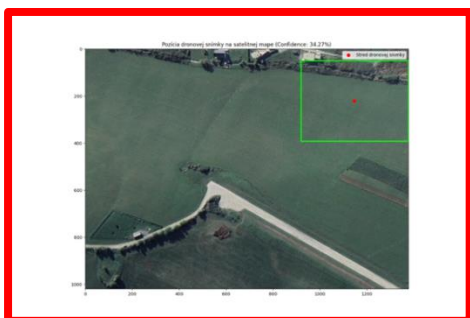
bodov. Systém však funguje len pri výške 120 metrov a 60 metrov, kedy svoju polohu určil správne. Pri výške 30 metrov, kde bola na dronovej snímke zachytená zákruta parkoviska sa pri prevode na čiernebiele odtiene táto zákruta podobala aj na hranu susedného poľa a systém vyhodnotil práve toto pole za správnu lokalitu. Z tohoto vyplýva, že v mestskej oblasti systém pracuje spoľahlivejšie vo vyšších miestach. Kde má dostatok rôznorodých záchytných bodov.



Obrázok 6. Správne označená oblasť z výšky 30 metrov.



Obrázok 7. Správne označená oblasť z výšky 60 metrov.



Obrázok 8. Nesprávne označená oblasť z výšky 120 metrov.

Pri homogénnom prostredí však nastáva opačný problém ako s mestským prostredím. Vyhodnotené boli správne snímky z výšky 30 metrov a 60 metrov, práve vďaka lepšiemu priblíženiu a sústreďeniu na konkrétny bod, ktorý bol v tomto prostredí zároveň aj jediným. Pri vyššej výške a to konkrétne 120 metrov, systém našiel väčšiu zhodu práve vo zvyšku homogénneho prostredia a práve kvôli tejto zhode bola detegovaná chybná oblasť.

5.3. Vplyv výšky dronu na výsledky

Nakoľko bola každá lokalita snímaná z rôznych výšok. Bola spravená analýza aj na vplyv výšky dronu na výsledky. Tie nám však dokazujú, že vplyv výšky v rôznych prostrediach sa často mení.

Pri homogénnom prostredí ako je napríklad pole alebo voda bola väčšia výška práve nevýhodou, pretože zaznamenávala väčšiu oblasť, čo viedlo pri homogénnom prostredí k nájdeniu viacerých spoločných bodov. Výška v tomto prípade poskytovala síce väčší prehľad, ale zároveň znižovala množstvo detailov, čo viedlo k nesprávnemu určeniu zhody v tomto prostredí. Pri takomto prostredí sa za najspoľahlivejšie ukázala práve nižšia výška pre zachytenie aj drobných detailov, v ktorých program spoznal podobnosti.

5.4. Výpočet súradníc

Keď systém našiel zhodu a určil polohu dronu vyznačením na satelitnej snímke, na základe vopred daných súradníc vypočítal geografické súradnice polohy dronu.

V prípadoch, kde bola zhoda správne identifikovaná systém pracoval pomerne presne, a geografické súradnice vyrátal presne v tolerancii 90 metrov. Pre lepšiu predstavu na nasledujúcich snímkach je možné vidieť súradnice GPS z dronu, súradnice získané výpočtom z kódu a reálne porovnanie týchto bodov.

Zemepisná šírka: 49° 10' 11,724" S
Zemepisná dĺžka: 18° 46' 49,362" V

Obrázok 9. GPS údaje z dronu.

Približná poloha dronu (GPS): 49.10146294117647 18.46469985486212

Obrázok 10 Súradnice získané programom



Obrázok 11. Porovnanie výsledku údajov.

Výpočet súradníc je pomerne presný a potvrdzuje nám možnosť využitia vizuálnej navigácie ako samostatnej navigačnej metódy. Je potrebných pár úprav pre zdokonalenie celého systému, ale systém má veľký potenciál na presné určenie polohy dronu.

6. Záver

Cieľom tejto práce bolo porovnanie navigačných metód pre bezpilotné lietajúce zariadenia a overenie funkčnosti vybranej navigačnej metódy. V práci sú spomínané alternatívne metódy navigácie bezpilotných lietajúcich prostriedkov ako je napríklad vizuálna navigácia, celestiálna navigácia alebo aj novinky v oblasti navigácie dronov ako sú napríklad neuromorfné kamery. Práve z týchto metód bola vybratá na základe

porovnania vizuálna navigácia, ktorá vyzerala najperspektívnejšie na testovanie praktickej časti.

Vizuálna navigácia je aktuálne najperspektívnejšou alternatívnou metódou, ktorá by mohla nahradiť tradičné alternatívne metódy alebo byť im vhodným doplnkovým systémom. V praktickej časti bolo zamerané na testovanie limitov a presnosti fungovania vizuálnej navigácie. Test prebiehal v rôznych lokalitách (homogénne prostredie poľa a mestská oblasť) a v rôznych výškach letu dronu (30 metrov, 60 metrov a 120 metrov).

Overovaná metóda, ktorá pracuje na základe hľadania podobnosti medzi snímkom z dronu a satelitnou snímkom nám vytvorila základ možnosť nasledujúceho štúdia a vývinu tejto metódy. Výsledky nám poukázali na nedostatky a limity, ktoré sú potrebné prekonať. Medzi tieto limity patrí napríklad spomínané homogénne prostredie či väčšia nižšia výška letu v mestských oblastiach. Ukázalo sa však, že systém na určovanie súradníc je pomerne presný a malými úpravami by bol vhodný na použitie v realite. Vizuálna navigácia má teda veľkú šancu stať sa plnohodnotnou navigačnou metódou pre bezpilotné lietajúce zariadenia.

Táto práca vytvára pevný základ pre ďalší výskum a vývoj v oblasti navigácie dronov, pričom získané poznatky môžu byť cenným prínosom pre budúce aplikácie v praxi.

Pod'akovanie

Tento výskum bol podporený v rámci projektu FUTUREFOR – Aplikácie programu Copernicus pre monitorovanie lesov novej generácie, výzva HORIZON-CL3-2023-DRS-01, Zmluvné číslo 101180278.

Referencie

- Bhattacharjee, A., 2024. Fingerprinting of Cellular Infrastructure Based on Broadcast Information. Cham: Springer.
- Davis, dátum neznámy Davis. [Online] Available at: <https://www.davisinstruments.com/pages/what-is-celestial-navigation> [Cit. 21 Január 2025].
- FlySight, 2024. FlySight. [Online] Available at: <https://www.flysight.it/what-are-neuromorphic-sensors-what-you-need-to-know/> [Cit. 19 Január 2025].
- GEOMAD, dátum neznámy GEOMAD. [Online] Available at: <https://geomad.sk/sluzby/letecke-snimkovanie/> [Cit. 17 Február 2025].
- Krešák, J. & Bérešová, A., 2014. Integrácia medzi inerciálnym navigačným systémom a globálnym navigačným systémom, s.l.: Perner's Contacts.
- Pivarčiová, Božek & Popelka, 2015. Možnosti zvyšovania prevádzkovej spoľahlivosti robotizovaných systémov, Zvolen: Vega.

Sanz, M., 2023. Sistema de odometria visual para la localización de robots móviles. s.l.:s.n.

Soklasa, 2010. Vizuálna navigácia autonómnych robotov s využitím podobnostného vyhľadávania, Brno: Masarykova Univerzita.

Straka, R., 2025. Skenovanie technológiou lidar, s.l.: SKYmove.

Štec, F., 2024. Globálna sématická mapa pre navigáciu autonómnych lietajúcich prostriedkov. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave.

Thi, M. N. V., 2023. Wireless Communications for Unmanned Aircraft System. s.l.:ISRES Publishing.

ThinkAutonomous, 2024. ThinkAutonomous. [Online] Available at: <https://www.thinkautonomous.ai/blog/visual-inertial-odometry/> [Cit. Január 2025].

Yuichiro, S. & Kentaro, K., 2024. Experimental study on indoor drone positioning using Wi-Fi. s.l.:IEICE.



NÍZKO-NÁKLADOVÉ PODNIKANIE LETECKÝCH DOPRAVCOV NA DLHÉ VZDIALENOSTI: ÚSPEŠNÝ A PERSPEKTÍVNY MODEL?

LONG-HAUL LOW-COST BUSINESS OF AIRLINES: A SUCCESSFUL AND PERSPECTIVE MODEL?

Anna Tomová

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

Nikola Švancárová

Raková 1671
023 51 Raková
nikolasvancarova@icloud.com

Abstract

The paper discusses some costs and revenues aspects of long-haul low-cost business model of air carriers. The paper confirms that the average lifespan of long-haul low-cost carriers has increased in time, supporting in this way the research of competitive advantage of such business model. According to the paper's findings, existing long-haul low-cost carriers are differently hybridized, and therefore we can pronounce that there is more than one long-haul low-cost business model. In this regard, it is questionable whether the concept of long-haul low-cost carrier is proper in current academic terminology and whether the traditional classification of air carriers business models is still inspiring for academic research and managerial practise as well.

Keywords

long-haul low cost carrier (LH LCC), CASKM, product policy, business model

1. Úvod

Podnikanie so službami pravidelných leteckých dopravcov prináša inovácie, ku ktorým patrí aj model nízko-nákladového podnikania na dlhé vzdialenosti. Model nízko-nákladového podnikania, ktorý vznikol v dôsledku liberalizácie trhov, radikálne zmenil ponuku leteckých dopravných služieb a nízko-nákladoví dopravcovia sa stali významnými konkurentmi tradičných leteckých dopravcov v podnikaní na krátke a stredné vzdialenosti. Otázka, či a ako je možné vstúpiť s nízko-nákladovým podnikaním na dlhé vzdialenosti a či je možné na takýchto trasách efektívne konkurovať tradičným leteckým dopravcom, je takmer štvrtstoročie nielen predmetom akademického výskumu, ale aj významným problémom riadiacej praxe.

V tomto článku sa venujeme zaniknutým, ale aj existujúcim nízko-nákladovým dopravcom na dlhé vzdialenosti (LH LCCs) vo svete, sumarizujeme spôsob vzniku a dobu pôsobenia týchto dopravcov na trhoch, porovnávame vybraných LH LCCs s vybranými klasickými¹ nízko-nákladovými a tradičnými dopravcami z hľadiska jednotkových prevádzkových nákladov na jeden ponúkaný osobokm (CASK). Súčasťou článku je aj prezentácia výsledkov CANVAS analýzy modelov podnikania 11 LH LCCs na základe zvolených atribútov podľa Osterwaldera a Pigneura (2010). V závere článku sú diskutované najdôležitejšie zistenia a výzvy pre budúci výskum.

2. Sumarizácia stavu súčasného poznania

Otázku novej úspešnosti modelu nízko-nákladového podnikania na dlhé vzdialenosti medzi prvými skúmal Morrel

(2008). Wensveen a Leick (2009) zdôraznili, že nie všetky zdroje nákladovej výhody nízko-nákladového modelu podnikania je možné aplikovať pri leteckých dopravných službách na dlhé vzdialenosti a stanovili tri modely podnikania vhodné pre tieto trhy: model sieťového špecialistu, model cenového špecialistu a model produktového špecialistu. Práve v modeli podnikania cenového špecialistu bola autormi identifikovaná možnosť uplatnenia nízko-nákladovej stratégie. Poret et al. (2015) analyzovali dve trasy na dlhé vzdialenosti na transatlantickom trhu z pohľadu možného uplatnenia modelu nízko-nákladového podnikania prevádzkovaním typu lietadla Boeing 787-8. Okrem stanovenia zdrojov nákladovej výhody sa autori zamerali aj na možnosti generovania doplnkových výnosov, v dôsledku čoho by sa model nízko-nákladového podnikania na transatlantickom trhu stal ekonomicky životaschopným. Podobné zameranie mal článok Whytea a Lohmanna (2015), ktorí preskúmali potenciál pre nízko-nákladové podnikanie na dlhé vzdialenosti na tzv. Kangaroo route. Ich výskum poukázal na možnú nákladovú výhodu v konkurencii voči tradičným dopravcom, ktorá by však bola nižšia v porovnaní s výhodou, ktorú majú nízko-nákladoví dopravcovia prevádzkujúci krátke a stredné trasy oproti tradičným dopravcom. Autori tiež vzniesli otázku, či budú na dlhé vzdialenosti cestujúci ochotní zdať sa komfortu cestovania v prospech nižšej ceny, a prispeli takto k diskusii o produktovej politike LH LCCs. Soyk et al. (2017) potvrdili nákladovú výhodu modelu nízko-nákladového podnikania na dlhé vzdialenosti a identifikovali udržateľnú časť nákladovej výhody LH LCCs, ktorá je predpokladom pre ich trvalejšie pôsobenie na trasách na dlhé vzdialenosti. Takisto sa zmienili o dvoch protichodných

¹ Pojmom klasický nízko-nákladový dopravca budeme označovať nízko-nákladových dopravcov nepodnikajúcich na trasách na dlhé vzdialenosti.

