



THE POSSIBILITY OF ICING DURING LIGHT PRECIPITATION AS A DANGEROUS PHENOMENOM FOR FLYING AT SLOVAK AIRPORTS

Matej Ševčík
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Kristína Šajbanová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

In this article, we will focus on icing as a dangerous phenomenon for civil aviation. In the theoretical part, we will take a closer look at the conditions under which icing forms, where it forms on the plane and what types of icing we know. Furthermore, the article includes how we can prevent the formation of icing and how we can protect ourselves from it. In the practical part, we will analyze data using METAR reports from airports in Slovakia for the last 5 years. We will determine the conditions under which icing could form and then compare them together. The result of the work should be an analysis that determines how many times icing occurred at the airports of Slovakia, in what time of year icing forms the most.

Keywords

icing in aviation, condition for icing, icing at airports in Slovakia, removing icing.

1. ÚVOD

Námraza je jedným z najnebezpečnejších meteorologických javov a podieľa sa na veľa nehodách, aj cez moderné prostriedky boja s ňou. Je preto potrebné vedieť kde sa námraza vyskytuje a ako ovplyvňuje bezpečnosť letu. Pojem námraza začal byť v letectve vnímaný až v druhej polovici 20. storočia, kedy sa začala letecká doprava rozvíjať do takej miery, že začal nárast letov aj pri relatívne nepriaznivých meteorologických podmienkach. Toto viedlo k zavedeniu predpisov na prevenciu námrazy a vývinu prvotných systémov na boj proti námraze. Postupom času sa technológie na detekciu a prevenciu námrazy stále zdokonaľovali a dnes sú neoddeliteľnou súčasťou letectva. Tento článok sa bude venovať danej problematike a následnej analýzy námrazových javov na letiskách Slovenskej republiky.

2. TEORETICKÉ PODKLADY ČLÁNKU

V tejto sekcii sa si priblížime čo je to námraza ako vzniká, aké typy poznáme a čo ovplyvňuje vznik námrazových javov. Taktiež sa dozvieme akým spôsobom sa informuje letová posádka o možnosti vzniku námrazy a čo tieto informácie (správy) obsahujú.

2.1. Počasie pre letectvo

Potreba znalosti meteorológie pre letectvo je jeden z najdôležitejších predmetov, ktorý potrebuje pilot vedieť. Lietadlá sa pohybujú v atmosfére a prijímajú všetky jej prejavy ako sú turbulencie, námraza, búrky, vietor alebo zrážky. Zďaleka najviac sa počasie prejaví vo chvíľach, keď sa lietadlo pohybuje blízko zeme, napr. pri vzlete alebo pristáti, kedy je potencionálne riziko stretu s terénom pri veľkých rýchlostiach veľmi veľké. Rozhodovanie posádky o ďalšom postupe je do značnej miery závislé na počasí a jeho vývoji napr. pri vyčkávaní v priestore v blízkosti letiska, až kým skončí búrka a bude sa dať bezpečne pristáť, alebo až keď príde k zlepšeniu dohľadnosti na potrebné limity. Pretože počasie môže mať výrazný vplyv na

bezpečnosť a efektivitu letectva, piloti a dispečeri musia byť oboznámení s aktuálnymi podmienkami počasia a musia byť schopní prispôsobiť sa a plánovať lety na základe týchto informácií. Preto sú dôležité meteorologické správy, ktoré poskytujú informácie o aktuálnych podmienkach počasia a predpovede na nasledujúce hodiny a dni. [1]

2.1.1. Správa METAR

Je to letecká meteorologická správa o stave počasia na letisku, vydávaná v pravidelných časových intervaloch každú hodinu resp. polhodinu. Ak je správa vydaná mimo pravidelný interval z dôvodu význačnej zmeny niektorého z javov ide o správu SPECI. V závere je správa doplnená prístávacou predpoveďou TREND. [2]

2.1.2. Správa TAF

Letisková predpoveď v medzinárodnom meteorologickom kóde, vydávaná v pravidelných šesťhodinových intervaloch s platnosťou 30 alebo 24 hodín. Rozdeľujeme ich na tzv. krátky TAF, ktorý sa vydáva každé 3 hodiny s platnosťou na 9 hodín dopredu, a tzv. dlhý TAF, ktorý sa vydáva každých 6 hodín s platnosťou na 18(24) hodín dopredu. [2]

