



IDENTIFIKÁCIA PREKÁŽOK V OKOLÍ LETISKA LZZI PROSTREDNÍCTVOM LETECKÉHO LASEROVÉHO SKENOVANIA

Denis Švancár
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Filip Škultéty
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The article focuses on the identification of obstacles in the vicinity of Žilina Airport (LZZI) by means of airborne laser scanning technology. The main objective of the thesis is to identify the limitations of this technology in determining the location and height of potential obstacles in the vicinity of Žilina Airport that could threaten the safety of air traffic. The subsequent values found were compared with the requirements set by the International Civil Aviation Organization (ICAO). The results showed that the LiDAR technology enables satisfactory identification of obstacles interfering with the airport obstacle planes. A number of vegetation obstacles were identified that interfere with the obstacle planes of Žilina Airport. The accuracy of the data collection met the requirements set by ICAO PANS-AIM for the areas surrounding the airport. The work confirmed the time efficiency of airborne laser scanning when used over vegetation obstructions in the wider vicinity of the airport.

Keywords

Airborne Laser Scanning. LiDAR. Obstacle Clearance Surface. Tachymetry. LZZI

1. Úvod

V civilnom letectve je kladený najvyšší dôraz na bezpečnosť. Pre jej zabezpečenie je nevyhnutné byť informovaný o prekážkach, ktoré by mohli ovplyvniť bezpečnosť cestujúci, posádky a ľudí v okolí letísk. Preto je potrebné dôkladne monitorovať a eliminovať prekážky, ktoré by mohli ovplyvniť letovú prevádzku. Tradičné spôsoby zameriavania prekážok akými sú tachymetria a vizuálne pozorovania sú v súčasnosti nahradzované technológiami diaľkového prieskumu zeme.

Letecké laserové skenovanie je jednou z metód diaľkového prieskumu zeme. Umožňuje vytváranie digitálnych modelov povrchu zeme na základe interpolácie mračna bodov získaných pomocou LiDAR technológie. Tá na základe vysielania a príjmu odrazov infračerveného lasera dokáže získať presnú vizualizáciu mračna bodov vďaka, ktorý následne vie identifikovať objekty a prekážky ležiace na povrchu zeme.

Vzhľadom na vzrastajúcu leteckú prevádzku a potrebu rýchlo a presne určiť prekážky, ktoré by ju mohli ohroziť začala Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo (ICAO) implementovať do svojich štandardov požiadavky, ktoré musia byť splnené aby bolo možné dáta získané pomocou leteckého laserového skenovania považovať za relevantné.

V diplomovej práci sa zameriavame na identifikáciu prekážok v okolí Letiska Žilina (LZZI) s využitím leteckého laserového skenovania. Cieľom práce je analyzovať možnosti technológie LiDAR pri zisťovaní polohy a výšky potenciálnych prekážok, ktoré by mohli zasahovať do prekážkových rovín Letiska Žilina, následne porovnanie s požiadavkami kladenými Medzinárodnou organizáciou pre civilné letectvo a výsledné zhodnotenie prekážok, ktoré by mohli ohroziť bezpečnosť letovej prevádzky na Letisku Žilina.

2. Metodika a metódy skúmania

V praktickej časti diplomovej práce je rozpracovaná metodológia určovania prekážkových rovín, zber dát a identifikovanie aktuálnych prekážok v okolí letiska Žilina LZZI prostredníctvom leteckého laserového skenovania (LLS). Pre vytýčenie prekážkových rovín je nevyhnutné postupovať v súlade s platnými normami stanovenými Medzinárodnou organizáciou pre letectvo ICAO, konkrétne s dokumentom Annex 14 a ICAO PANS – AIM. Pre slovenskú časť predpisov budeme využívať letecké predpisy L 14 a L 15, vydávané Dopravným úradom.

Letisko Žilina, ktoré je klasifikované podľa kódu dráhy a kritického typu ako 2B (vzletová a pristávacia dráha s dĺžkou 800 m – 1200 m, max. rozpätie 15 m až 24 m a rozchod podvozku 4,5 až 6 metrov) podlieha presne zadefinovaným prekážkovým rovinám, ktoré je potrebné analyzovať z hľadiska existujúcich objektov, nových objektov a okolitého terénu. Záber snímanej oblasti preto zahŕňa nielen bezprostredne okolie pristávacej a vzletovej dráhy a pohybových plôch letiska ale a aj širšie okolie letiska, kde môžu prekážky ovplyvniť bezpečnosť letovej prevádzky.