Odborná literatúra na ich označenie používa aj skratku LC SH (low cost short haul).

názoroch na produktovú politiku LH LCCs, v ktorej sa ukrýva otázka, či je model nízko-nákladového podnikania na dlhé vzdialenosti len prenesením klasického nízko-nákladového modelu na dlhé trasy alebo či sa v produktovej ponuke LH LCCs nachádzajú rozlične diferencované produkty z hľadiska komfortu cestovania a poskytovaných služieb pokrytých cenou letenky, čo vyvoláva otázku o miere hybridizácie modelu podnikania na dlhé vzdialenosti. Materna a Tomová (2016) sa priklonili sa k názoru, že model nízko-nákladového podnikania na dlhé vzdialenosti je z hľadiska atribútov modelu podnikania rozlične hybridizovaným modelom podnikania a za zdroj konkurenčnej výhody LH LCCs určili vhodný mix atribútov modelu podnikania tradičných a nízko-nákladových dopravcov podľa špecifik jednotlivých trhov. Význam produktovej politiky v modeli nízko-nákladového podnikania zdôraznili Soyk et al. (2018), ktorí upriamili svoju analýzu na výnosovú stránku LH LCCs a porovnali ich v tomto ohľade s tradičnými dopravcami. Zistili, že relatívne nižšiu nákladovú výhodu v podnikaní na dlhé vzdialenosti oproti tradičným dopravcom v porovnaní s obsluhou trás na krátke a stredné vzdialenosti môžu LH LCCs kompenzovať výnosmi (berúc do úvahy výnos na ekvivalentnú kapacitu), čo vyvrátilo prevažujúce predchádzajúce tvrdenia, že udržateľnosť modelu nízko-nákladového podnikania na dlhé vzdialenosti vyplýva najmä z nákladovej výhody. Výnosovými aspektmi podnikania LH LCCs na trhoch Juhovýchodnej Ázie, sa zaoberali Soliman et al. (2022), ktorí dospeli k záveru, že na niektorých trasách môžu LH LCCs dosahovať lepšie výnosy na ekvivalentnú kapacitu oproti tradičným dopravcom. Hunt and Truong (2019) pomocou dát z prieskumu a následnej faktorovej analýzy identifikovali preferencie cestujúcich vo výmennom obchode medzi cenou a komfortom pri voľbe dopravcu na transatlantickom trhu. Ich výskum odhalil väčšiu lojalnosť cestujúcich preferujúcich tradičných dopravcov oproti LH LCCs, ale zároveň ukázal, že aj tradiční dopravcovia aj nízko-nákladoví dopravcovia na dlhé vzdialenosti majú miesto na transatlantickom trhu. Kuljanin et al. (2019) zamerali svoju pozornosť na účinky vstupu LH LCCs na transatlantický trh z pohľadu tradičného dopravcu. Analýzou troch vybraných vysoko frekventovaných transatlantických trás z Londýna zistili, že vstup spoločnosti Norwegian na transatlantické trasy spôsobil pokles cien British Airways, na čo British Airways reagovala navýšením kapacít, využívajúc takto zákonitosť S-krivky.² Kapacitná reakcia British Airways ukázala, že popri cenovej a produktovej politike je navýšenie kapacít tretím zo základných strategických nástrojov v konkurencii tradičných dopravcov a nízko-nákladových dopravcov v podnikaní na dlhé vzdialenosti. Konkurenčnými výhodami nízko-nákladových dopravcov podnikajúcich na dlhé vzdialenosti a tradičných dopravcov sa zaoberali Renold et al. (2019), ktorí upriamili svoju analýzu na analýzu ziskovosti, pretože dlhodobá tvorba zisku je základným predpokladom pre dlhodobú existenciu dopravcu na trhu. Podobne ako Kuljanin et al. (2019) porovnali v tomto ohľade British Airways a Norwegian. Účinok vstupu LH LCCs na zníženie cien na severoatlantickom trhu potvrdili vo svojom výskume aj Soyk et al. (2021) a k podobnému záveru dospeli aj Miyoshi a Molina-Prados (2022), ktorí vyslovili tvrdenie o možnej životaschopnosti modelu nízko-nákladového podnikania na dlhé vzdialenosti. Zmienili sa tiež o reakciách

tradičných dopravcov oproti nízko-nákladovej konkurencii v oblasti produktovej politiky, a to zavádzaním ekonomickej triedy a ďalšími formami „unbundlingu“ produktu pri letoch na dlhé vzdialenosti. Potenciál konkurenčnej odpovede tradičných dopravcov na trasách na dlhé vzdialenosti voči nízko-nákladovým konkurentom v cenovej politike a produktovej politike identifikovali Zuidberg a de Witt (2020), ktorí vyslovili istú pochybnosť o dlhodobej udržateľnosti modelu nízko-nákladového podnikania na severoatlantických trasách. Títo autori v závere svojho článku vyslovujú myšlienku o budúcej adaptácii modelov LH LCCs, čo považujú za predpoklad ich udržania sa na príslušných trhoch. Gudmundson (2023) dokonca označil model nízko-nákladového podnikania ako krehký s unikátnymi charakteristikami a za predpoklad úspešnosti tohto modelu označil nutnosť hľadania inovatívnych zdrojov nákladovej výhody.

Zo sumarizácie súčasného stavu poznania, že model nízko-nákladového podnikania na dlhé vzdialenosti nezodpovedal definitívne otázku, či ide z hľadiska vývoja v čase o krehký alebo životaschopný model podnikania. Doterajší výskum tiež používa skratku LH LCC³ ako verbálnu nálepku pre vzájomne sa odlišujúcich leteckých dopravcov z hľadiska atribútov ich modelov podnikania a táto odlišnosť nie je takisto komplexnejšie preskúmaná.

3. Ciele a metodika výskumu

Prvým cieľom výskumu bolo potvrdenie alebo vyvrátenie predpokladu, že model nízko-nákladového podnikania v čase vykazuje slabú životaschopnosť. Na verifikáciu/falzifikáciu tvrdenia sme použili porovnanie priemernej doby existencie zaniknutých a stále existujúcich LH LCCs v rokoch.⁴ Oba zoznamy LH LCCs boli vytvorené na základe LH LCCs, o ktorých sa zmieňovala dostupná vedecká literatúra a tiež na základe vlastného internetového prieskumu.

Druhým cieľom výskumu bolo porovnanie vybraných atribútov modelu podnikania existujúcich LH LCCs na zodpovedanie výskumnej otázky, či je model podnikania označovaný ako LH LCC jeden model alebo ide skôr o spektrum modelov podnikania s rozličnou mierou hybridizácie. Z atribútov modelu podnikania sme sledovali homogénnosť flotily (prostredníctvom HHI), vybrané aspekty produktovej politiky (počet cestovných a počet rezervačných tried; ponuku „only seat“), (ne)existenciu vernostného programu. Na posúdenie možnej kapacitnej odpovede v konkurencii s tradičnými dopravcami sme spracovali aj informácie o veľkosti flotily. Atribúty modelov podnikania analyzovaných LH LCCs boli zhromaždené v priebehu marca 2025.

Do výskumu sme zaradili aj stanovenie CASK vo vzťahu k priemernej letovej vzdialenosti pre analyzovaných LH LCCs a vybraných tradičných a vybraných klasických nízko-nákladovými dopravcov za rok 2023. Takúto analýzu publikovala CAPA (2025), v ktorej však LH LCCs (vo verejne dostupnej verzii výstupov z analýzy) neboli analyzovaní osobitne ako samostatná skupina a analýza zahŕňala iba európskych dopravcov. Informácie o CASK analyzovaných LH LCCs boli získané

² Portfóliom možných strategických reakcií tradičných dopravcov voči modelu LH LCCs sa zaoberali Albers et al. (2020).

³ Alebo tiež LC LH.

⁴ Vo výskume sme pracovali s rokmi (nie mesiacmi) existencie, preto sú výsledky len približné. Rok vzniku započítaný, podobne rok zániku sú započítané ako celý rok.

z výročných správ, resp. z webových stránok dopravcov; informácie o priemernej letovej vzdialenosti boli zistené podobne, v niektorých prípadoch však bolo nutné ich dopočítať manuálne na základe informácií FlightConnections, Airmiles Calculator a letových plánov dopravcov.

4. Výsledky

4.1. Priemerná doba pôsobenia na trhu

V tabuľke 1 uvádzame prehľad v súčasnosti neexistujúcich LH LCCs. Okrem doby pôsobenia uvádzame aj krajinu dopravcu, tiež spôsob vzniku dopravcu podľa prístupu, ktorý uplatnil Materna (2016).

Tabuľka 1. Prehľad neexistujúcich LH LCCs. Zdroj: Vlastné spracovanie.

LH LCC	Roky pôsobenia	Krajina	Spôsob vzniku
Laker Airways	1977-1982	Veľká Británia	start-up
People Express	1981-1987	USA	rozšírenie ponuky
XL Airways France	1995-2019	Francúzsko	dcérska spoločnosť
Zoom Airlines	2002-2008	Kanada	start-up
Maxjet	2003-2007	USA	start-up
Primera Air	2003-2018	Dánsko	dcérska spoločnosť
EOS Airines	2005-2018	USA	start-up
Silverjet	2006-2008	Veľká Británia	start-up
Oasis Hong Kong Airlines	2006-2008	Hong Kong	start-up
L'Avion	2006-2009	Francúzsko	start-up
WOW Air	2012-2019	Island	start-up
Norwegian Long Haul	2013-2021	Nórsko	dcérska spoločnosť
Flynas Long Haul	2014-2015	Saudská Arábia	rozšírenie ponuky
Air Asia X Indonesia	2014-2019	Indonézia	joint venture
Joon	2017-2019	Francúzsko	dcérska spoločnosť
LEVEL France	2017-2020	Francúzsko	dcérska spoločnosť

Ako vyplýva z tabuľky 1, väčšina (9 zo 17) v súčasnosti už neexistujúcich LH LCCs vznikla medzi rokmi 2000 až 2010, čo potvrdzuje, že liberalizácia trhov so službami leteckej dopravy dynamizuje inovácie v modeloch podnikania. Priemerná doba pôsobenia analyzovaných dopravcov bola 6,7 roka. Ak vylúčime 3 dopravcov, ktorí vznikli pred rokom 2000, zvyšní LH LCCs mali priemernú dobu pôsobenia v rokoch 5,4. Až 9 zo 17 dopravcov vzniklo ako start-up.

Tabuľka 2. Prehľad existujúcich LH LCCs k ultimu roka 2024. Zdroj: Vlastné spracovanie.

LH LCC	Vznik/doba pôsobenia v rokoch (k ultimu 2024)	Krajina	Spôsob vzniku
Jetstar Airways	2004/21	Austrália	rozšírenie ponuky
AirAsia X	2007/18	Malajzia	dcérska spoločnosť
Scoot	2012/13	Singapur	dcérska spoločnosť
CebuPacific	2013/12	Filipíny	start-up
Thai Air Asia X	2014/11	Thajsko	joint venture
French Bee	2016/9	Francúzsko	start-up
LEVEL	2017/8	Španielsko	start-up
PLAY	2019/6	Island	start-up
ZIPAIR Tokyo	2020/5	Japonsko	dcérska spoločnosť
Norse Atlantic Airways	2021/4	Nórsko	start-up
Discover Airlines	2021/4	Nemecko	dcérska spoločnosť

V porovnaní s už neexistujúcimi LH LCCs môžeme konštatovať, že priemerná doba pôsobenia existujúcich LH LCCs sa zvyšuje na približne 10 rokov. Z hľadiska geografie vzniku existujúcich LH LCCs je zaujímavá absencia dopravcov z USA, ktorí by uplatňovali model nízko-nákladového podnikania na dlhé vzdialenosti.⁵ Z pohľadu spôsobu vzniku je pomerne silné zastúpenie start-upov a dcérske spoločnosti, čo prináša otázku o efektívnosti stratégie AWA⁶ v konkurenčnom boji tradičných leteckých dopravcov na trasách na dlhé vzdialenosti oproti iným strategickým odpovediam.

4.2. Vybrané atribúty podľa CANVAS prístupu

11 LH LCCs uvedených v tabuľke 2 sme zhodnotili z hľadiska vybraných atribútov modelov podnikania podľa CANVAS. Zvolené atribúty sú aj z nákladovej, aj z výnosovej stránky modelov podnikania leteckých dopravcov.

⁵ Tejto otázke sa venuje v časopise Simple Flying Mitchell (2025), ktorý konštatuje, že dôvodmi absencie konceptu LH LCCs v USA sú silná konkurencia tradičných dopravcov, konkurenčné bariéry, prevádzkové výzvy a najmä dynamika trhu.

⁶ Airlines within airlines.

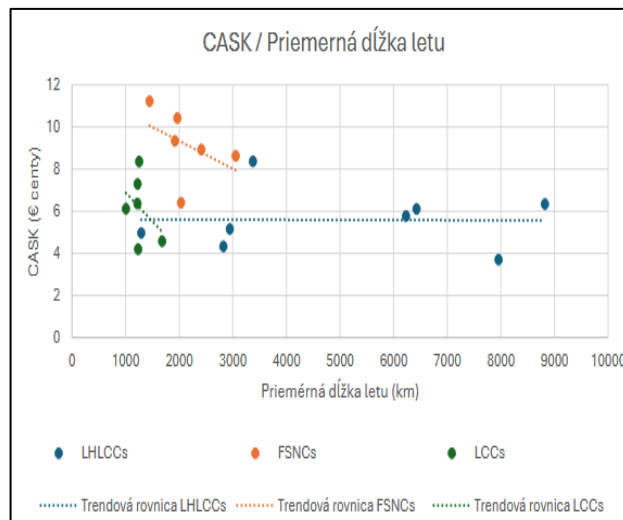
Tabuľka 3. Prehľad existujúcich LH LCCs na základe vybraných atribútov modelu podnikania podľa CANVAS prístupu. Zdroj: Vlastné spracovanie.