2.1.3. Správa SIGMET

SIGMET (Significant Meteorological Information) je štandardizovaná forma správy, ktorá obsahuje informácie o výskytu významného nebezpečného počasia, ako sú búrky, silný vietor, turbulencie, námraza a podobne. SIGMET sa vydáva v šifrovanej forme a zahŕňa informácie o polohe a rozsahu výskytu nebezpečného počasia, jeho intenzite a trvaní. Formát SIGMET správy sa riadi štandardmi Medzinárodnej organizácie pre civilné letectvo (ICAO). Správa začína hlavičkou, ktorá obsahuje identifikátor SIGMET (napr. WS CZ SIGMET 01), dátum a čas vydania, oblasť výskytu nebezpečného počasia a výškový rozsah, na ktorý sa SIGMET vzťahuje. Nasledujú podrobnejšie

informácie o nebezpečnom počasi, ktoré obsahujú napríklad charakteristiku a rozsah oblakov, rýchlosť a smer vetra, intenzitu turbulencií, námrazy a podobne. SIGMET správy sa pravidelne vydávajú podľa potreby v závislosti na vývoji počasia. Vydávajú ich národné meteorologické služby a sú dostupné pilotom a letovým dispečerom prostredníctvom rôznych kanálov, vrátane rádia komunikácie a internetu. [3]

2.2. Vznik námrazy

Námraza na lietadle vzniká, keď studený a vlhký vzduch zráža s teplým povrchom lietadla, ktorý je ochladený na teplotu pod bodom mrazu. Keď teplý vzduch s vodnou parou z okolitého prostredia narazí na povrch lietadla, dochádza k rýchlemu ochladeniu vzduchu a jeho vodná para sa mení na kvapky vody, ktoré sa potom môžu zmraziť. Tento proces sa nazýva kondenzácia a fáza prechodu vodnej pary na kvapku alebo na ľad sa nazýva nukleácia. Najčastejšie námraza vzniká v oblačnosti pri teplotách 0°C až -12°C, keď sa v oblakoch vyskytujú kvapky prechladenej vody. Kvapky malých priemerov zamrzajú oproti veľkým vodným objemom až pri teplotách pod -12°C niekedy sú však schopné udržať sa v kvapalnom stave až do teploty -42°C. Pri dotyku kvapky s povrchom lietadla zmrzne malá kvapka okamžite zatiaľ čo veľké kvapka sa najprv rozleje a potom takto vzniknutá vrstva zamrzne. Rýchlosť rastu námrazy závisí na vodnatosti oblaku, v oblakoch s veľkými kvapkami (Ns, As, Cb, Cu) je námraza veľmi intenzívna naopak v oblakoch s malými kvapkami (Sc, St) rastie námraza pomalšie. Čím je nižšia a teplejšia základňa oblačnosti, tým spravidla býva väčšia vodnatosť oblaku a tým je väčšia intenzita námrazy. Existujú rôzne faktory, ktoré ovplyvňujú tvorbu námrazy na lietadle. Patrí medzi ne teplota, vlhkosť vzduchu, rýchlosť a smer vetra, veľkosť a tvar povrchu lietadla, ako aj doba vystavenia lietadla vlhkému a studenému prostrediu. [1]

2.3. Námraza na zemi

Najčastejšie sa námraza na zemi vyskytuje ako výsledok zamrzajúcich zrážok ako je napríklad mrznúci dážď, mrznúce mrholenie alebo sneh. Napriek tomu sa námraza na zemi objavuje aj pri absencii viditeľných zrážok. Vlhkosť vo vzduchu či už v kvapalnej forme alebo plynnej forme sa dokáže premeniť na ľad alebo inovať pri kontakte s akýmkoľvek podchladeným povrchom lietadla. Nabaľovaním takejto námrazy by mohlo znížiť výkonnosť rozrušením prúdu vzduchu na kritických miestach, čím aj znižovať vztlak, zvyšovať odpor a zvyšovať rýchlosť pádu lietadla. Žiadne lietadlo nie je certifikované alebo schválené aby odletelo z letiska za prítomnosti námrazy na kritických plochách.