V rámci ďalšieho spracovávania sa bude metodológia zaoberať zberom údajov pomocou bezpilotného leteckého systému (UAV – ang. Unmanned Aerial Vehicle) DJI Matrice 300 RTK vybaveného LiDAR systémom DJI Zenmuse L1, ktorý umožňuje získavať mračná bodov s vysokou presnosťou a hustotou. Pre získanie presnej polohy bude sústava dronu doplnená aj o polohový signál z DJI D-RTK mobilnej stanice, ktorá na základe presnej polohy prispeje k presnému určeniu polohy jednotlivých bodov pri leteckom laserovom skenovaní.

Výsledkom tejto akvizície bude implementovať vhodné metódy postprocesingu údajov, vrátane georeferencovania, filtrovania chybných odrazov, klasifikácie dát a transformácia mračna

bodov do digitálneho modelu terénu a digitálneho modelu povrchu.

Cieľom práce je demonštrovať presnosť metódy zberu dát prostredníctvom bezpilotných prostriedkov a technológie LiDAR, ktoré by mohli efektívne nahradiť alebo doplniť tradičné metódy pri tvorbe topografických a bezpečnostných analýz letiskovej infraštruktúry.

Prínos práce zahŕňa vytvorenie záznamu prekážok nachádzajúcich sa v prekážkových rovinách letiska Žilina a možné odporúčania pre ich odstránenie.

2.1. Stanovenie prekážkových rovín

2.1.1. Východiskové dokumenty a legislatívny rámec

Pri určovaní prekážkových rovín boli ako metodický základ aplikované ustanovenia ICAO Annex 14 – Letiská, zväzok I - Návrh a prevádzka letísk, konkrétne kapitol, týkajúcich sa prekážkových rovín. Dopĺňujúcimi predpismi boli ICAO Doc 9137 (Airport Service Manual), Letecká informačná príručka SR (AIP SR) ICAO Doc 8697 (Aeronautical Chart Manual) a ICAO Doc 8168 (Aircraft Operations). [1,2,3,4,5]

Vzťažný bod letiska

Vzťažný bod letiska je stanovený v geometrickom strede vzletovej a pristávacej 06/24 so zemepisnými súradnicami:

v systéme S-JTSK:

$$x = 1170303,46 \text{ m}$$

$$y = 452306,62 \text{ m}$$

v systéme WGS-84

$$\phi = 49^{\circ}14'00,4''\text{N}$$

$$\lambda = 18^{\circ}36'48,9''\text{E}$$

Nadmorská výška vzťažného bodu letiska je 310 m. n. m. Bpv. („Baltský po vyrovnaní“).

Pás dráhy

Rozmery pásu dráhy pre Letisko Žilina sú stanovené na základe jeho kódového čísla 2 a prístrojového priblíženia kategórie I. Dĺžka pásu dráhy siaha 60 metrov za dráhu a jeho šírka je 75 metrov od osi dráhy. Objekty, ktoré nevyhovujú požiadavkám ICAO Annex 14 by nemali byť vo vzdialenosti 45 metrov od osi dráhy

2.1.2. Definovanie prekážkových rovín pre priblíženie na pristátie

Pre Letisko Žilina bolo na základe klasifikácie dráhy a kritického typu lietadla definované kódové značenie 2C. Kódové číslo 2 určuje menovitú dĺžku dráhy vzletu od 800m až do 1200m, nie vrátane. Dráha Letiska Žilina 06/24 má dĺžku 1150 m. Kódový znak C je určený na základe rozpätia krídel kritického typu lietadla od 24m do 36m nie vrátane a taktiež podľa vonkajšieho rozchodu kolies hlavného podvozku od 6m do 9m, nie vrátane.

Pre Letisko Žilina je kritický typ lietadla ATR 42, s rozpätím 24,57 m a rozchodom podvozku 4,1 m.

Počas prevádzkových hodín Letisko Žilina disponuje prístrojom na presné priblíženie ILS CAT I, potrebné postupovať podľa požiadaviek pre stanovovanie prekážkových rovín podľa ICAO Annex 14. Letiská, ktoré disponujú prístrojom pre presné priblíženie, a je využívaný, musia mať stanovené nasledujúce prekážkové roviny:

- Vnútorá vodorovná rovina
- Kužeľová plocha
- Vonkajšia vodorovná rovina
- Približovacia rovina
- Prechodová rovina
- Vnútorá približovacia rovina
- Vnútorá prechodová plocha
- Rovina nevydareného pristátia.