LH LCC	Lietadlový park: počet lietadiel/HHI	Produktová ponuka: počet cestovných tried/počet rezervačných tried	Vernostný program
Jetstar Airways	88/0,44	2/6	áno
AirAsia X	18/1,00	1/3, prípadne 4	áno
Scoot	57/0,30	2/5	áno
CebuPacific	80/0,30	1/3	áno
Thai Air Asia X	10/1,00	1/3, prípadne 4	áno
French Bee	6/0,55	2/6	nie
LEVEL	7/1,00	2/5	áno
PLAY	10/0,52	1/4	nie
ZIPAIR Tokyo	27/0,44	1/2	áno
Norse Atlantic Airways	15/1,00	2/6	nie
Discover Airlines	27/0,40	3/7	áno

Z informácií v tabuľke 3 vyplýva, že existujúci LH LCCs sú menší, resp. malí leteckí dopravcovia a len 4 z nich majú homogénnu flotilu, čo je typickým znakom nízko-nákladového modelu podnikania. 5 z analyzovaných dopravcov uplatňuje produktovú diferenciáciu v zmysle ponuky viacerých cestovných tried, ale všetci uplatňujú diferencované nástroje separácie segmentov dopytu podľa rezervačných tried, čo nezodpovedá modelu nízko-nákladového podnikania, ktorý je charakteristický jednou cestovnou triedou a unifikovanými produktovými reštrikciami. Väčšina z analyzovaných dopravcov (okrem ZIPAIR Tokyo a Discover Airlines) zaraďuje do ponuky tzv. „only seat“ produkt, čím sa vyznačuje práve nízko-nákladové podnikanie, pričom je ale v takomto prípade „only seat“ jediným produktom v ponuke klasického nízko-nákladového dopravcu. Z toho vyplýva, že ani z hľadiska produktovej ponuky nemôžeme označiť analyzovaných LH LCCs za nehybridných leteckých dopravcov. Vernostné programy takisto uplatňuje väčšina dopravcov, čo – spolu s predchádzajúcimi zisteniami - potvrdzuje záver Maternu a Tomovej (2016), že model nízko-nákladového podnikania na dlhé vzdialenosti je skôr hybridným modelom podnikania ako klasickým nízko-nákladovým podnikaním. Pretože je miera a spôsob hybridizácie modelov podnikania analyzovaných LH LCCs rozličná, vyslovujeme záver o celom spektre modelov nízko-nákladového podnikania na dlhé vzdialenosti, ktoré by mali byť predmetom ďalšieho výskumu. Uvedené zistenie zároveň znamená, že je potrebné hľadať nové prístupy ku klasifikácii modelov podnikania leteckých dopravcov na dlhé vzdialenosti, ako sa o to dávnejšie pokúsili Wensveen a Leick (2009).

4.3. CASK verzus priemerná preletená vzdialenosť

Pretože priemerná dĺžka preleteného úseku je jedným z determinantov prevádzkových nákladov leteckých dopravcov na jeden ponúkaný osobokm za rok 2023, v rámci výskumu sme sa zaoberali aj týmto aspektom. Výsledky uvádzame v obrázku 1.



Obrázok 1. CASK vs priemerná dĺžka letu leteckých dopravcov podľa modelu podnikania. Zdroj: Vlastné spracovanie.

Uskutočnená analýza, do ktorej sme v dôsledku nedostupnosti dát zaradili len 8 zo skúmaných LH LCCs, priniesla niekoľko zaujímavých zistení. Potvrdila sa (s výnimkou Jetstar Airways) nákladová konkurencieschopnosť nízko-nákladového modelu podnikania na dlhé vzdialenosti s vybranými tradičnými dopravcami (FSCs). Niektoré z analyzovaných LH LCCs sú osobitnými zhlukmi vzhľadom na oba zvažované parametre, čo podporuje myšlienku o celom spektre modelov podnikania na dlhé vzdialenosti, Priemerná dĺžka preleteného úseku sa ukazuje byť významným faktorom ovplyvňujúcim hodnotu CASK. Zovšeobecnenie uvedených zistení do podoby záverov by vyžadovalo komplexnejší prístup z hľadiska počtu porovnávaných dopravcov, z hľadiska analyzovaného obdobia, ale aj z hľadiska ďalších faktorov, či indikátorov, ako aj použitia sofistikovanejších analytických metód.

4.4. Záver

Nízko-nákladové podnikanie so službami leteckej dopravy na dlhé vzdialenosti je pretrvávajúcim fenoménom v leteckom biznise takmer štvrtstoročie. Tento segment – podobne ako iné segmenty – zaznamenal zaujímavú dynamiku z hľadiska vstupu LH LCCs na trh, resp. odchodu LH LCCs z trhu v liberalizovanom prostredí a pritiahol pozornosť vedeckého výskumu. Na základe sumarizácie stavu súčasného poznania, ale aj príspevku tohto článku k existujúcim zisteniam je potrebné konštatovať, že tradičné prístupy k analýze nízko-nákladového podnikania na dlhé vzdialenosti sú do istej miery prekonané a že pochopenie faktorov trhového úspechu LH LCCs, ich stratégií a modelov podnikania bude vyžadovať inovatívne cesty a odklon od prevažujúceho anektodického prístupu (ktorý bol uplatnený aj v tomto článku). Takisto bude potrebné preskúmať mieru hybridizácie, resp. individualizácie modelov podnikania LH LCCs, vytvoriť novú typológiu modelov podnikania na dlhé vzdialenosti tak, aby bola rešpektovaná rôznorodosť obsluhovaných trhov a ďalšie ovplyvňujúce činitele, medzi ktorými môže byť aj podnikanie leteckého dopravcu v skupine, či ďalšie špecifické faktory.

Referencie

- Albers, S., Daft, J., Stabenow, S., Rundshagen, V., 2020. The long-haul low-cost airline business model: A disruptive innovation perspective. *Journal of Air Transport Management*, 89, 101878.
- CAPA, 2025. European airlines unit cost: CASK is still king. <https://www.routesonline.com/suppliers/10554/capacentre-for-aviation/news/299663995/european-airlines-unit-cost-analysis-cask-is-still-king/>
- Gudmundsson, S. V., 2023. In search of sustainable strategies for low-cost long-haul airlines. *Case Studies on Transport Policy*, 12, 100991.
- Hunt, J., Truong, D., 2019. Low-fare flights across the Atlantic: Impact of low-cost, long-haul trans-Atlantic flights on passenger choice of Carrier. *Journal of Air Transport Management*, 75, 170-184.
- Kuljanin, J., Kalić, M., Begović, B., Mijović, N., Renold, M., 2021. The effect of LCC market entry on dominant FSC's price into long haul sector: A case of Norwegian competition on British Airways' prices on selected transatlantic routes. *Journal of Air Transport Management*, 91, 102016.
- Materna, M., 2016. Inovácie modelov podnikania pravidelných leteckých dopravcov. Diplomová práca. F PEDAS Žilinská univerzita v Žiline.
- Materna, M., Tomová, A., 2016. Long-haul low-cost air services: revealing key competitive features of airline within airline strategy. *Ekonomiczne Problemy Usług*, 124, 151-162.
- Mitchell, A., 2025. Why long-haul low-cost carriers aren't a concept in the US. <https://simpleflying.com/long-haul-low-cost-carriers-concept-us/>
- Miyoshi, C., Molina-Prados, J. R., 2022. Measuring the impact of long-haul low-cost carriers on lowering fares: A quasi-experimental design to assess the pre-COVID market. *Transport Policy*, 128, 52-64.
- Morrell, P., 2008.. Can long-haul low-cost airlines be successful?. *Research in Transportation Economics*, 24(1), 61-67.
- Osterwalder, A., Pigneur, Y., 2010. *Business model generation: a handbook for visionaries, game changers, and challengers*. John Wiley & Sons.
- De Poret, M., O'Connell, J. F., Warnock-Smith, D., 2015. The economic viability of long-haul low cost operations: Evidence from the transatlantic market. *Journal of Air Transport Management*, 42, 272-281.
- Renold, M., Kuljanin, J., Kalić, M., 2019. The comparison of financial performance of airlines with different business model operated in long-haul market. *Transportation Research Procedia*, 43, 178-187.
- Soliman, A., O'Connell, J. F., Tamaddoni-Nezhad, A., 2022. A data-driven approach for characterising revenues of South-Asian long-haul low-cost carriers per equivalent flight capacity per block hour. *Journal of Air Transport Management*, 103, 102242.
- Soyk, C., Ringbeck, J., Spinler, S., 2021. Effect of long-haul low-cost carriers on North Atlantic air fares. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 152, 102415.
- Soyk, C., Ringbeck, J., Spinler, S., 2018. Revenue characteristics of long-haul low cost carriers (LCCs) and differences to full-service network carriers (FSNCs). *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 112, 47-65.
- Soyk, C., Ringbeck, J., & Spinler, S. (2017). Long-haul low cost airlines: Characteristics of the business model and sustainability of its cost advantages. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 106, 215-234.
- Wensveen, J. G., Leick, R., 2009. The long-haul low-cost carrier: A unique business model. *Journal of Air Transport Management*, 15(3), 127-133.
- Whyte, R., Lohmann, G., 2015. Low-cost long-haul carriers: A hypothetical analysis of a 'Kangaroo route'. *Case Studies on Transport Policy*, 3(2), 159-165.
- Zuidberg, J., de Wit, J. G., 2020. The development of long-haul low-cost networks in the North Atlantic airline market: An exploratory data approach. *Transport Policy*, 95, 103-113.



ANALÝZA METEOROLOGICKÝCH BALÓNOV A SONDÁŽNYCH RAKIET AKO NÁSTROJOV NA VÝSKUM ATMOSFÉRY

ANALYSIS OF METEOROLOGICAL BALLOONS AND SOUNDING ROCKETS AS DEVICES FOR ATMOSPHERIC RESEARCH

Samuel Malárik

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Robert Dianovský

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
dianovsky1@stud.uniza.sk

Abstract

This paper addresses the utilisation of meteorological balloons and sounding rockets for data collection for meteorological purposes. The first chapter introduces stratospheric balloons, meteorological balloons and sounding rockets. Their properties, components from which they are constructed, and their current applications are described. The second chapter compares the devices from three perspectives. The operational perspective focuses on flight profiles, control systems, possibilities for reusability, and risks associated with operation. The economic perspective concentrates on the costs associated with launches and possibilities for reduction. The legislative perspective examines the existing legislation pertaining to these devices. The third chapter presents a conceptual design for a sounding rocket, based on which approximate costs for its launch are determined. In conclusion are discussed the advantages and disadvantages of weather balloons and sounding rockets and the potential area of application for sounding rockets in meteorological measurements is identified.

Keywords

meteorological balloons, sounding rockets, atmospheric research

1. Úvod

Výskum horných vrstiev atmosféry je kľúčový pre lepšie pochopenie klimatických zmien, vývoja počasia a zabezpečenie bezpečnosti leteckej dopravy. Tradičné metódy, ako sú pozorovania zo zeme a satelitné snímky, neposkytujú údaje o celom priereze atmosféry, čo vedie k informačným medzerám. Na ich vyplnenie sa využívajú meteorologické a stratosférické balóny, ktoré sa zameriavajú na nižšie a stredné vrstvy atmosféry (troposféru a stratosféru), ako aj sondážne rakety, ktoré skúmajú vyššie vrstvy (stratosféru, mezosféru a termosféru). Tieto zariadenia umožňujú priame merania, čím dopĺňajú chýbajúce informácie.

2. Súčasný stav riešenej problematiky

Kapitola poskytuje prehľad súčasného poznania v oblasti vlastností zemskej atmosféry, možnosti jej prieskumu pomocou stratosférických balónov a sondážnych rakiet, ako aj technológií využívaných pri týchto letoch.

2.1. Atmosféra

Zemská atmosféra sa skladá z niekoľkých vrstiev: troposféra (do 12 km), stratosféra (12–50 km), mezosféra (50–80 km), termosféra (80–700 km) a exosféra (nad 700 km). Stratosféra je obzvlášť významná pre klimatológiu a letectvo, pretože poskytuje stabilné podmienky s nižšou turbulenciou a menej hustým vzduchom, čo prispieva k zníženiu spotreby paliva. V tejto vrstve sa nachádza aj ozónová vrstva, ktorá chráni

Zem pred ultrafialovým (UV) žiarením. Avšak znečistenie stratosféry môže mať negatívny dopad na klímu a ozónovú vrstvu. Preto je dôležité pochopiť jej dynamiku, aby sme mohli presnejšie predpovedať počasie (Aero Corner, 2020).

2.2. Meteorologické balóny a stratosférické balóny

Stratosférické balóny, známe aj ako high-altitude balloons (HAB), sú zariadenia určené na pozorovanie a zber dát vo vysokých nadmorských výškach. Meteorologické balóny a HAB sú navrhnuté na stratosférické lety a zvyčajne dosahujú výšky nad 18 km, pričom niektoré môžu na krátky čas preniknúť aj do dolnej mezosféry, ktorá sa nachádza vo výškach od 50 do 80 km (Ehrenfried, 2021).

Meteorologické balóny, známe aj ako sondážne balóny, sú používané meteorologickými ústavmi po celom svete. Sú vybavené rádiosondami, ktoré merajú atmosférické podmienky, ako sú tlak, teplota, vlhkosť, rýchlosť vetra a úroveň ozónu. Tieto balóny je možné sledovať pomocou radaru alebo GPS, vďaka čomu je možné získať informácie o rýchlosti a smere vetra. Zvyčajne sú vyrobené z latexu alebo syntetickej gumy a sú plnené vodíkom alebo héliom. Pri vypustení majú priemer 1–2 m, pri stúpaní sa zväčšujú v dôsledku poklesu tlaku. Prasknú, keď dosiahnu priemer 6–8 m, zvyčajne vo výške okolo 35 km. Po prasknutí sonda padá späť na Zem, často s padákom, ktorý znižuje rýchlosť pádu a riziko poškodenia. Vytrvalosť týchto balónov býva 1-2 hodiny (Ehrenfried, 2021).