Základné poznatky pre jav námrazy na zemi môžu byť veľmi zložité. Nasledujúci opis faktorov ktoré sa nachádzajú v atmosfére by nám mal pomôcť sa s touto problematikou ďalej zblížiť:

Tlak vodnej pary v atmosfére: Vzduch je zmes dusíka, kyslíka, vodnej pary a iných plynov. Tlak vodnej pary je miera množstva vodnej pary vo vzduchu („vlhkosť vzduchu“). Zvyčajne býva menej ako 1% celkového tlaku vzduchu.

Saturácia: Existuje teoretický limit množstva vodnej pary vo vzduchu pri akejkoľvek danej teplote. Pri tejto hranici je vodná para nasýtená (saturovaná). Hranice saturácie sa líšia podľa

toho, či sa uvažuje o prechode do tekutej vody alebo do pevného skupenstva (ľadu).

Kondenzácia: Keď je vzduch dostatočne nasýtený vodnou parou, vyskytne sa kondenzácia. Kondenzácia je premena plynnej vodnej pary na tekutú formu vodných kvapiek alebo na pevnú formu v podobe ľadových kryštálikov. Kondenzácia z vodnej pary priamo na ľad sa nazýva de-sublimácia a premena ľadu na vodnú paru sa nazýva sublimácia.

Nukleácia: Ku kondenzácii bežne dochádza na povrchoch predmetov alebo okolo mikroskopických prachových častíc vo vzduchu. Tieto neplynné povrchy, nazývané nukleačné miesta, poskytujú molekulám vody potrebnú molekulárnu štruktúru na organizáciu do kvapiek kvapaliny alebo ľadových kryštálov.

Rosný bod: Hranica nasýtenia je nižšia pri nižších teplotách. Ak sa vzduch obsahujúci nedostatočne nasýtenú vodnú paru ochladzuje pri konštantnom tlaku a dostatočnom množstve, vodná para sa nasýti a dôjde ku kondenzácii, buď ako mrholenie alebo ako rosa na povrchoch. Teplota, pri ktorej dochádza k nasýteniu, je rosný bod. Pri vysokej relatívnej vlhkosti sa vodná para blíži k hranici nasýtenia, preto je teplota vzduchu blízka rosnému bodu.

Latentné teplo: Kondenzáciou alebo zamrzaním kvapôčok vody sa uvoľňuje tepelná energia do okolitého vzduchu, známa ako latentné teplo. Táto energia môže ovplyvniť rýchlosť zamrznania. Hoci môže spomaliť počiatočné usadzovanie námrazy ale nemôže tomu zabrániť.

Bod mrazu: Podobne ako pri rosnom bode, ochladzovaný vzduch s nedostatočne nasýtenou vodnou parou môže dosiahnuť limit nasýtenia vzhľadom na tvorbu ľadu. Ak sú podmienky vhodné na nukleáciu, vodná para bude kondenzovať na ľadové kryštáliky. Pri tejto teplote sa bude nachádzať bod mrazu, ktorý je vždy približne o 10% vyššia ako teplota rosného bodu. Napríklad ak máme vzduchovú hmotu s rosným bodom -10 °C tak bod mrazu má teplotu -8,9 °C.

Super podchladené kvapky vody: Super-chladienie je proces znižovania teploty kvapaliny alebo plynu pod bod mrazu bez toho, aby sa stal pevným (nezamrzne). Keď hovoríme o podchladenej kvapke vody, môžeme ju definovať ako akúkoľvek kvapku vody, ktorá má teplotu pod 0°C (pod bodom mrazu pre vodu). Normálne by voda pri dosiahnutí 0°C prešla do pevného skupenstva. Kvapky vody obsiahnuté v oblakoch sa však veľmi často nemenia na ľadové kryštály ani pri teplotách výrazne pod 0°C hovoríme o nich, že sú podchladené (ich skutočná teplota je výrazne pod 0°C až do -40°C) a sú stále v tekutom stave. Je to preto, že molekuly vody v čistej a nekontaminovanej „kvapke vody“ sú orientované tak, že pôsobia proti štruktúre potrebnej na vytvorenie ľadového kryštálu. Ak sa však objavia vo vzduchu častice prachu alebo akákoľvek iná vonkajšia sila (napr. lietadlo letiace cez oblak), ovplyvní to kvapku vody a tá môže zamrznúť takmer okamžite. Tieto super podchladené kvapky rozdeľujeme na veľké, ktoré nezamrzajú okamžite pri kontakte s povrchom lietadla a na malé, ktoré zamrznú okamžite. [5] [6]