Pokiaľ Letisko Žilina nie je v prevádzke alebo zariadenie na presné priblíženie nie je aktívne (údržba). Musia byť pre Letisko Žilina stanovené prekážkové roviny pre nepresné priblíženie a pre neprístrojové priblíženie. Tieto roviny musia obsahovať:

- Vnútorú vodorovnú rovinu
- Kužeľovú plochu
- Vonkajšia vodorovná rovina
- Približovaciú rovinu
- Prechodovú plochu

V rámci tejto diplomovej práce sa zameriavame výlučne na stanovenie prekážkových rovín pre dráhu (06/24) vybavenú prístrojom pre presné priblíženie a pristátie. Nakoľko tieto roviny podliehajú prísnejším požiadavkám na ochranu letovej prevádzky v porovnaní s rovinami pre nepresné priblíženie alebo neprístrojové priblíženie, ktoré sú z veľkej časti týmto typom rovín už pokryté.

Vnútorá vodorovná rovina

Nachádza sa vo výške 45 metrov nad vzťažným bodom letiska. Jej okraj je pre Letisko Žilina meraný taktiež od referenčného bodu a siaha do vzdialenosti 3500 m v horizontálnej rovine.

Kužeľová plocha

Jej základňa začína vo výške vnútornej horizontálnej roviny (45 m). Od nej siaha do výšky 105 m nad referenčným bodom letiska (výška plochy 60 m). Jej sklon je 5% voči horizontálnej osi.

Vonkajšia vodorovná rovina

Rozprestiera sa horizontálne od výšky 105 m (koniec kužeľovej plochy) do vzdialenosti 10 000 m od koncov dráh.

Približovacia rovina

Približovacia sa skladá z dvoch častí. Začína 60 metrov za prahom dráhy a šírka vnútorného okraja je 150 metrov (75 metrov do obidvoch strán od osy RWY). Od jej okrajov sa roztvára 15 % do každej strany.

- Prvá časť má dĺžku 3000 m so sklonom 2,5 %
- Druhá časť má dĺžku 12 000 m so sklonom 3 %.
- Jej celková dĺžka je 15 000 m

Prechodová rovina

Tvorí priestor medzi približovacou rovinou a rovinou nevydareného pristátia. Pod sklonom 14.3 % kopíruje horizontálnu rovinu pasu dráhy.

Vnútorná približovacia rovina

Vnútorná približovacia rovina slúži lietadlám pre zabezpečenie dostatočného rozstup voči okolitému terénu pri presnom priblížení na pristátie. Jej začiatok je 60 m pred prahom dráhy so šírkou 90 m, dĺžkou 900 m a sklonom 2,5 %.

Vnútorná prechodová rovina

Vnútorná prechodová rovina siaha od pásu dráhy so sklonom 40 % voči horizontálnej rovine pasu dráhy.

Rovina nevydareného pristátia

Rovina nevydareného pristátia siaha od konca pasu dráhy. Šírka roviny je 90 m pri pase dráhy, roztvára sa 10 % na každú stranu so sklonom 4 %. Rovina končí pri dosiahnutí vnútornej vodorovnej plochy (45 m nad referenčným bodom letiska).

Definovanie prekážkových rovín pre vzlet

Pre vzlet ICAO Annex 14 definuje len jednu prekážkovú rovinu. Pre Letisko Žilina s kódovým číslom 2 je potrebné aby vnútorný okraj predpoľa začínal vo vzdialenosti 60 metrov od prahu dráhy a mal šírku 80 metrov. Následne so sklonom 4 % sa roztvára na každú stranu 10 % až do maximálnej šírky 580 metrov a vzdialenosti 2500 metrov.

Historicky zaznamenané prekážky zasahujúce do Ochranných pásiem

Letisko Žilina periodicky podľa zákona vykonáva aktualizáciu prekážok ktoré by mohli ohroziť bezpečnú prevádzku lietadiel a zasahovať či už do prekážkových rovín ale aj ochranných pásiem letiska. Posledné meranie sa uskutočnilo 21. septembra 2022 za účasti odborného pracovníka z oblasti OPÚ (Ochrana prevádzky a údržby) a zástupcov spoločnosti SYKO s.r.o., ktorý vykonávali merania objektov pre Letiskovú spoločnosť Žilina a.s.. [31]

Počas prehliadky ochranných zón Letiska Žilina boli identifikované zmeny oproti predošlým revíziám z rokov 2012 a 2014, konkrétne odstránenie prekážky č. 7 (Komín Pivovaru Popper) a doplnenie nových prekážok – technické zariadenia v areáli letiska (vysielače). Súčasne bolo vykonané aj premeranie vegetačných prekážok (č.23 – 26), pričom bola zaznamenaná mierna zmena výškového rozdielu a údaje zo starších meraní boli nahradené novými. [6]