Stratosférické balóny sú podstatne väčšie ako bežné meteorologické balóny, pričom niektoré môžu dosahovať veľkosť futbalového štadióna. Tieto balóny sa využívajú vo vedeckom výskume, testovaní technológií, pozorovaní vesmíru. Existujú dva hlavné typy:

Zero-pressure balóny (ZPB), ktoré dostali svoj názov, pretože vnútorný tlak balóna je rovný atmosférickému tlaku v okolí, v ktorom sa nachádzajú. Po dosiahnutí cieľovej výšky je tlak v balóne rovný okolitému prostrediu, pretože prebytočný plyn je vypustený, pretlak plynu v balóne je teda nulový. Sú vyrobené z jednovrstvového polyetylénu, môžu byť zosilnené, pre zvýšenie životnosti balóna. ZPB majú dostup 30 až 45 km a môžu vyniesť náklad o hmotnosti 2 až 3,6 ton. Vytrvalosť ZPB býva 5-6 dní (HEMERA: The European Community for Advanced Research in the Stratosphere, 2023).

Super-pressure balóny (SPB) udržiavajú pozitívny vnútorný tlak v porovnaní s prostredím, v ktorom sa vznášajú, pretože prebytočný plyn nie je vypustený. Vďaka tomu majú vyššiu stabilitu pri lete a dlhšiu vytrvalosť. Vytrvalosť SPB môže dosahovať až 100 dní. Konštrukcia SPB je ale zložitejšia, skladá sa z polyetylénových panelov, ktoré sú tepelne spojené a vystužené kevlarovými vláknami. Ich dostup a nosnosť je horšia, cca 34 km a maximálna nosnosť 1 tona (National Aeronautics and Space Administration, 2022).

2.3. Sondážne rakety

Sondážne rakety sú sub-orbitálne nosiče, ich trajektória je parabolická a umožňuje vyniesť rôzne vedecké prístroje do výšky od 50 do 350 km, pričom najvýkonnejšie modely dosahujú až 1400 km. Využívajú sa najmä na experimenty v mikrogravitácii a testovanie zariadení určených pre vesmírne misie. Let trvá väčšinou 5 až 20 minút (National Aeronautics and Space Administration, 2022).

Tento typ rakiet je obľúbený najmä pre výskum vo výškach 50 až 160 km, kam sa HAB nedostanú kvôli nízkej hustote vzduchu, ktorá spôsobuje rozťahovanie a prasknutie balóna. Satelity v tejto výške nemôžu letieť, pretože by kládli príliš veľký odpor a nevedeli udržať orbitu okolo Zeme (Sounding Rockets are unique Experimental Platforms, 2018).

2.3.1. Konštrukcia a systémy

Aby bolo možné realizovať lety v širokom rozmedzí výšok a s rôznou hmotnosťou nákladu, sú sondážne rakety vyrábané v rôznych veľkostiach. Napriek tomu sa každá z týchto rakiet skladá z niekoľkých rovnakých komponentov a systémov:

1. **Trup rakety** – zabezpečuje tvar a prenos síl, umiestňujú sa v ňom ďalšie systémy
2. **Raketový motor** – zabezpečuje ťah
3. **Palivový systém** – uskladňuje a zabezpečuje prívod paliva do motora
4. **Špička** – minimalizuje aerodynamický odpor
5. **Systém riadenia** – krídelká zabezpečujúce stabilitu
6. **Náklad**

7. **Oddeľovacie sekcie** – použité u viacstupňových rakiet

8. **Systém návratu** – umožňuje bezpečný návrat rakety

Z týchto komponentov sú najdôležitejšie motory a palivový systém, pretože priamo určujú výkon, maximálny dostup a nosnosť užitočného nákladu sondážnej rakety (Sounding Rockets are unique Experimental Platforms, 2018).

2.3.2. Typy palív

Motory na tuhé palivo sú jednoduché, lacné, môžu byť dlhodobo skladované, majú vysokú hustotu a umožňujú kompaktný dizajn rakiet. Ich nevýhodou je nemožnosť regulovať alebo prerušiť ťah po zapálení. Využívajú sa najmä v jedноступňových a prvých stupňoch viacstupňových rakiet (Pappalardo, 2018).

Motory na tekuté palivo využívajú kombináciu skvapalneného kyslíčovača a paliva. Vyžadujú samostatné nádrže, čerpadlá a často aj chladiaci systém. Motory sú preto technicky náročnejšie, drahšie a ťažšie, no umožňujú reguláciu ťahu a núdzové vypnutie, poskytujú vyšší špecifický impulz a tým aj lepšiu efektívnosť v porovnaní s motormi na tuhé palivo. Využívajú sa najmä v neskorších stupňoch viacstupňových rakiet a rakiet, kde riaditeľnosť zohráva veľkú rolu (Pappalardo, 2018).

Spojením týchto systémov dostaneme rakety s hybridným pohonom. Kombinujú vlastnosti vyššie uvedených pohonov. Sú efektívnejšie, bezpečnejšie ako rakety na tuhé palivá a jednoduchšie ako rakety na tekuté palivá.

3. Porovnanie balónov a rakiet

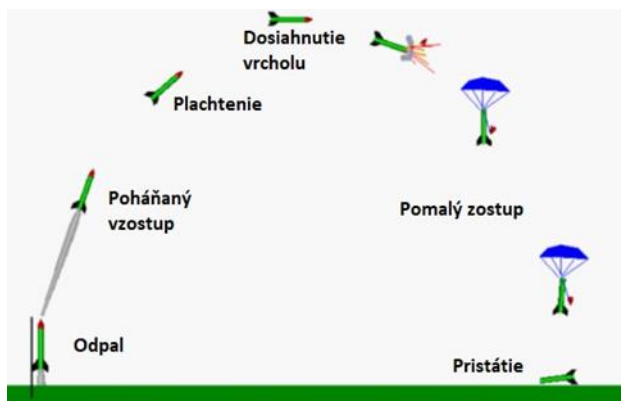
Predchádzajúce kapitoly analyzujú využitie meteorologických balónov, stratosférických balónov a sondážnych rakiet. Tieto systémy majú široké uplatnenie, no pre leteckú dopravu sú kľúčové najmä v meteorológii, keďže presné predpovede počasia sú nevyhnutné pre bezpečnú a plynulú prevádzku letov. Merania sa sústreďujú hlavne na troposféru a stratosféru, kde prebiehajú najvýznamnejšie zmeny ovplyvňujúce počasie.

Meteorologické balóny s rádiosondami sú hlavným nástrojom na sledovanie počasia, zatiaľ čo sondážne rakety sa dnes využívajú skôr na výskum vyšších vrstiev atmosféry (mezosféra, termosféra), čo vedie k „vedomostnej medzere“ v stratosférických dátach. Je dôležité preto vyhodnotiť, či by rakety mohli nahradiť alebo sa použiť spolu s balónmi, aby sa zlepšila kvalita meteorologických údajov.

3.1. Prevádzkové porovnanie

3.1.1. Meteorologické balóny

Letový profil meteorologických balónov sa skladá z 3 fáz: stúpania, prasknutia a zostupu.



Obrázok 1. Fázy letu balónov. Zdroj: (Tang, a iní, 2022).

Pred letom sa balón nafúkne požadovaným množstvom plynu, ktoré sa určuje pomocou výpočtových programov alebo online kalkulačiek. Po prípravách je možné balón vypustiť; stúpa rýchlosťou 3–5 m/s, pričom meteorologickému balónu trvá dosiahnuť 30 km asi 1,5–2 hodiny. Meteorologické balóny stúpajú konštantne až do prasknutia. Výška a doba pobytu závisia od typu balóna – meteorologické balóny dosahujú 18–30 km. Po dosiahnutí cieľovej výšky balón praskne a začne klesať. Klesanie je v prípade meteorologických balónov neriadene; ak je použitý padák, klesanie prebieha rýchlosťou 5–10 m/s (Ehrenfried, 2021) (Tang, a iní, 2022).

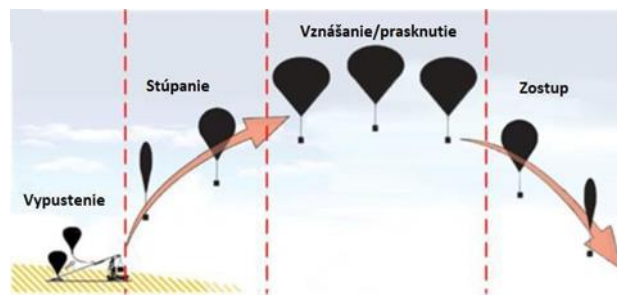
Meteorologické balóny nemajú tradičné ovládacie plochy, preto majú obmedzenú riaditeľnosť. Sú riadené pasívne pomocou prírodných síl a jednoduchých mechanizmov. Pred letom sa analyzujú výškové profily vetra a určí sa rýchlosť stúpania množstvom vztlakového plynu, vďaka čomu sa určuje približná trajektória letu (Brown, a iní, 2024). Používajú sa jednorazovo – po dosiahnutí cieľovej výšky prasknú, sonda padá na zem spomalená zvyškami balóna alebo padákom. Kvôli možnosti poškodenia a nepredvídateľnému dopadu je ich opakovateľné použitie veľmi obmedzené (Piccard, 2023).

Prevádzka balónov prináša viaceré riziká – nesprávne naplnenie plynom môže viesť k úniku alebo predčasnemu prasknutiu. Počasie, ako nízka teplota a silný vietor, môže poškodiť plášť či náklad. Počas letu balóny čelia vetru, dažďu, UV žiareniu a teplotným zmenám, ktoré znižujú ich životnosť. Zároveň je nutné dbať na bezpečnosť leteckej prevádzky a mať všetky potrebné prevádzkové povolenia (Piccard, 2023).

3.1.2. Sondážne rakety

Sondážne rakety letia po parabolickej trajektórii, pričom väčšinou štartujú pod uhlom 80°–90°, niekedy menej strmo pre merania v hustejších vrstvách. Trajektória závisí od ťahu motora, času vyhorenia a pomeru hmotnosti. Pre vyššie výšky sa používajú viaceré stupne (Huh, a iní, 2022).

Let prebieha v fázach: štart a poháňaný vzostup, plachtenie, dosiahnutie vrcholu a zostup.



Obrázok 2. Fázy letu sondážnej rakety. Zdroj: (Huh, a iní, 2022).

Poháňaný vzostup nastáva po štarte, keď motor generuje ťah a raketa zrýchľuje z nulovej rýchlosti. Spaľovanie paliva vedie k vysokému zrýchleniu (10–13 G), pričom raketa môže dosiahnuť rýchlosť až 4,5 km/s (Mach 4–8). Táto fáza trvá 5 až 60 sekúnd, pričom rýchlejšie spaľovanie paliva zvyšuje maximálnu dosiahnutú rýchlosť (Huh, a iní, 2022).

Plachtenie začína po vyhorení motora. Raketa už neprodukuje ťah, stáva sa balistickým telesom ovplyvňovaným gravitáciou a atmosférickým odporom. Dosiahne maximálnu výšku (napr. 60 km pre jednostupňové a nad 100 km pre dvojestupňové rakety) (Encyclopaedia Britannica, 2024).

Zostup je riadený padákmi, ktoré spomaľujú raketu na asi 8 m/s pre bezpečné pristátie. Počas zostupu môžu byť dáta zozbierané v meracej fáze odosielané na Zem (Encyclopaedia Britannica, 2024).

Celkovo celý let vrátane návratu trvá zvyčajne do 20 minút. Dostup a rýchlosť rakety najviac ovplyvňuje: výber motora, konštrukcia rakety a riadenie hmotnosti počas letu výrazne ovplyvňujú výšku aj dĺžku letu (National Aeronautics and Space Administration, 2022).

Sondážne rakety využívajú na udržanie kontroly počas letu pasívne aj aktívne systémy riadenia a stabilizácie. Pasívne systémy stabilizácie využívajú tvar a dizajn rakety na udržanie stability bez aktívnych riadiacich mechanizmov (Cadamuro, a iní, 2024). Aktívne systémy riadenia umožňujú dynamicky korigovať a udržiavať trajektóriu rakety v reálnom čase. Medzi hlavné aktívne mechanizmy patrí systém vektorovania ťahu motora, nastaviteľné kačacie plochy a reakčné kolesá – gyroskopy (Posta, a iní, 2024).

Sondážne rakety taktiež ponúkajú možnosť opakovateľného využitia vďaka modulovej konštrukcii, ktorá umožňuje jednotlivé poškodené časti rakety nahradiť novými. Na to, aby boli možné ich opakované použitie, je treba bezpečne pristáť. Najčastejšie sa na tieto účely používajú padáky, ale testujú sa aj nové technológie (systém WiRES), ktoré môžu umožniť pristátie na presne určené miesto.

Pri prevádzkovaní sondážnych rakiet je kladený veľký dôraz na bezpečnosť a spoľahlivosť, pretože prípadné poruchy môžu viesť k zničeniu rakety, vysokým finančným stratám, škodám na majetku a zdraví. Kľúčová je dôkladná kontrola konštrukcie rakety, hlavne stavu motorov a paliva, pretože akékoľvek poškodenie môže viesť k odklonu z trajektórie alebo k zničeniu rakety počas štartu či letu. Odklon rakety z plánovanej dráhy môže spôsobiť riziko kolízie s inou leteckou prevádzkou alebo nebezpečný dopad do obývaných oblastí, ohrozujúc životy a

majetok (National Aeronautics and Space Administration, 2023) (NASA Goddard Space Flight Center, 2015).

3.2. Ekonomické porovnanie

Pri vypúšťaní meteorologických balónov a sondážnych rakiet je potrebné zohľadniť náklady na získanie potrebných komponentov, ktoré sa líšia v závislosti od typu zariadenia. Meteorologické balóny majú nižšie náklady, pretože ich komponenty sú bežne dostupné. Avšak špeciálne meracie zariadenia na meranie atmosféry môžu zvýšiť náklady. Naopak, sondážne rakety sú navrhované na konkrétne misie, čo znamená vyššie náklady na výrobu a komponenty. Analýza sa zameriava na porovnanie obstarávacích nákladov a možnosti zníženia nákladov na vypustenie oboch typov zariadení.