2.4. Typy námrazy

Existujú rôzne druhy námrazy, ktoré ovplyvňujú bezpečnosť letu ale medzi hlavné námrazy v meteorologickej praxi patria tieto 4:

1. Inovať - je spravidla forma ľahkej námrazy, ktorá sa vytvára na lietadlách stojacích vonku pokiaľ je vysoká vlhkosť vzduchu a teplota pod bodom mrazu ku ktorej dochádza vplyvom radiačného ochladzovania. Má tvar malých ľadových kryštálikov. Môže sa tvoriť aj na lietadlách letiacich v oblačnosti typu Ci, Cc, Cs, a to tak že ľadové častice, z ktorých sú tieto oblaky tvorené, narážajú na povrch lietadla a energiou tohto nárazu sa na okamih zohrejú nad teplotu 0 °C a vzápätí primrznú k povrchu. Tento druh námrazy je však pre letectvo neškodný a nie je potreba ho odmrazovať. Uč pilota str.121
2. Zrnitá námraza – má drsný povrch, charakteristická je svojím mliečnym a nepriehľadným vzhľadom. Vytvára sa okamžitým zmrznutím malých kvapiek vody na povrchu lietadla. Mrznúce kvapky majú guľovitý tvar a pri ich zamŕzaní zostáva medzi nimi vzduch ktorý spôsobuje biele až mliečne zafarbenie ľadu. Zrnitá námraza sa často vyskytuje v oblačnosti pri teplotách 0°C až -40°C, najčastejšie však pri teplotách -10°C až -20°C a v oblačnosti teplých front v zimnej časti roku.
3. Ľadovka – má hladký a priesvitný tvar a tvorí sa namrznutím veľkých kvapiek na povrchu lietadla. Tým, že sa veľké kvapky pred zmrznutím najprv rozlejú po povrchu lietadla, tvoria kompaktnú vrstvu ľadu. S ľadovkou sa najčastejšie stretávame pri teplotách 0°C až -10°C.
4. Kombinovaná (zmiešaná) námraza – je kombináciou zrnitej námrazy a ľadovky. Vytvára sa pri relatívne teplejších teplotách (-5°C až -15°C) a má charakteristiky oboch typov námrazy.

2.5. Vplyv atmosferických front na vznik námrazy

Vo vzťahu k výskytu námrazy možno konštatovať, že asi 85% prípadov výskytu námrazových javov sa viaže na tieto objekty ovzdušia.

Teplé fronty sa vo všeobecnosti vyznačujú menej intenzívnou námrazou, avšak zóny výskytu námrazy, hlavne pokiaľ ide o horizontálny rozsah bývajú väčšie. Na teplom fronte, ako aj na oklúzii typu teplého frontu, sa námraza vyskytuje nad aj pod frontálnou plochou. Najnebezpečnejší druh námrazy ľadovka, sa viaže hlavne na priestor pod frontálnou plochou v miestach, kde už vodný obsah oblaku neznižuje vypadávajúcimi zrážkami. Oblasť výskytu ľadovky býva od 150 km do 350 km pred teplým frontom. Inak tento druh námrazy nie je typickým javom pre teplý front, ktorý sa vyznačuje malými výstupnými pohybmi a tým aj malými rozmermi elementov oblaku.

Studené fronty majú zasa zóny námrazy menšie, ale námraza býva podstatne intenzívnejšia ako v prípade frontov teplých. V priestoroch studenej fronty a jej oklúzie sa v oblačnosti najčastejšie vyskytuje ľadovka. Tento druh námrazy má najväčšiu častot hlavne na čele studeného frontu a ešte aj do vzdialenosti niekoľkých desiatok kilometrov za frontom.

2.6. Vplyv horského terénu

Oblaky tvorené orografickým zdvíhaním (núteným stúpaním vzduchu pozdĺž horskej prekážky) zvyčajne obsahujú väčší pomer podchladených kvapiek vody ako ľadových kryštálov pri

akejkoľvek danej teplote ako oblaky tvorené iným procesom nad plochým terénom. Je to spôsobené tým, že keď je vzduch nútený stúpať pozdĺž hory do vyšších úrovní, kondenzuje a tvoria sa kvapky vody. Vieme, že keď sa snažíme kvapôčky vody ochladiť, zvyčajne nezamrznú pri teplote 0°C, ale stanú sa podchladenými. Ak je rýchlosť znižovania teploty relatívne vysoká, kvapka vody môže dosiahnuť oveľa nižšie teploty, pričom si zachováva svoj tekutý stav.