Zber dát bol realizovaný kombináciou meracích metód a to pomocou GNSS-RTK a klasickej tachymetrie prístrojom Leica TS15A. Pre doplnkové merania bol využitý prístroj Leica Disto D8. Po meraní boli dáta spracované v súradnicovom systéme ETRS89 a následne transformované do systému S-JTSK použitím transformačného modelu Molodensky – Badekas na základe lokálneho transformačného kľúča vytvoreného z bodov štátnej priestorovej siete. [6]

Výpočet nadmorských výšok Bpv. bol realizovaný interpoláciou prevýšenia geoidu z digitálneho výškového modelu DMVR05. Následne boli dáta spracované a vyhotovené záverečné správy. Merania zodpovedali kritériám presnosti podľa STN v rámci III. triedy a potvrdili, že žiadna zo známych prekážok nepresahuje limitné výšky určené pre ochranné roviny letiska. Podrobný zoznam zameraných prekážok nájdete v prílohe A. [6]

2.2. Metodika skenovania letiska pomocou technológie ALS

Na základe poznatkov získaných z predchádzajúcich kapitol sa táto časť diplomovej práce zameriava na metodiku zberu údajov získaných prostredníctvom leteckého laserového skenovania. Cieľom tejto kapitoly je vytvoriť presný a systematický postup, ktorým boli dáta zhromaždené a následne vykonané pozemné geodetické merania, ktoré by overovali a zaručovali presnosť získaných dát pomocou technológie LiDAR. Metodický prístup v tejto kapitole definuje jednotlivé fázy od plánovania letu až po samotný zber kontrolných údajov.

2.2.1. Stanovenie miesta záujmu skenovania

Pre účely práce a jej rozsahu boli stanovené miesta záujmu vegetačné prekážky v okolí Letiska Žilina, ktoré v období od posledného merania zmenili svoju výšku a teda by mohli ovplyvniť bezpečnosť leteckej prevádzky. Taktiež sa zameriavame na stavebné prekážky v areály letiska, ktorými sú budovy Žilinskej univerzity - Leteckého výcvikového a vzdelávacieho centra. Ostatné prekážky ostávajú nezmenené a teda svojou výškou by nemali zasahovať do prekážkových rovín Letiska Žilina.

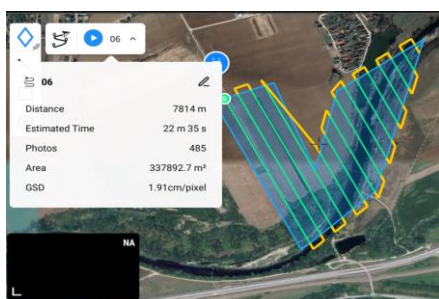
Vegetačné prekážky v podobe vetrolamov majú v okolí Letiska Žilina viaceré funkčné účely. Ich hlavnou úlohou je znižovanie účinkov vetra na otvorené plochy letiskovej infraštruktúry akými je hlavne vzletová a pristávacia dráha. Vetrolamy dokážu zmierniť rýchlosť a prúdenie vetra počas kritických fáz letu, akými sú rotácia pri vzlete a podrovanie pri pristátí. Ich nevýhodou je vytváranie turbulентného prúdenia pri vzlete a finálnom priblížení, ktoré môže taktiež ovplyvniť kritické fázy letu. Vetrolamy zároveň plnia protihlukovú funkciu pre okolité obce obkolesujúce Letisko Žilina.

V ovládači od DJI Matrice 300 RTK sme si v aplikácii DJI Pilot 2 nastavili požadované územie, ktoré chceme skenovať. Na základe zvolenej výšky letu, rýchlosti a počtu skenovaných bodov na meter štvorcový nám aplikácia zobrazila vypočítanú trasu. Táto trasa sa dá horizontálne upravovať tak aby sme si ju prispôbili skenovanej oblasti. My sme si trať letu pootočili tak aby boli presne naskenované prekážky, ktoré by mohli zasahovať do prekážkových rovín letiska a zároveň doba letu bola čo najnižšia aby sme šetrne pristupovali k ekonomickému využívaniu bezpilotného prostriedku a jeho batérií.