3.2.1. Náklady na vypustenie meteorologických balónov

Pri určovaní nákladov na meteorologické balóny sa zohľadňujú tieto hlavné komponenty: Balón (nosná časť), Sonda (meracie zariadenie), Plyn (najčastejšie vodík, zodpovedný za vztlak). Môžu byť dodatočne vybavené zariadeniami ako GPS na sledovacie zariadenia alebo padákmi. Tieto zariadenia nie sú povinnou súčasťou pri každom vypustení.

Pri určovaní výšky nákladov na vypustenie meteorologických balónov využijeme údaje od organizácií, ktoré ich najčastejšie používajú na Slovensku: SHMÚ a VTSÚ. Pri určovaní nákladov sa stanoví ceny balónov, sond, plynu, padáky a GPS tieto organizácie nepoužívajú.

SHMÚ používa na vynášanie sond latexové balóny od spoločnosti TOTEX, presnejšie TA800. Na merania používajú sondy RS41 SGP od spoločnosti VAISALA. Na naplnenie balónu užívajú 1,5 m³ vodíku 3.0. Spoločnosť Spinell a.s. je zodpovedná za dodávanie setov balónov a sond. Spoločnosť Messer Tatragas s.r.o. je zodpovedná za dodávanie stlačeného vodíku vo fľašiach o objeme 8,9 m³. Pretože ide o organizáciu spadajúcu pod štátnu správu, ceny týchto komponentov sú dohľadateľné na základe zmlúv z verejných obstarávaní. Ceny komponentov sú uvedené v tabuľke 1. Finálna cena letu schopného balóna je 346,74 € (Slovenský hydrometeorologický ústav, 2024) (Ministerstvo životného prostredia SR, 2024).

Tabuľka 1. Náklady na vypustenie balóna pre SHMÚ (Slovenský hydrometeorologický ústav, 2024) (Ministerstvo životného prostredia SR, 2024).

Komponenty	Cena
1x Balón TOTEX TA800	91,80 €
1x Rádio sonda VAISALA RS41 SGP	239,16 €
Vodík 3.0 - 1,5 m ³	15,78 €
Spolu	346,74 €

VTSÚ Záhorie používa na vynášanie sond latexové balóny od spoločnosti TOTEX, presnejšie TA200. Na merania používajú sondy DFM-17 od spoločnosti GRAW. Na naplnenie balónu užívajú 1 m³ vodíku 3.0. Podobne ako SHMÚ, sú balóny obstarávané v setoch, avšak od iného dodávateľa- spoločnosti Empire com., s.r.o. Spoločnosť Messer Tatragas s.r.o. je zodpovedná za dodávanie stlačeného vodíku vo fľašiach o objeme 8,9 m³. Ceny týchto komponentov sú určené na základe cenníkov spoločností Empire com., s.r.o. a Messer Tatragas s.r.o.

(EMPIREcom., 2024). Ceny komponentov sú uvedené v tabuľke . Finálna cena letu schopného balóna je 245,25 €.

Tabuľka 2. Náklady na vypustenie balóna pre VTSÚ. Zdroj: (EMPIREcom., 2024).

Komponenty	Cena
1x Balón TOTEX TA200	45,60 €
1x Rádio sonda VAISALA RS41 SGP	178,80 €
Vodík 3.0 - 1 m ³	20,65 €
Spolu	245,25 €

3.2.2. Náklady na vypustenie sondážnej rakety

Určiť presnú cenu za vypustenie sondážnej rakety je zložitý úkon, pretože na rozdiel od meteorologických balónov nie sú sondážne rakety komerčne dostupné. Aj keď existujú amatérske rakety pre hobby použitie, tie sú navrhnuté na nízke výšky, majú obmedzenú rýchlosť a možnosti úprav, ich cena je taktiež vyššia ako cena jednotlivých komponentov rakety.

Ak chceme využiť sondážne rakety na meteorologické účely, je výhodnejšie zakúpiť/vyrobiť potrebné komponenty rakety a postaviť raketu. Pri navrhovaní rakety zohráva dôležitú úlohu voľba materiálov, použitých pri výrobe, ktorá priamo ovplyvňuje cenu. Najčastejšie používané materiály sú kovy (hliník, oceľ), ktoré sú lacné a pevné, ale ťažké, čo znižuje dolet. Kompozity (sklolaminát, uhlíkové vlákna) sú ľahšie a umožňujú vyšší dolet, no sú drahšie a menej pevné (Brown, 2023).

Hlavným nákladovým faktorom sondážnej rakety je jej motor, ktorý tvorí 60–80 % celkových výdavkov. Zavedenie opakovateľného použitia rakety (napr. pomocou padákových návratových systémov) môže náklady čiastočne znížiť. Presná cena však závisí od technických parametrov a optimalizácie motora, ktoré sú detailnejšie rozpracované v časti 4 – Ideový návrh sondážnej rakety.

3.2.3. Obnoviteľnosť

Pri meteorologických balónoch je možnosť obnoviteľnosti a s ňou spojené zníženie nákladov limitované. SHMÚ a VTSÚ používajú na merania vždy nové sondy, čo zaisťuje maximálnu spoľahlivosť meraní. Opätovné použitie balónov nie je možné – počas letu degraduje materiál a prasknú, čím možnosť opakovateľného klesá na nulu.

Jediná reálna možnosť úspory je výroba vodíka pre plnenie balónov pomocou generátora. Avšak je treba myslieť na to, že počiatočná investícia je vysoká (cena generátora, pripojenie na zemný plyn). Taktiež sa nesmie zabudnúť na prevádzkové náklady, ktoré zahŕňajú výmenu katalyzátorov, pravidelný servis a zaškolenú obsluhu. Z dlhodobého hľadiska je nutné porovnať tieto faktory a až následne určiť, či sa toto riešenie ekonomicky oplatí.

Možnosti opakovateľného využitia sondážnych rakiet sú lepšie ako u meteorologických balónov, najmä vďaka modulárnej konštrukcii rakiet. Po bezpečnom pristátí je možné raketu znovu využiť, pričom poškodené časti sa dajú vymeniť. Systémy na zabezpečenie návratu, ako padáky, sú tiež opakovane použiteľné, ak nie sú poškodené. Pri použití tekutého paliva je možnosť opakovateľného využitia 100 %, pretože po kontrole

integritu systému je možné ho naplniť a opäť použiť. Naopak, u tuhého paliva je potrebné vymeniť vyhorený motor alebo doplniť palivové zrno. Pri tekutom palive je okrem motora nutné skontrolovať aj celý palivový systém.

3.3. Legislatívne porovnanie

Legislatíva týkajúca sa meteorologických balónov a sondážnych rakiet sa zameriava na bezpečnosť leteckej prevádzky, ochranu ľudí a životného prostredia. Zabezpečuje koordináciu s riadením letovej prevádzky, vydávanie hlásení NOTAM a minimalizáciu rizík pri zostupe zariadení. Rešpektuje suverenity vzdušného priestoru štátov a medzinárodné letecké predpisy. Cieľom je umožniť bezpečné využívanie týchto zariadení na vedecké a komerčné účely.

3.3.1. Legislatíva spojená s neobsadenými voľnými balónmi

Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo (ICAO) sa zaoberá celosvetovou reguláciou letectva prostredníctvom Annexov 1-19, ktoré poskytujú štandardy pre leteckú prevádzku. Annex 2 a jeho dodatok 4 sa špecificky týkajú prevádzky neobsadených voľných balónov. Európska agentúra pre bezpečnosť letectva (EASA) vychádza z týchto štandardov pri vytváraní Štandardizovaných európskych pravidiel lietania (SERA), ktoré upravujú pravidlá prevádzky v Európe. SERA dodatok 2 sa zameriava na prevádzku voľných balónov, vrátane klasifikácie, prevádzkových obmedzení a sledovania polohy [48].

SERA klasifikuje neobsadené balóny do 3 kategórií: Ľahké – balóny s MTOW do 4 kg, Stredné – balóny s MTOW od 4 do 6 kg, Ťažké – balóny s MTOW od 6 kg (European Union Aviation Safety Agency, 2024).

Na Slovensku sa bežne používajú meteorologické balóny v kategórii ľahké, ktoré majú hmotnosť 600 g - 800 g (SHMÚ) a 220 g (VTSÚ), čím neprekračujú váhový limit 4 kg pre túto kategóriu. Toto je výhoda pretože ľahké a meteorologické balóny nemajú v súčasnosti špecifické obmedzenia spojené z prevádzkou (Letové prevádzkové služby Slovenskej Republiky, 2024).

Pred samotným prevádzkovaním je však potrebné získať prevádzkové povolenie od Dopravného úradu SR. Pre meteorologické balóny SHMÚ a VTSÚ sú stanovené presné časy vypúšťania a dlhodobé povolenia publikované v hláseniach NOTAM. Iní prevádzkovatelia musia získať povolenia, pričom vypúšťanie sa nesmie uskutočniť v blízkosti letiska nie menej ako 20 km, s možnosťou výnimky. Žiadosť o povolenie musí byť podaná 15 dní pred letom a obsahovať detaily ako dátum, čas, miesto, výšku a kontaktné údaje (Letové prevádzkové služby Slovenskej Republiky, 2024).

3.3.2. Legislatíva spojená zo sondážnymi raketami

V súčasnosti neexistuje jednotná globálna ani celoeurópska legislatíva špecificky určená pre sondážne rakety – ich regulácia je ponechaná na jednotlivé štáty. Na Slovensku tiež neexistujú špecifické zákony a preto sa na ich prevádzku vzťahuje legislatíva pre neriadené letecké systémy (UAS). Tá upravuje klasifikáciu, stavbu, prevádzku, certifikáciu a bezpečnosť týchto zariadení podľa nariadenia EÚ 2019/947 a 2019/945 (European Commission, 2019) (European Commission, 2019).

Podľa nariadenia EÚ 2019/947 sa UAS delia na tri kategórie: otvorenú (do 25 kg, s VLOS, s bezpečným odstupom od ľudí, pohybu do 120 m od zeme, neprepravujú a nezhadzujú nebezpečný náklad), osobitú (prekračuje limity otvorenej kategórie) a osvedčenú (vysoké prevádzkové riziko). Sondážne rakety spadajú do osobitej kategórie, pretože lietajú nad 120 m, mimo VLOS a vypúšťajú náklad počas letu. Na prevádzkovanie musí prevádzkovateľ byť registrovaný u Dopravného úradu SR, získať letové povolenie, spracovať analýzu rizík SORA a pri lete do iného štátu požiadať o súhlas príslušný orgán (European Commission, 2019).

Samotná analýza SORA sa zameriava na: opis prevádzky, určenie rizika na zemi – GRC, opatrenie na zmiernenie rizík GRC, určenie rizika vzdušného priestoru – ARC, opatrenie na zmiernenie rizík ARC, určenie konečného rizika prevádzky – SAIL, určenie cieľov bezpečnosti prevádzky – OSO (European Union Aviation Safety Agency, 2024).

Spracovaná analýza rizík SORA sa spolu s žiadosťou o letové povolenie posieľa na Dopravný úrad SR, ktorý ich vyhodnotí a rozhodne o vydaní povolenia. Určí podmienky prevádzky, obmedzenia a technické parametre UAS. Po schválení vydá potvrdenie o prijatí, aby mohla prevádzka začať čo najskôr (European Commission, 2019).

4. Ideový návrh sondážnej rakety

Aby bolo možné porovnať, či je možné meteorologické balóny nahradiť sondážnymi raketami, je potrebné odhadnúť náklady na vypustenie rakety, a preto sa vypracoval ideový návrh. Cieľom je navrhnúť raketu schopnú dosiahnuť výšku 30 km, čo je bežná výška, kde sa získavajú meteorologické údaje. Raketa má byť schopná vyniesť náklad s hmotnosťou 1 kg, čo zodpovedá kombinácii meteorologickej sondy a padákov.

4.1. Výpočtová časť

Ako prvé sa určí zmena rýchlosti Δv (delta v), ktorá predstavuje celkovú zmenu rýchlosti potrebnej pre vykonanie letu. Na základe výpočtov pomocou vzorca

$$\Delta v = v_2 * g * h$$

táto hodnota vychádza na $\Delta v = 1017,2 \text{ m}^* \text{s}^{-1}$, pre zjednodušenie výpočtov zaokrúhli na $1100 \text{ m}^* \text{s}^{-1}$, vďaka čomu sa zistí rezerva pre zrýchlenie.

Pre určenie potrebného motoru je dôležité ďalej určiť ideálny hmotnostný pomer celkovej m_0 a konečnej hmotnosti rakety m_f . Po vykonaní výpočtov pomocou vzorca

$$m_0/m_f = e^{(\Delta v / I_{sp} * g)}$$

je hmotnostný pomer je určený na $m_0/m_f = 1,75$. Na výpočet jej hmotnosti je potrebné určiť hmotnosť nákladu, ktorý chceme vyniesť, v tomto prípade 1kg. Je známe, že m_0 musí obsahovať hmotnosti konštrukcie rakety (S) + nákladu (P) + palivom (F) a m_f je hmotnosť konštrukcie rakety

(S) + nákladu (P). V skutočnosti rakety ako je Terrier, Malamute alebo iné jednostupňové rakety, majú hmotnostný pomer podľa

konfigurácie 1,5 – 2, čiže pomer hmotnosti konštrukcie (S) a paliva (F) je 0,5 – 1. Pretože ide o ideový návrh, je stanovený pomer hmotnosti konštrukcie a paliva $S/F = 1$. Vzorec $m_0/m_f = 1,75$ sa upraví do nasledovnej formy:

$$S+P+F / S+P = 1,75 ,$$

vďaka čomu sa vypočíta pomer potrebného paliva na vynesenie 1 kg nákladu. Finálny pomer vychádza na 3kg. Spolu s 3 kg konštrukcie a 1 kg nákladu má finálna verzia sondážnej rakety hmotnosť pri vzlete 7 kg.