2.7. Námraza ako nebezpečný jav pre lietanie

V tejto časti si vysvetlíme prečo je námraza taká nebezpečná a kde všade sa vyskytuje na lietadle. V prvom rade je treba zdôrazniť, že námraza sa výrazne podieľa na nehodovosti lietadiel pri nehodách spojených s počasím. Ovplyvňuje aerodynamické vlastnosti lietadla a tým aj zmenu účinkov letových vlastností a riaditeľností. Účinky spočívajú hlavne vo zväčšovaní profilov, hmotnosti lietadla a zmene tvaru obrysových profilov. Hlavnými následkami pôsobenia námrazy je zväčšenie čelného odporu a zmenšenie vztlaku, čo vedie k zmenšeniu rýchlosti stúpania lietadla, k zmenšeniu dostupu, rýchlosti letu a zvýšeniu rýchlostí pádu. Ďalej námraza a ľad ovplyvňuje výkony motorov, keďže má lietadlo väčšiu hmotnosť potrebuje aj väčšie výkony. Ľad dokonca vie aj poškodiť motor resp. jeho rotujúce časti alebo drak lietadla pri odlietavaní kusov ľadu pri odmrazovaní. Pôsobenie námrazy je špecifické aj podľa toho, na ktorých miestach, či častiach lietadla sa účinky prejavujú, ako aj v závislosti od ďalších okolností.

Výskyt námrazy na jednotlivých častiach lietadla

Námraza sa obvykle vytvára na všetkých vonkajších povrchoch lietadla, kde teplota povrchu klesne pod bod mrazu a vlhký vzduch je prítomný. Toto zahŕňa kryty motora, krídla a chvostové plochy. Ďalej námraza neovplyvňuje len nosné a riadiace plochy, ale usadzuje sa aj v meracích prístrojoch, napr. na snímači statického a dynamického tlaku. Nesmieme zabudnúť aj na antény, čelné sklá kokpitu, listy vrtule a karburátory. Bližšie sa teraz zameriame na najdôležitejšie z nich:

- Námraza na nábežnej hrane mení aerodynamické vlastnosti krídla v smere zníženia jeho účinnosti, čo znamená zmenšenia vztlaku lietadla. Veľkosť negatívnych efektov závisí aj na rýchlosti letu pretože ľad má tendenciu sa formovať viac na rýchlejšie letiacich lietadlách, avšak keď sa dostaneme k prúdovým letúnom toto už ďalej neplatí kvôli kinetickému ohrevu. Tvar nosnej plochy tiež ovplyvňuje formáciu ľadu špeciálne na tvaroch, ktoré sú užšie (ostré profily) sa námraza tvorí viac ako na hrubších profiloch krídla.
- Námraza na vodorovných chvostových plochách nadobúda veľký význam pri pristávaní, keď sa lietadlo nachádza v pristávacej konfigurácii s vysunutými klapkami vytvára klopný moment ktorý pôsobí v smere skonu okolo bočnej osi (ťažký na hlavu). Tento účinok sa kompenzuje tzv. závesným momentom, vznikajúcim nastavením výškového kormidla na záporný uhol nábehu. Ak sa však námraza vytvára na stabilizátore môžu nastať dva prípady: 1. Prevažna námraza na hornej časti vodorovných plôch má za následok oslabenie účinnosti závesného momentu v dôsledku zmeny aerodynamických podmienok obtekania. 2. Prevažna námraza na dolnej časti stabilizátora a výškového kormidla spôsobuje zvýšenie účinkov závesného momentu.

- Námraza na listoch vrtule mení profil listov vrtule, znižuje ich účinnosť a vedie tak ku zníženiu rýchlosti letu. V extrémnych prípadoch hrozí pokles rýchlosti pod minimálnu.
- Námraza Pitotovej trubice a snímača uhlu nábehu môže viesť ku katastrofálnym následkom. Ide totiž o upchatie/zamrznutie dôležitých vonkajších snímačov častí prístrojov, ktoré vedú k nesprávnej indikácii dynamického tlaku prenášaného na rýchlo mer a nesprávnu indikáciu uhlu nábehu pri stúpaní prenášaného na merač uhla nábehu.