Územie sme si rozdelili na 3 oblasti. Vetrolamy pred dráhou 06, vetrolamy pred dráhou 24 a univerzitné budovy. Zvyšné územie bolo doplnené údajmi z dopravného úradu, ktoré boli získané pomocou leteckého laserového skenovania v rokoch 2017 za účelom vytvorenia digitálneho modelu povrchu Slovenskej republiky (DMP 5.0)



Obrázok 1 Vetrolamy pred dráhou 24



Obrázok 2 Vetrolamy pred dráhou 06

2.2.2. Vyznačenie vlíčovacích bodov

Vlíčovacie body sme vytvorili pomocou čiernych a bielych výkresov. Tieto voči okolitej flóre tvoria výraznú kontrastnú plochu na základe ktorej je možné určiť ich polohu. DJI Zenmuse L1 disponuje aj RGB kamerou a pri skenovaní vytvára aj fotografie územia. Vďaka tomu by mali byť vlíčovacie body jednoducho rozpoznateľné nielen na základe odrazivosti ale aj farby pri vyhodnocovaní získaných bodov pomocou LiDAR technológie.

Vlíčovacie body sme následne umiestnili do 3 lokácií, ktoré sme následne skenovali za pomoci leteckého laserového skenovania a LiDAR technológie. Na každú lokáciu boli použité 2 body aby ich presná poloha mohla byť v softwarovom modeli určená.

Za pomoci geodeta a zariadenia Leica Viva GS12 bola určená presná poloha stredov vlíčovacích bodov. Presnosť statického merania stanice je v rámci 3 mm horizontálne a 6 mm vertikálne. [35] Následne boli okraje vlíčovacích bodov označené pre použitie v deň, kedy bude vykonávané letecké laserové skenovanie (kvôli nepriaznivému počasiu neboli zameranie vlíčovacích bodov a letecké laserové skenovanie vykonávané v jeden deň).



Obrázok 3 Zameranie polohy a označenie vlíčovacieho bodu

Zariadenie Leica Viva GS12 používa súradnicový systém S-JTSK 03. Poloha vlíčovacích bodov bola následne extrahovaná zo zariadenia a transformovaná na údaje vo ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989). Nadmorská výška vlíčovacích bodov bola zameraná v Bpv výškovom systéme a následne transformovaná do ETRS89.

2.3. Zber kontrolných údajov pomocou Tachymetrie

Pre vykonanie tachymetrického merania sme využívali prístroje Leica Viva GS12 a Leica TS15 I. Zameranie vegetačných prekážok bola vykonaná certifikovaným geodetom podľa postupov uvedených pre geodetické merania aby sme dosiahli čo najvyššiu presnosť meraní.

2.3.1. Príprava merania

Pred samotným meraním bolo potrebné vybrať vhodné stanovisko, ktoré by poskytovalo dostatočný výhľad na vegetačné prekážky. Na stanovisku bol inštalovaný statív, na ktorom bola umiestnená totálna stanica. Nohy statívu boli umiestnené tak aby vodováha umiestnená na ňom bola v horizonte a guľička ukazovala stred.

Pre kalibráciu prístroja bolo nutné zamerať minimálne 2 body aby sa mohla totálna stanica Leica TS15 I ustáliť v zemepisných súradniciach. My sme zvolili metódu troch bodov, čím vzniká presnejšie meranie. S prístrojom Leica Viva

GS12 sme zamerali 3 body na základe GNSS merania. Následne boli tieto body manuálne vložené do totálnej stanice. [7]



Obrázok 4 Zameranie bodov pre kalibráciu totálnej stanice

Kalibrácia totálnej stanice spočívala v opakovanom zameraní bodov pomocou kryštálov, ktoré vytvorilo presnú zemepisnú polohu totálnej stanice s presnosťou na milimetre. Postupne boli totálnou stanicou zamerané jednotlivé body meracou tyčou s kryštálom.



Obrázok 5 Kalibrácia totálnej stanice

2.3.2. Zameranie prekážok

Po ustálení totálnej stanice v súradnicovom systéme bolo možné pristúpiť k samotnému meraniu vybraných vegetačných objektov.



Obrázok 6 Zameranie vrcholov korún stromov

Pri meraní vegetačných prekážok bolo kritickým faktorom počasie, ktoré ovplyvňovalo ich pohyb. Nakoniec však meranie bolo úspešné a pomocou totálnej stanice, ktorá zameriavala prekážky odrazom laserového lúča bola zistená presná zemepisná poloha a nadmorská výška prekážok.