Základné parametre, podľa ktorých sa vyberie motor sú: čas horenia paliva a celkový impulz, ktorý musí motor vytvoriť. Pre určenie času horenia sa použije nasledovný vzorec:

$$t_h = mp * Isp * g / F ,$$

Pri výpočte sa stanovil impulz na 200 s a ťah motora na 1 000 N. Z výpočtu vyplýva, že motor musí horieť $t_h = 5,8$ sekúnd. Ďalším krokom je výpočet pre celkový impulz rakety, ktorý sa zistí dosadením hodnôt času horenia t_h a ťahu F , do vzorca:

$$I = F * t_h$$

Z výpočtu sa určil potrebný ťah motora na 5 886 N. Vďaka týmto výpočtom je možné určiť parametre pre vyhľadávaný motor ktoré sú: ťah 1 000 N, celkový ťah 5 886 N, čas horenia 5,8 s, hmotnosť paliva 3 kg.

4.2. Cena ideovej rakety

Na základe výpočtov bol pre ideovú sondážnu raketu s 1 kg nákladu vybraný motor 5880M1160-P od výrobcu Cesaroni, ktorý poskytuje celkový impulz 5 886 N, priemerný ťah 1 361 N a čas horenia 5,1 sekundy. Hmotnosť paliva je 3,4 kg. Cena motora je 679,00 € (Soler Rodríguez, 2024).

Pri odhadovaní ceny konštrukcie sa počítalo s pomerom 70 % ceny pre motor a 30 % pre konštrukciu, čím cena konštrukcie vychádza na 291,00 €. K tomu sa pridáva cena rádiosondy PS-41 SPG a padákov pre zabezpečenie návratu. Ceny komponentov sú uvedené v tabuľke 3. Finálna cena pre ideovú sondážnu raketu je 1 312,40 €.

Tabuľka 3. Náklady na vypustenie ideovej sondážnej rakety (Soler Rodríguez, 2024).

Komponenty	Cena
Motor	679,00 €
Konštrukcia	291,00 €
Sonda	239,16 €
Padáky	21,18 € a 82,06 €
Spolu	1 312,40 €

5. Záver

Porovnaním vlastností, výhod a nevýhod stratosférických balónov, meteorologických balónov a sondážnych rakiet ukazuje, že všetky tieto zariadenia sú efektívne pri zbere

atmosférických dát. Meteorologické balóny, vďaka svojej nízkej cene, jednoduchej prevádzke a zavedeným predpisom, zostávajú preferovaným riešením pre zber údajov, najmä pre predpovedanie počasia. Ich hlavnou nevýhodou je však citlivosť plášťa na nepriaznivé podmienky v atmosfére.

Sondážne rakety sa používajú predovšetkým na výskum vo vyšších vrstvách atmosféry a v mikrogravitácii, kde balóny nedosiahnu. Z analýz a návrhu sondážnej rakety vyplýva, že ich vysoké náklady a obmedzená legislatíva vylučuje bežné využívanie na pravidelné meteorologické merania do 30 km. Avšak majú aj určité výhody hlavne v prípadoch, kedy je pravdepodobnosť úspešného merania balónmi malá, napr. z dôvodu nepriaznivého počasia.

V súčasnosti sa rakety na meteorologické merania nepoužívajú a preto nie je možné presne posúdiť ich efektívnosť v tejto oblasti. Do budúcnosti by bolo vhodné navrhnuť a otestovať prototyp sondážnej rakety určenej na meteorologické účely, ktorá by mohla efektívne dopĺňať meteorologické balóny najmä počas nepriaznivých podmienok.

Podakovanie

Tento výskum bol podporený v rámci projektu FUTUREFOR – Aplikácie programu Copernicus pre monitorovanie lesov novej generácie, výzva HORIZON-CL3-2023-DRS-01, Zmluvné číslo 101180278.

Referencie

- Encyclopaedia Britannica. 2024. sounding rocket. *britannica.com*. [Online] 25. Júl 2024. [Dátum: 30. Marec 2025.] <https://www.britannica.com/technology/sounding-rocket>.
- Aero Corner. 2020. Why Do Airplanes Fly in the Stratosphere? *aerocorner.com*. [Online] Aero Corner, 9. December 2020. [Dátum: 1. Marec 2025.] <https://aerocorner.com/blog/why-do-airplanes-fly-in-the-stratosphere/>.
- Brown, David, Linz, Marianna a Leidich, Jared. 2024. Seasonal and geographic viability of high altitude balloon navigation. *Scientific Reports*. 19. September 2024, Zv. XIV, 1.
- Brown, Eric. 2023. Boosting rocket reliability at the material level. *news.mit.edu*. [Online] MIT News | Massachusetts Institute of Technology, 28. November 2023. [Dátum: 1. Apríl 2025.] <https://quillbot.com/citation-generator/folders/6RG07yjAIBPli4FdVfPDHE/lists/7EodeYIkVntG5KABh4rrRC/sources/5z3n43R1cEXR8rmAJo0FH9/edit>.
- Cadamuro, Riccardo, a iní. 2024. A Static Stability Analysis Method for Passively Stabilized Sounding Rockets. *Aerospace*. Aircraft Modeling, Simulation and Control II, 20. Marec 2024, Zv. XI, 3.
- Ehrenfried, Manfred "Dutch" von. 2021. *Stratospheric balloons, Science and Commerce at the Edge of Space*. s.l. : Springer Praxis Books, 2021. ISBN 978-3-030-68129-6.

- EMPIREcom., s.r.o. 2024. *Cenová ponuka č. 241001/ML*. Nitra : EMPIREcom., s.r.o., 2024.
- European Commission. 2019. Nariadenie (EU) 2019/945 o bezpilotných leteckých systémoch a o prevádzkovateľoch bezpilotných leteckých systémov z tretích krajín. *eur-lex.europa.eu*. [Online] 21. Marec 2019. [Dátum: 10. Apríl 2025.] <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/945/oj/slk>. L 152.
- . 2019. Nariadenie (EÚ) 2019/947 o pravidlách a postupoch prevádzky bezpilotných lietadiel. *eur-lex.europa.eu*. [Online] 24. Máj 2019. [Dátum: 10. Apríl 2025.] https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2019/947/oj/slk. L 152.
- European Union Aviation Safety Agency. 2024. Easy Access Rules for Standardised European Rules of the Air. *easa.europa.eu*. [Online] 3. December 2024. [Dátum: 6. Apríl 2025.] https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/online-publications/easy-access-rules-standardised-european?page=23#_Toc256000380.
- . 2024. Specific Operations Risk Assessment (SORA) | EASA. *easa.europa.eu*. [Online] 10. Júl 2024. [Dátum: 6. Apríl 2025.] <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/operating-drone/specific-category-civil-drones/specific-operations-risk-assessment-sora>.
- HEMERA: The European Community for Advanced Research in the Stratosphere*. Albano, M., a iní. 2023. 102, s.l. : Aerotecnica Missili & Spazio, 2023, Zv. IV.
- Huh, J. a Kwon, S. 2022. A practical design approach for a single-stage sounding rocket to reach a target altitude. *cambridge.org*. [Online] The Aeronautical Journal, 3. Marec 2022. [Dátum: 30. Marec 2025.] <https://www.cambridge.org/core/journals/aeronautical-journal/article/practical-design-approach-for-a-singlestage-sounding-rocket-to-reach-a-target-altitude/F44C54276C25DF2E6F33C40A871FD828>.
- Letové prevádzkové služby Slovenskej Republiky. 2024. ENR 5.3 OSTATNÉ AKTIVITY NEBEZPEČNEJ POVAHY A INÉ. *aim.lps.sk*. [Online] 11. júl 2024. [Dátum: 6. Apríl 2025.] https://aim.lps.sk/eAIP/eAIP_SR/AIP_SR_EFF_15MAY2025/html/LZ-ENR-5.3-sk-SK.html.
- Ministerstvo životného prostredia SR. 2024. Zmluva 47-200-2023. *crz.gov.sk*. [Online] 1. Október 2024. [Dátum: 5. Apríl 2025.] <https://www.crz.gov.sk/zmluva/7648805/>.
- NASA Goddard Space Flight Center. 2015. *NASA Sounding Rockets User Handbook, Sounding Rockets Program Office, Sub-orbital and Special Orbital Projects Directorate*. Wallops Island : National Aeronautics and Space Administration, 2015. NASA-810-HB-SRP.
- National Aeronautics and Space Administration. 2023. Model Rocket Safety | Glenn Research Center | NASA. *grc.nasa.gov*. [Online] Glenn Research Center | NASA, 20. November 2023. [Dátum: 3. Apríl 2025.] <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/model-rocket-safety/>.
- . 2022. Sounding Rockets overview - NASA. *nasa.gov*. [Online] 2022. [Dátum: 13. Marec 2025.] <https://www.nasa.gov/soundingrockets/overview/>.
- . 2022. The super pressure balloon provides altitude stability and long duration ballooning at mid-Latitudes. *nasa.gov*. [Online] 19. September 2022. [Dátum: 2. Marec 2025.] https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/03/super-pressure-balloon-fact-sheet.pdf?utm_source=chatgpt.com.
- Pappalardo, Joe. 2018. The rocket fuel rivalry shaping the future of spaceflight, Popular Mechanics. *popularmechanics.com*. [Online] 10. Apríl 2018. [Dátum: 15. Marec 2025.] <https://www.popularmechanics.com/space/rockets/a19724715/liquid-solid-rocket-fuel-spacex-orbital-atk-blue-origin/>.
- Piccard, Donald L. 2023. Balloon flight - High Altitude, Stratospheric, Exploration | Britannica. *britannica.com*. [Online] Encyclopedia Britannica, 25. Október 2023. [Dátum: 29. Marec 2025.] <https://www.britannica.com/technology/balloon-flight/High-altitude-ballooning>.
- Posta, Alexandra, a iní. 2024. Improving an Active Stability System of a Sounding. *leedsrocketry.co.uk*. [Online] MECH5080M Team, 30. Apríl 2024. [Dátum: 1. Apríl 2025.] <https://leedsrocketry.co.uk/wp-content/uploads/2024/08/Improving-an-Active-Stability-System-of-a-Sounding-Rocket-via-Data-Monitoring-and-Interpretation-Methodologies.pdf>.
- Slovenský hydrometeorologický ústav. 2024. Zmluva 157-800-2024. *crz.gov.sk*. [Online] 1. Október 2024. [Dátum: 5. Apríl 2025.] <https://www.crz.gov.sk/zmluva/9835297/>.
- Soler Rodríguez, A. 2024. Preliminary Design of a High Power Rocket. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/412884/Final_report_Albert_Soler_Rodriguez.pdf?sequence=5. [Online] 2024.
- Sounding Rockets are unique Experimental Platforms*. Kirchhartz, Rainer, Hörschgen-Eggers, Marcus a Jung, Wolfgang. 2018. Berlín : German Aerospace Center (DLR), 2018. IAC-18.D2.6.8x46679.
- Tang, Jiwei, a iní. 2022. Research on Trajectory Prediction of a High-Altitude Zero-Pressure Balloon System to Assist Rapid Recovery. *Aerospace*. Mission Analysis and Design of Lighter-than-Air Flying Vehicles, 2022, Zv. IX, 10.



NÁVRH VERNOSTNÉHO PROGRAMU AKO NÁSTROJA NA ZVÝŠENIE ZÁKAZNÍCKEJ LOJALITY V LETECKEJ SPOLOČNOSTI

PROPOSAL OF A LOYALTY PROGRAM AS A MEANS OF ENHANCING CUSTOMER LOYALTY IN THE AIRLINE INDUSTRY

Zuzana Baštáková
Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Kristína Kováčiková
Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
kristina.kovacikova@uniza.sk

Radoslava Nichtová
Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

This article focuses on airline loyalty programs. The main objective of the article is to design a loyalty program for an airline that will promote customer loyalty. The first chapter presents the theoretical framework, covering key concepts such as customer, customer loyalty, communication tools and customer segmentation in air transport. It also outlines essential insights into the concept and functioning of loyalty programs. The second chapter analyses eight existing airline loyalty programs, each introduced by a brief profile of the respective airline. The effectiveness of each loyalty program is assessed based on a model that evaluates the system of earning and redeeming points as well as the benefits offered. Subsequently, a comparative analysis of the selected programs is conducted. The third chapter describes the objectives of the thesis and the fourth chapter deals with the methodology of thesis. The methods of literature search, analysis, comparison and questionnaire survey are used in the thesis. The fifth chapter presents the survey results, which serve as the basis for designing the proposed loyalty program. The proposal reflects current customer preferences and has the potential to enhance customer loyalty. The aim of the thesis is fulfilled through a comprehensive analysis, practical research, and the design of an applicable solution that may hold practical significance in the field of airline marketing management.

Keywords

customer, customer loyalty, communication tools, loyalty programme, airline

1. Úvod

Spokojnosť zákazníkov predstavuje jeden z najdôležitejších faktorov úspechu každej spoločnosti. Ide o zásadu, ktorou by sa mala riadiť každá firma bez ohľadu na odvetvie. Prvým krokom je oslovenie a získanie pozornosti zákazníkov. Ak sa spoločnosti podarí zaujať a prilákať zákazníkov, nasleduje oveľa náročnejšia fáza – ich udržanie. Lojalita zákazníkov je nevyhnutným predpokladom dlhodobej stability a rastu spoločnosti. V prípade leteckých spoločností je tento aspekt ešte dôležitejší, keďže konkurencia v leteckej doprave neustále rastie a cestujúci majú širokú škálu možností výberu. Letecké spoločnosti preto musia ponúkať nielen kvalitné služby, ale aj efektívne vernostné programy, ktoré motivujú zákazníkov k opakovanému využívaniu ich služieb. Vernostné programy predstavujú štandardnú súčasť ponuky väčšiny leteckých spoločností, avšak neustále sa meniace požiadavky zákazníkov, technologický pokrok a zvyšujúca sa konkurencia vytvárajú potrebu ich pravidelnej optimalizácie a vylepšovania. Preto je nevyhnutné nielen udržiavať existujúce vernostné programy, ale aj hľadať spôsoby ich vylepšenia, ktoré by reflektovali aktuálne potreby cestujúcich. Cieľom článku je navrhnúť efektívny vernostný program pre leteckú spoločnosť, ktorý podporí zákaznickú lojalitu.

2. Metodika a metódy skúmania

V rámci spracovania článku boli použité nasledujúce vedecké metódy:

- Metóda literárnej rešerše bola využitá na získanie teoretických poznatkov zo sekundárnych zdrojov, ako sú odborné knihy, články a internetové publikácie. Témy rešerše zahŕňali zákazníka, komunikačné nástroje a segmentáciu v leteckej doprave.
- Metóda analýzy bola aplikovaná pri skúmaní vernostných programov vybraných leteckých spoločností, pričom sa zameriavala na mechanizmy získavania bodov, benefity a štruktúru programov. Údaje boli čerpané z oficiálnych webových stránok spoločností.
- Metóda prieskumu prostredníctvom dotazníka bola využitá na zistenie skúseností a postojov cestujúcich k vernostným programom. Prieskum sa zameril na znalosť programov, motivačné faktory registrácie a spokojnosť s výhodami.

3. Teoretické východiská riešenej problematiky

Zákazník predstavuje kľúčový zdroj hodnoty pre akúkoľvek spoločnosť. V kontexte marketingu a podnikania predstavuje zákazník základný element, ktorého potreby a preferencie by mali byť stredobodom všetkých obchodných stratégií. Zákazníci nie sú len pasívnymi prijímateľmi produktov, ale ich správanie má priamy dopad na úspech alebo neúspech spoločnosti (Musumali, 2019).

V súčasnom svete sú jednotlivci neustále vystavení veľkému množstvu podnetov, ktoré významne vplývajú na proces ich rozhodovania. Rozhodovanie zákazníkov je ovplyvnené rôznymi formami reklamy, ktorými sú obklopení v každodennom živote. Tieto reklamné podnety môžu zásadne pôsobiť na ich názory a rozhodovanie o nákupe. Je takmer nemožné, aby reklamy nezmenili postoje a preferencie zákazníkov, pretože opakovaná expozícia produktom a značkám formuje ich vnímanie a hodnotenie možností na trhu (Surridge, 2003).

Spoločnosti implementujú stratégie propagácie svojich produktov alebo služieb s cieľom efektívne osloviť čo najväčší počet potenciálnych zákazníkov. Propagácia je proces, pri ktorom sa spoločnosti aktívne zameriavajú na efektívne komunikovanie so svojim cieľovým publikom. Cieľom tejto komunikácie je nielen informovať o dostupnosti ich produktov alebo služieb, ale aj budovať povedomie, zvýšiť záujem, prehĺbiť ich pozitívne prepojenie so značkou a podnietiť ich k nákupu. Existuje množstvo spôsobov, prostredníctvom ktorých môže spoločnosť komunikovať so svojimi zákazníkmi a podporiť ich k tomu, aby sa stali vernými klientmi. Na dosiahnutie tohto cieľa využívajú spoločnosti rôzne nástroje zahrnuté v tzv. propagačnom mixe. Propagačný mix predstavuje komplexný súbor rôznych komunikačných kanálov a nástrojov, ktoré obchodné organizácie využívajú s cieľom maximalizovať účinnosť svojich marketingových kampaní (Etuk et al., 2022; Etuk et al., 2021).

Vernostný program predstavuje formu podpory predaja, ktorá je navrhnutá tak, aby zákazníka motivovala k opakovaným nákupom v rámci určitého časového obdobia. Táto stratégia odmeňuje zákazníka rôznymi výhodami alebo benefitmi, čím priamo podporuje jeho lojalitu voči značke. Ide o účinný nástroj, ktorého základným cieľom je zvýšiť frekvenciu opakovaných nákupov od už existujúcich zákazníkov, ktorí v minulosti prejavili záujem o produkty alebo služby danej spoločnosti (Clemente, 2004).

Vernostné programy leteckých spoločností sú založené na programe, ktorý spustili American Airlines v roku 1981. Tento koncept postupne viedol k rozšíreniu jedného z najznámejších typov vernostných programov v leteckom priemysle, všeobecne známeho ako „Program pre častých cestujúcich“ (Hossain et al., 2017).

FFP sú často prezentované ako modelový príklad efektívnej stratégie zameranej na posilnenie vzťahu medzi poskytovateľmi služieb a ich klientmi prostredníctvom systému odmien za vernosť. Hodnotenie efektívnosti vernostných programov patrí medzi kľúčové aspekty ich riadenia. V tejto súvislosti existuje viacero osvedčených postupov a metód, ktoré umožňujú spoľahlivo merať výkonnosť týchto programov. Prehľad jedného z týchto prístupov je uvedený v Tabuľke 1 (Wever, n.d.).

Tabuľka 1. Model merania vernostných programov

Ďalšie možnosti zárobku	<ul style="list-style-type: none"> pridanie nového partnerstva s maloobchodným predajcom, napr. peniaze utratené v reštaurácii, ktoré sa pripíšu k vernostnému programu leteckej spoločnosti
	<ul style="list-style-type: none"> spustenie platby kreditnou kartou
	<ul style="list-style-type: none"> pridávanie hotelových zariadení, za ktoré môže člen získať body
Ďalšie možnosti uplatnenia bodov/míľ	<ul style="list-style-type: none"> pridanie nových leteckých partnerov k existujúcim možnostiam uplatnenia bodov/míľ
	<ul style="list-style-type: none"> možnosť použiť body na „špeciálne udalosti“
	<ul style="list-style-type: none"> možnosť vymeniť body za darčkové karty
Bonusy a propagácia	<ul style="list-style-type: none"> ponúkať možnosť „hotovosť a body“ alebo „hotovosť a míle“
	<ul style="list-style-type: none"> ponúkať možnosť „hotovosť a body“ alebo „hotovosť a míle“
Bonusy a propagácia	<ul style="list-style-type: none"> ponuka bonusových bodov na podporu výdavkov na základný produkt
	<ul style="list-style-type: none"> ponuka propagačného programu spätného odkúpenia, v ktorom majú body zvýšenú hodnotu na podporu spätného odkúpenia a budovania vernosti značke

Zvýšenie aktivít zákazníkov v rámci vernostných programov je možné dosiahnuť prostredníctvom rôznych inovatívnych prístupov a rozšírením ponuky programových výhod. Ako je uvedené v tabuľke 2, jednou z efektívnych stratégií je zavedenie nových možností na získavanie bodov, medzi ktoré patria partnerstvá s maloobchodnými predajcami, zavedenie možnosti platby kreditnou kartou leteckej spoločnosti alebo zahrnutie hotelových nehnuteľností do siete partnerov programu. Ďalším spôsobom, ako motivovať zákazníkov k vyššej miere zapojenia, je rozšírenie možností uplatnenia nazbieraných bodov. Môže ísť o spoluprácu s novými leteckými partnermi, ponuku vstupeniek na exkluzívne podujatia, výmenu bodov za darčkové karty alebo zavedenie modelov, akými sú „hotovosť a body“ či „hotovosť a míle“. Ide o modely, pri ktorých zákazníci môžu kombinovať platbu v hotovosti a uplatnenie nazbieraných bodov alebo míľ na zaplatenie leteniek, služieb či iných odmien. Okrem toho je možné využiť dve stratégie, ktoré sa často používajú vo

vernostných programoch na zvýšenie zapojenia zákazníkov a posilnenie lojality k značke:

a) Ponúkať bonusové body na podporu výdavkov na hlavný produkt: znamená to, že zákazníkovi sa udeľujú dodatočné body za nákupy konkrétnych produktov alebo služieb, aby ich to motivovalo nakupovať viac alebo častejšie. Napríklad pri kúpe leteniek v určitom období môžu zákazníci získať dvojnásobný počet bodov.

b) Ponúkať promočný program uplatnenia bodov, v ktorom majú body vyššiu hodnotu, na podporu ich uplatnenia a budovanie lojality k značke: ide o časovo obmedzené akcie, v rámci ktorých majú nazbierané body alebo míle zvýšenú hodnotu, keď ich zákazníci využijú na konkrétne odmeny (Wever, n.d.).

Na základe tohto modelu bola vykonaná analýza ôsmich leteckých spoločností, pričom päť z nich reprezentovali tradičných dopravcov a tri nízkonákladové letecké spoločnosti. Medzi vybrané vernostné programy tradičných leteckých spoločností patrili Executive Club od British Airways, AAdvantage od American Airlines, SkyPass od Korean Air, Miles&Smiles od Turkish Airlines a Privilege Plus od Qatar Airways. Z nízkonákladových leteckých spoločností boli analyzované programy Norwegian Reward od Norwegian Airlines, Rapid Rewards od Southwest Airlines a AirAsia Rewards od AirAsia. Výber týchto konkrétnych programov bol motivovaný ich rozsahom, významom na trhu a geografickou distribúciou týchto leteckých spoločností, ktoré pôsobia na rôznych kontinentoch. Tento výber zabezpečuje rôznorodý pohľad na fungovanie vernostných programov v kontexte tradičných a nízkonákladových leteckých spoločností a umožňuje efektívne porovnanie ich prístupov.

1. Norwegian Reward od Norwegian Airlines ponúka cestujúcim dve doplnkové možnosti získavania bodov okrem letov s leteckou spoločnosťou. Body môžu byť získané využívaním služieb partnerských spoločností.
2. AirAsia Rewards od AirAsia poskytuje svojim zákazníkom len tri doplnkové možnosti získavania bodov. Tieto možnosti zahŕňajú využívanie služieb partnerských spoločností, ako sú rezervácie ubytovania, prenájom áut a nakupovanie, a tiež používanie kreditnej karty AirAsia Platinum.
3. Rapid Rewards od Southwest Airlines okrem troch možností ďalšieho získavania bodov ponúka aj výhodu v podobe možnosti kombinácie „hotovosť a body“ alebo „hotovosť a míle“. Tento prístup je medzi nízkonákladovými leteckými spoločnosťami zriedkavý a posúva Southwest Airlines pred konkurenciu v tomto segmente.
4. SkyPass od Korean Air nepokrýva tri prvky uvedené v modeli merania vernostných programov. Týmto chýbajúcimi prvkami sú možnosť využitia bodov na „špeciálne udalosti“, možnosť výmeny bodov za darčekové karty a možnosť kombinovať „hotovosť a body“ alebo „hotovosť a míle“.
5. AAdvantage od American Airlines ponúka množstvo možností na získavanie míľ. Napriek tomu program neponúka možnosť „hotovosť a body“ ani „hotovosť a míle“, čo ich posúva za niektorých konkurentov. Aj keď program ponúka širokú škálu výhod, nedostatok flexibility v

kombinovaných platbách im bráni dosiahnuť absolútnu vedúcu pozíciu medzi vernostnými programami.

6. Privilege Club od Qatar Airways, Executive Club od British Airways a Miles&Smiles od Turkish Airlines plne pokrývajú všetkých deväť prvkov stanovených v modeli merania vernostných programov.

4. Výsledky

Návrh vernostného programu leteckej spoločnosti vychádza zo zistení získaných z analýzy existujúcich programov leteckých spoločností a výsledkov z prieskumu prostredníctvom dotazníka. Na základe vyhodnotenia dotazníkového prieskumu bolo identifikované, že mladšia generácia cestujúcich sa do vernostných programov leteckých spoločností zapája len minimálne. Hlavnými dôvodmi sú nedostatok informácií, nízka atraktivita benefitov a zdĺhavé procesy získavania odmen. Ak má byť vernostný program efektívny aj pre mladších zákazníkov, je potrebné prekonať tieto bariéry a prispôbiť program tak, aby lepšie reflektoval ich potreby a očakávania. Na tomto koncepte je postavený celý návrh vernostného programu leteckej spoločnosti, ktorý sa zameriava na zvýšenie atraktivity a dostupnosti pre všetky skupiny cestujúcich. Jednotlivé prvky programu a mechanizmy jeho fungovania:

4.1. Vhodná propagácia vernostného programu

Jednou z najefektívnejších stratégií na zvýšenie zapojenia cestujúcich do vernostného programu je ponúknuť im okamžitú výhodu už pri samotnej kúpe letenky. Prvým návrhom propagácie je viditeľná prezentácia pri kúpe letenky. Cestujúci pri kúpe letenky bude informovaný o vernostnom programe danej leteckej spoločnosti prostredníctvom interaktívneho oznámenia, ktoré umožní okamžitú informovanosť o možnostiach členstva a dostupných výhodách. Systém by automaticky aj ponúkol cestujúcemu možnosť získať dodatočný benefit za registráciu do vernostného programu. Je tam vysoko zaručená pravdepodobnosť zaregistrovania sa do programu kvôli zobrazeniu okamžitých výhod a následne ich využitiu hneď na prvý let. Napríklad zľava na prvú zakúpenú letenku, bonusové body hneď po registrácii alebo prednostné odbavenie, či prednostný nástup.

4.2. Jednoduché a zreteľné pravidlá

V mnohých existujúcich vernostných programoch sa pravidlá vyznačujú vysokou mierou komplexnosti, čo môže viesť k ich nepochopeniu a následnému nezájmu cestujúcich o registráciu. Zložitosť podmienok môže zároveň spôsobovať neochotu venovať čas ich štúdiu, prípadne presun zákazníkov ku konkurencii, ktorá ponúka transparentnejšie a zrozumiteľnejšie podmienky. Z tohto dôvodu je potrebné, aby pravidlá programu boli systematicky štruktúrované a vizuálne prehľadné, čím sa zvýši ich dostupnosť a zrozumiteľnosť pre široké spektrum cestujúcich.