Presnosť merania totálnej stanice je 1mm. Výsledné hodnoty namerané pomocou totálnej stanice a transformované do požadovaného súradnicového systému s ktorým bude naše softwarové zariadenie pracovať. Hodnoty sú uvedené v nasledujúcej tabuľke č. 6

Pre určenie polohy prekážok v prípade budov Žilinskej univerzity – leteckého výcvikového a vzdelávacieho centra sme využili správu o prekážkach zasahujúcich do ochranných zón Letiska Žilina, vytvorenú spoločnosťou SYKO s.r.o. pre Letiskovú spoločnosť Žilina a.s. Zo správy boli vyťahované body, na základe ktorých by sme vedeli určiť presnú polohu pri ustálení mračna bodov do softvéru pre jeho spracovanie.

3. Výsledky práce

3.1. Prekážky

Po zakreslení jednotlivých prekážkových rovín Letiska Žilina a následnom odčítaní údajov z Quick Terrain Modelera, bolo možné vykonať podrobnú analýzu výšky, polohy a charakteru prekážok, ktoré zasahujú do prekážkových rovín Letiska Žilina. Na základe tejto analýzy môžeme jednoznačne konštatovať zistené nálezy týkajúce sa objektov, ktoré presahujú stanovené

výškové limity prekážkových rovín a potenciálne predstavujú riziko pre bezpečnosť leteckej prevádzky.

Do prvej časti približovacej roviny a jej prechodovej plochy zasahuje viac než 30 vegetačných prekážok. Tieto prekážky nezasahujú do vnútornej približovacej roviny. Po vykreslení vnútornej približovacej roviny a prepočtu presnej výšky a vzdialenosti bodu 4 bolo zistené, že bod zatiaľ nezasahuje do vnútornej zostupovej roviny. Taktiež bod 3 zatiaľ nezasahuje do približovacej roviny. Tieto dve prekážky boli do tabuľky prekážok zasahujúcich do rovín pridané hlavne z dôvodu presného zamerania geodetom a ich blízkeho výskytu pod prekážkovou rovinou. Taktiež tieto prekážky tvoria stromoradie vetrolamov, ktoré počas prichádzajúceho vegetačného obdobia môžu výrazne zvýšiť svoju výšku a tým zasahovať do najkritickejšej roviny pri priblížení lietadla na pristátie.

Program Quick Terrain Modeler nedokázal presne vykresliť uhol roviny pre priblíženie, preto bol použitý len ako pomôcka pri identifikovaní prekážok a nie pre odčítanie priamych hodnôt presahov prekážok cez roviny. Presahy boli vypočítané na základe trigonometrie, v ktorej bola použitá vzdialenosť od pásu dráhy, výška prekážky a uhol zvierajúcej roviny. Pri výpočte nebolo použité zakrivenie geoidu a preto sa výpočty môžu mierne líšiť (rádovo v cm).

Budovy Žilinskej univerzity a jej hangáre sú v dostatočnej vzdialenosti od prekážkových rovín a svojou časťou nezasahujú do prechodovej roviny. Veža letiska je jedinou nami zaznamenanou prekážkou, ktorá do roviny zasahuje. Táto prekážka vytvára svojou prítomnosťou len malé riziko. Je využívaná počas prevádzkových hodín na riadenie priletov, odletov a pohybov na pohybových plochách letiska, vďaka tomu má opodstatnenie sa nachádzať v blízkosti dráhy a zasahovať do prekážkových rovín Letiska Žilina.

Vetrolamy nachádzajúce sa za vzletovou a pristávacou dráhou O6 svojou výškou presahujú limitované hodnoty stanovené pre prekážkové roviny Letiska Žilina, konkrétne v oblasti roviny nevydareného pristátia. Pri identifikácii polohového a výškového umiestnenia týchto vetrolamov bolo zistené, že pri štyroch vegetačných prekážkach dochádza k prieniku do prekážkovej roviny, čím vzniká potenciálne riziko pre bezpečnosť leteckej prevádzky v prípade vzletu z dráhy O6 alebo nevydareného pristátia lietadla na dráhu O6.

3.2. Presnosť meraní

Chyby merania sa s každým krokom pri overovaní a zakresľovaní do požadovanej formy kumulujú. Tieto chyby sú nazývané aj kumulatívne. Pri každom meraní je vytváraná smerodajná odchýlka σ_n , ktorá sa sčíta a následne vznikne celková chyba $\sigma_{celk.}$

$$\sigma_{celk.} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2}$$

Meranie pomocou Tachymetrie vytvára minimálne chyby hlavne vďaka presnému meraniu a málo krokovému postupu pre vyjadrenie dát.

$$\sigma_{celk.} = \sqrt{\sigma_{GNSS}^2 + \sigma_{Tot.stanica}^2}$$

σ_{GNSS} - chyba určenia súradníc pri výšky a polohy pri GNSS je 3 mm

$\sigma_{Tot.stanica}$ – chyba totálnej stanice pri meraní vzdialenosti a uhla je pri 1 km do 1 mm.

Kumulovaná chyba vzniknutá pri tachometri je 3,2 mm. Ako bolo spomenuté vyššie pri vykonávaní geodetického merania bol kritickým faktorom vietor a počasie, ktoré vytváralo pri zameriavaní stromov pohyblivú prekážku. Kvôli tomu je možné konštatovať, že odchýlka od merania môže byť o niečo vyššia pri vegetačných prekážkach než pri budovách so stabilným základom.

Pri meraniach pomocou LiDAR bolo úkonov, ktoré postupne vytvárali kumulatívnu chybu.

$$\sigma_{celk.} = \sqrt{\sigma_{GNSS}^2 + \sigma_{Poloha}^2 + \sigma_{Sken.}^2 + \sigma_{Vlíc.}^2}$$

σ_{GNSS} – Zameranie vlíčovacích bodov pomocou GNSS zariadenia 3 mm

σ_{Poloha} . – Limitné hodnoty presnej polohy a výšky v rámci zariadenia DJI Zenmuse L1. Výšková presnosť 5 cm, polohová presnosť 10 cm

$\sigma_{Sken.}$ – Skenovanie vegetácie do 10 cm od reálnej hodnoty. Hodnota sa dá znížiť zvýšením počtu skenovaných bodov na m² – vytvorenie hustejšej rastrovej siete

$\sigma_{Vlíc.}$ – Chyba pri upravovaní polohy bodu v modeli do 10 cm. Táto chyba sa dá minimalizovať zmenením postupu snímkovania a to umiestnením D-RTK na vlíčovací bod, kedy následne nie je problém určiť presné súradnice od meraného bodu do 1 cm vertikálne, do 2 cm horizontálne.

σ_{geoid} . – priemerné zakrivenie geoidu na Letisku Žilina je do 5 cm na 1 km [30]

Výsledná chyby nášho merania je do 15 cm vo vertikálnom smere a do 20 cm v horizontálnom.

3.3. Zhrnutie

Podľa ICAO PANS – AIM by sme splnili požiadavky pre skenovanie priestoru 2 (priestor prekážkových rovín) a tými sú vertikálna presnosť do 3 metrov s rozlíšením na jedno desatinné číslo a horizontálnou presnosť do 5 metrov.

Požiadavky pre priestor 3 by sme nespĺnili hlavne z dôvodu požadovaného rozlíšenia na 1 centimeter. Také rozlíšenie by nebolo dosiahnuteľné s našim typom zariadenia DJI Zenmuse L1 a pri výkonnejších zariadeniach by časová náročnosť snímkovania a dátová náročnosť spracovania bodov boli neefektívne.

Z toho dôvodu odporúčame prekážky v priestore 3 zaznamenávať pomocou tachymetrie, kedy časová náročnosť pre merania niekoľko desiatok dát v teréne je do 2 hodín. Spracovanie údajov taktiež nezahŕňa rozsiahle programy a zariadenia pre výpočet výšky prekážok a ich zásahu do prekážkových rovín. Tachymetria zabezpečuje vysokú presnosť

a spoľahlivosť pri vytyčovaní jednotlivých fixných bodov, ktoré sa s časom nemenia.

Pokiaľ ide o prekážky vyskytujúce sa v priestoroch 2 a 4, je možné použiť letecké laserové skenovanie s požadovanou hustotou bodov. Prekážky akými sú napríklad aj vegetácia sa môžu s časom meniť a zasahovať do prekážkových rovín letiska. To predurčuje výhody technológie LiDAR, kedy vieme priebežne skenovať územie a porovnávať ho so staršími dátami. Následkom toho je možné vypracovať opatrenia pre odstránenie prekážok predtým ako by mohli zasahovať do prekážkových rovín.

3.4. Odporúčania

V prípade vegetačných prekážok zasahujúcich do prekážkových rovín letiska Žilina odporúčame uskutočniť len čiastočný výrez, ktorý by odstránil časti prekážok zasahujúcich do prekážkových rovín. Taktiež nové stromoradie, ktoré vyrástlo pred dráhou 06 je potrebné obmedziť v jeho ďalšom vertikálnom raste a tým zabrániť zasiahnutiu do prekážkových rovín Letiska Žilina.