S cieľom zlepšiť prehľadnosť a pochopiteľnosť vernostného programu sa navrhujú nasledovné opatrenia:

- rozdelenie pravidiel do samostatných sekcií, čím sa uľahčí ich vyhľadávanie a pochopenie (napr. získavanie bodov, využívanie bodov, elitné úrovne, expirácia bodov),

- použitie grafických prvkov na zvýšenie prehľadnosti prostredníctvom tabuliek alebo krátkych videí,
- úprava politiky expirácie bodov- jedným z hlavných faktorov, ktoré ovplyvňujú zapojenie cestujúcich do vernostných programov, je platnosť bodov. Väčšina leteckých spoločností stanovuje striktnú expiráciu bodov, čo môže byť nemotivujúce najmä pre cestujúcich, ktorí nelietajú pravidelne. Navrhuje sa implementácia modelu neexpirujúcich bodov, ktorý by umožnil ich využitie bez časové obmedzenia. Predpokladá sa oslovenie vyššieho spektra cestujúcich, najmä mladšiu generáciu, pre ktorých toto pravidlo môže byť rozhodujúce, či sa zapojať do vernostného programu alebo nie,
- automatické upozornenia o možnostiach využitia nazbieraných bodov - cestujúci často nevyužívajú nazbierané body z dôvodu nedostatočnej informovanosti o možnostiach ich uplatnenia. Z tohto dôvodu sa odporúča zavedenie individuálnych notifikácií prostredníctvom emailov, SMS správ alebo mobilnej aplikácie, ktoré by informovali o stave bodového konta, exkluzívnych ponukách alebo nových možnostiach využitia bodov,
- zavedenie mobilnej aplikácie – v neposlednom rade sa navrhuje vytvorenie mobilnej aplikácie, ktorá by členom umožnila sledovanie letov, výhod a bodového konta na jednom mieste.

4.3. Rýchla a ľahká registrácia

Prvým krokom k získaniu členstva je registrácia, navrhnutá tak, aby bola bezplatná, rýchla a užívateľsky nenáročná. Proces registrácie by vyžadoval iba základné údaje, čím by sa eliminovala akákoľvek administratívna záťaž pre nových členov. Dôraz by sa kládol na intuitivnosť a efektivitu, čím by sa zvýšila pravdepodobnosť úspešného dokončenia registrácie. Okamžite po jej ukončení by bol členovi pridelený uvítací bonus, ktorý by slúžil nielen ako forma odmeny, ale zároveň aj ako motivácia k aktívnemu zapojeniu sa do členskej komunity.

4.4. Elitné úrovne

Systém zbierania bodov by bol založený na prejdenej vzdialenosti, pričom vernostný program by zahŕňal štyri úrovne členstva. Vzhľadom na časté sťažnosti cestujúcich týkajúce sa nadmerne vysokých požiadaviek na nazbierané míle potrebné na získanie odmien by bolo vhodné prehodnotiť a optimalizovať tieto kritériá. Ich zníženie by mohlo zvýšiť atraktivitu programu a sprístupniť ho širšiemu spektru zákazníkov. Úprava podmienok získavania výhod by zároveň mohla motivovať cestujúcich k registrácii a aktívnej účasti na programe. Okrem toho by redukcia bodových nárokov na odmeny mohla významne prispieť k posilneniu zákazníckej lojality, eliminujúc tak bariéry spojené s nadmerným kumulovaním míľ. V rámci programu by sa aplikoval systém, kde by sa za jednu prejdenú míľu pridilil jeden bod (1 míľa = 1 bod). Pri prechode na vyššie úrovne by sa uplatňovalo percentuálne zvýšenie bodového zisku, v druhej úrovni o 25 %, v tretej o 50 % a vo štvrtéj o 100 %, čím by sa zvýšil postup medzi úrovňami a zvýšila by sa motivácia k častejšiemu cestovaniu.

4.5. Individuálne ponuky

Dátová analytika predstavuje kľúčový prvok pri zvyšovaní efektivity vernostného programu, pretože umožňuje poskytovanie ponúk na základe individuálnych preferencií a správania zákazníkov. Tento proces zahŕňa zhromažďovanie a analýzu údajov týkajúcich sa interakcií členov programu s leteckou spoločnosťou, ich nákupného správania, preferovaných destinácií a spätnej väzby. Cieľom je identifikovať vzory a trendy, ktoré umožnia cieľnejšiu komunikáciu a prispôsobenie benefitov tak, aby maximalizovali zákaznícku spokojnosť a lojalitu.

Jedným z hlavných prístupov je analýza cestovateľských zvyklostí členov. Napríklad zákazníkom, ktorí pravidelne cestujú do konkrétnej destinácie, by mohla byť ponúknutá exkluzívna zľava na danú trasu alebo zvýšené možnosti získania bonusových bodov. Rovnako by bolo možné identifikovať cestujúcich, ktorí využívajú služby danej leteckej spoločnosti vo vysokej frekvencii, a poskytnúť im špeciálne výhody, ako je prioritné odbavenie, prednostný nástup na palubu či zvýšené limity na batožinu.

Ďalším dôležitým aspektom personalizácie je využitie spätnej väzby zákazníkov. Analýza recenzií a hodnotení ukazuje, že členovia vernostného programu častejšie zanechávajú pozitívne hodnotenia a sú náchyľnejší odporúčať značku ostatným. Na základe tohto poznatku by bolo možné zaviesť systém odmeňovania zákazníkov za poskytnutie spätnej väzby, napríklad udeľovaním bonusových bodov alebo poskytovaním jednorazových zliav na budúce nákupy. Tento prístup by nielen zvýšil interakciu členov s programom, ale aj podporil pozitívne vnímanie značky.

Významným prvkom individuálnych ponúk by bola aj možnosť individuálneho výberu benefitov. Členovia programu by si mohli sami zvoliť, či chcú nazbierané body využiť na zľavy na letenky, prioritné odbavenie, vstup do letiskových salónikov alebo iné služby podľa vlastných potrieb a preferencií. Takýto flexibilný systém by zvýšil atraktivitu vernostného programu a umožnil cestujúcim prispôbiť si výhody podľa ich aktuálnych požiadaviek.

4.6. Extra výhody

Celkový čas odbavenia jedného lietadla je čas, od zastavenia lietadla na stojisku do uvedenia lietadla do pohybu (ang. time from on-block to off-block). Pozostáva z niekoľkých procesov, pri ktorých je potrebný personál a prostriedky na vykonanie pozemnej obsluhy. Cieľom zrýchlenia pozemnej obsluhy lietadiel je poskytnúť pozemnú obsluhu, čo najväčšiemu počtu leteckých spoločností a zlepšiť celkové využitie stojísk. Navrhované dodatočné benefity:

1. Exkluzívny prístup k letenkám a akciám pred ich zverejnením - členom vernostného programu by bola umožnená prednostná možnosť zakúpenia leteniek ešte pred ich oficiálnym sprístupnením verejnosti.
2. Zavedenie bonusových bodov za aktivity mimo letiska, ako napríklad vyplnenie recenzií ohľadom programu - s cieľom podporiť angažovanosť zákazníkov by boli zavedené bonusové body za aktivity, ako je vyplnenie spätnej väzby na vernostný program, hodnotenie služieb alebo účasť na zákazníckych prieskumoch.

3. Exkluzívne VIP podujatia pre členov (stretnutie s pilotmi, prehliadky letísk, letecké simulátory) - pre najvernejších zákazníkov by boli organizované špeciálne VIP podujatia, ako napríklad stretnutia s pilotmi, exkluzívne prehliadky letísk či možnosť absolvovať let v leteckom simulátore.
4. Odmeny za odporúčanie programu – Zavedenie systému odmeňovania za odporúčanie vernostného programu by umožnilo existujúcim členom získavať bonusové body za každého nového člena, ktorý sa na ich odporúčanie zaregistruje a využije služby leteckej spoločnosti.

4.7. Predpokladané výsledky implementácie

- zvýšeniu počtu registrovaných členov vernostného programu,
- rastu objemu zakúpených leteniek,
- vyššej miere opakovaných nákupov členov zaregistrovaných vo vernostnom programe,
- posilneniu väzieb medzi zákazníkmi a leteckou spoločnosťou,
- nárastu spokojnosti zákazníkov prostredníctvom individuálnych ponúk a dodatočných výhod,
- stimulácii pravidelnejšieho využívania služieb danou leteckou spoločnosťou,
- väčšej vernosti zákazníkov v dôsledku výhodnejších podmienok na uplatnenie benefitov,
- zníženiu odchodov ku konkurenčným leteckým spoločnostiam,
- posilneniu značky leteckej spoločnosti na trhu.

4.8. Zhrnutie

Predložený návrh vernostného programu pre leteckú spoločnosť vychádza z komplexnej analýzy vybraných existujúcich vernostných programov a z výsledkov dotazníkového prieskumu realizovaného na území Slovenskej republiky. Prieskum poskytol cenné poznatky o vnímaní vernostných programov cestujúcimi, ich preferenciách, dôvodoch zapojenia alebo nezapojenia sa, ako aj o očakávaníach, ktoré zákazníci kladú na programy tohto typu.

Cieľom návrhu je zvýšenie atraktivity vernostného programu prostredníctvom cielenej propagácie, zjednodušenia pravidiel, zefektívnenia registračného procesu a zavedenia transparentného systému odmeňovania. Dôležitou súčasťou návrhu je zavedenie elitných úrovní členstva, ktoré motivujú zákazníkov k vyššej miere zapojenia a častejšiemu využívaniu služieb leteckej spoločnosti. Každá úroveň je previazaná s konkrétnymi výhodami, ako napríklad prednostné odbavenie, prístup do salónikov alebo bezplatný výber sedadla. Kľúčovými prvkami sú aj rozšírenie spolupráce s partnermi a personalizácia ponúk, ktorá reflektuje individuálne potreby zákazníkov na základe ich predchádzajúceho správania, destinácií a preferencií. Táto forma cieleneho prístupu umožňuje budovanie silnejšieho vzťahu medzi leteckou spoločnosťou a jej zákazníkmi.

Súčasťou návrhu je aj zavedenie dodatočných výhod, ako sú bonusy za odporúčanie členov alebo rôzne podujatia, zahrňujúce stretnutie s pilotmi, či prehliadka letísk. Očakávané prínosy tohto riešenia sa prejavia najmä v posilnení väzieb medzi zákazníkom a leteckou spoločnosťou, či už ide o rast počtu registrovaných členov, vyššiu mieru opakovaných nákupov, zvýšenú spokojnosť s poskytovanými službami alebo v konečnom dôsledku o stabilizáciu postavenia značky v konkurenčnom prostredí. Implementácia navrhnutého systému zároveň otvára priestor pre efektívnejšie oslovenie cieľových skupín a udržateľný rast zákazníckej lojality.

5. Záver

V súčasnej leteckej doprave nadobúda budovanie silných a trvalých vzťahov so zákazníkmi čoraz strategickejší význam. V podmienkach silnej trhovej konkurencie, rozvinutého trhu, technologického vývoja a rýchlo sa meniacich preferencií cestujúcich sa lojalita zákazníkov stáva nielen konkurenčnou výhodou, ale aj nevyhnutným predpokladom pre dlhodobé udržanie trhového postavenia leteckých spoločností. Z uvedeného vyplýva, že vernostné programy neslúžia len ako doplnkový nástroj marketingovej komunikácie, ale ako komplexný systém podpory zákazníckej skúsenosti a vzťahového marketingu. Ich efektivita je však podmienená schopnosťou reflektovať aktuálne očakávania cestujúcich a pružne reagovať na dynamiku globálneho trhu. Cieľom odborného článku bolo navrhnúť vernostný program pre leteckú spoločnosť, ktorý by reflektoval tieto výzvy a zároveň prispel k zvýšeniu zákazníckej spokojnosti a vernosti.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra 2014 - 2020 pre projekt: Inteligentné operačné a spracovateľské systémy pre UAV, s ITMS kódom projektu 313011V422, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Referencie

- Clemente, M.N. 2004. Slovník marketingu. Computer Press, Brno. Available: <https://www.stratosjets.com/blog/difference-between-charter-flights-and-scheduled-flights/> (Accessed August 21, 2025).
- Etuk, A., Anyadighibe, A.J., James, E.E., & Stephen, R. 2021. Effect of promotional mix on the marketing of insurance services. *Journal of Business and Management Studies (JBMS)*, 3(2), 125–134.
- Etuk, A., Anyadighibe, A.J., James, E.E., & Ulo, I.A. 2022. Marketing mix and subscribers' satisfaction in the telecommunications industry. *Journal of Advanced Research and Multidisciplinary Studies*, 2(1), 29–41.
- Hossain, M.Z., Kibria, H., & Farhana, S. 2017. Do customer loyalty programs really work in airlines business?—A study on Air Berlin. *Journal of Service Science and Management*, 10(4), 360–375.

- Musumali, B. 2019. An analysis why customers are so important and how marketers go about in understanding their decisions. *Business and Marketing Research Journal*, 23(23), 230–246.
- Surridge, M. 2003. *Business Studies* (2nd ed.). Philip Allan Updates, United Kingdom.
- Wever, M. n.d. The importance of customer loyalty programs in the airline industry. *Journal of Interdisciplinary Research*, 5(1), 84–90.

AEROjournal

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
VAT number: 00 397 563

Head of the editorial board: **doc. Ing. Martin Bugaj, PhD.**
Technical editor: **doc. Ing. Matúš Materna, PhD.**

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

Circulation: 100 prints
Date of publication: 15.8.2025
Periodicity: 2 issues per year



<https://doi.org/10.26552/aer.J.2025.1>

ISSN: 1338-8215

EV 6082/22