Vegetačné prekážky v podobe vetrolamov zohrávajú významnú úlohu pre pilotov v rámci priblíženia a vzletu z dráh 06 a 24. Vietor predovšetkým počas letných mesiacov vytvára silné nárazové prúdenie, ktoré ovplyvňuje prevádzku na letisku a hlavne neskúsených študentov, ktorý toto letisko využívajú pre letecký výcvik, nadobudnutie skúseností a získanie licencie komerčného pilota. Preto neodporúčame úplné odstránenie prekážok, len uskutočnenie

4. Záver

Diplomová práca poskytuje komplexný prehľad o identifikácii prekážok v okolí Letiska Žilina. Teoretická časť podrobne rozpracováva problematiku v rámci legislatívneho rámca stanovenia a zadefinovania prekážkových rovín na medzinárodnej úrovni. Ďalej pojednáva o problematike jednotlivých priestorov v okolí letiska, ktoré si vyžadujú samostatný prístup pri zbere dát pomocou leteckého laserového skenovania a ich následné spracovanie.

V praktickej časti bol realizovaný zber dát v okolí Letiska Žilina za pomoci bezpilotného prostriedku so zariadením LiDAR. Doplňujúce geodetické merania mali zabezpečiť správne vloženie modelu do programového rozhrania a porovnať klasické metódy merania s novodobým vytváraním mračien bodom a ich následnou interpoláciou, do digitálnych modelov.

Výsledky praktickej časti ukázali, že pomocou leteckého laserového skenovania je možné efektívne určiť prekážky zasahujúce do prekážkových rovín Letiska Žilina, následne ich identifikovať a stanoviť ich kritickú výšku, v ktorej by bolo nutné ich udržiavať, aby neohrozovali bezpečnosť leteckej prevádzky.

Presnosť skenovania okolia letiska spĺňa štandardy stanovené medzinárodnou organizáciou pre civilné letectvo v priestoroch 1, 2 a 4 pričom bola dosiahnutá vertikálna presnosť metódy do 15 centimetrov a horizontálna do 20 centimetrov.

Pre budúcnosť prevádzky na Letisku Žilina by bolo vhodné rozšíriť oblasť skenovania na širšie územie, do ktorých zasahujú prekážkové roviny letiska a v pravidelných intervaloch zaznamenávať zmeny rastu vegetácie. To by následne prinášalo

komplexné informácie o raste a formácií vegetácie v okolí letiska a mohol sa následne vypracovať plán pre postupnú úpravu a výrub vegetácie v pred-vegetačnom období, kedy bol predpoklad pre zasahovanie do kritických častí letiska a jeho prekážkových plôch.

Pod'akovanie

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

Referencie

- [1] MEDZINÁRODNÁ ORGANIZÁCIA PRE CIVILNÉ LETECTVO (ICAO). Procedures for Air Navigation Services – Aircraft Operations. Volume II: Construction of Visual and Instrument Flight Procedures [online]. 6. vydanie. Montréal: ICAO, 2014. ISBN 978-92-9249-637-1. Dostupné na: <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/5801.pdf> [cit. 28. 4. 2025].
- [2] MINISTERSTVO DOPRAVY, POŠT A TELEKOMUNIKÁCIÍ SLOVENSKEJ REPUBLIKY. L 14 Letiská. I. zväzok: Navrhovanie a prevádzka letísk. Bratislava: Letové prevádzkové služby Slovenskej republiky, štátny podnik, 2006. ISBN 80-969299-9-2.
- [3] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. Airport Services Manual. Part 6: Control of Obstacles. 2nd edition. Montréal: ICAO, 1983
- [4] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. Doc 8168 – Procedures for Air Navigation Services: Aircraft Operations. Volume I – Flight Procedures. Sixth Edition, 2018. Montréal: ICAO, 2018. Dostupné na: <https://ffac.ch/wp-content/uploads/2020/11/ICAO-Doc-8168-Volume-I-Flight-Procedures.pdf>
- [5] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. Annex 4 to the Convention on International Civil Aviation: Aeronautical Charts. Eleventh Edition, July 2009. Montréal: International Civil Aviation Organization, 2009. Dostupné na: <https://ffac.ch/wp-content/uploads/2020/09/ICAO-Annex-4-Aeronautical-Charts.pdf>
- [6] SÝKORA, František. Ochranné pásma letiska Žilina. Aktualizácia a revízia priestorových polôh potenciálnych prekážok ochranných pásiem Letiska Žilina – Dolný Hričov. Geodetická dokumentácia. Žilina: SYKO, s.r.o., 2022.
- [7] LEICA GEOSYSTEMS AG. Leica Viva TS15, Heerbrugg, Switzerland: Leica Geosystems AG, 2010. Dostupné na: <https://www.geotech.sk/downloads/Totalnistanice/TS11-15/VivaTS15-prospekt-SK.pdf>