2.8. Ochrana voči námraze

V nadväznosti na opis podmienok vzniku, druhov a intenzity námrazových javov, ako aj ich predpoveď sa teraz zameriame na ochranu lietadiel voči tomuto nebezpečnému javu.

2.9. Systémy odmrazovania

Podľa princípu práce sa využívajú systémy:

1. Vyhrievanie horúcim vzduchom – lietadlá s piestovým motorom získavajú horúci vzduch vo výmenníkoch tepla vo výfukovom potrubí. Vzduch býva ohrievaný na teplotu okolo 160 °C. U lietadiel s turbínovými motormi sa odoberá horúci vzduch z niektorého stupňa kompresora, ktorí sa rovnako využíva pre prácu výškovej kabíny. V tomto prípade sa vzduch ohrieva na teplotu približne 200 °C. Teplý vzduch je následne rozvádzaný dutinou po celej dĺžke vyhrievanej časti. Spravidla sa tento systém využíva na odmrazovanie nábežných hrán krídel, chvostových plôch a vstupných ústrojenstiev motora. Ak zapneme spínač odmrazovania otvorí sa regulátor tlaku a umožní sa prívod teplého vzduchu. Moderné lietadlá používajú k ovládaniu leteckých systémov niekoľko palubných počítačov. Systém odmrazovania krídel je riadený počítačom, ktorý ovláda ventily dodávky teplého vzduchu podľa zmeny teploty vzduchu odpusteného z kompresora a nadmorskej výšky. Ľavý a pravý ventil fungujú súčasne, aby sa rovnomerne ohrievali obe krídla. Pilot má na výber z troch možností selektora a to automatika, zapnúť, vypnúť.
2. Vyhrievanie elektickým prúdom – funguje pomocou odporového drôtu, ktorým prechádza elektrický prúd. V zariadeniach, ktoré používajú tepelnú elektrickú ochranu proti námraze, preteká prúd integrovaným vodivým odporovým prvkom, ktorý produkuje teplo. Odporový drôt, fólie alebo pásik je vložený medzi vrstvy poťahu, ktorý má chrániť danú konštrukčnú časť a mal by byť pre elektrický obvod izolátorom. Systém sa hlavne využíva pri nábežných hrán menších rozmerov napr. chvostové plochy a listy vrtúľ. Tento typ má ale veľkú nevýhodu a to v tom že má vysoký odber elektriny, preto sa využíva hlavne pre malé sondy vzduchových dát napr. Pitotová trubica, statické porty a snímače uhla nábehu. Pri veľkých dopravných lietadlách sa elektrický odmrazovací systém ďalej využíva k odmrazovaniu čelných skiel v kokpíte.
3. Mechanické odstraňovanie námrazy – je založený na mechanickom rozrušení vrstvy námrazy, ak už je námraza vytvorená. Rozpínaním pružného gumového pásu v nábežnej hrane sa láme vzniknutá vrstva ľadu a je prúdom vzduchu strhávaná z jej povrchu. Gumový pás často označovaný ako tzv. "gudrič" je tlakovaný pneumatikou

sústavou. Aby bol tento systém účinný musí pilot počkať až sa vytvorí tenká vrstva námrazy a následne až potom môže tento systém aktivovať. Aj tento systém má nevýhodu a to, že sa musí počkať kým sa pružný pás naspät' zmrští a následne až potom sa môže opätovne použiť.

4. Aplikácia chemických kvapalín – zakladá sa na predchádzaní vzniku námrazy rozstrekaním odmrazovacej kvapaliny na povrch, ktorý má byť chránený. Typický je pre použitie na odmrazovanie nábežných hrán vrtúľ, čelných skiel a neposlednom rade sa využíva na odmrazovanie nábežných hrán krídel a stabilizátorov. Nemrznúci roztok je čerpaný z nádrže a je rozstrekaný cez malé kanáliky do nábežných hrán krídel a stabilizátorov.

Tabuľka 1- Ochrana proti námraze na jednotlivých častiach lietadla

Výskyt námrazy na lietadle	Spôsob odmrazovania
Nábežné hrany krídel	Vyhrievanie horúcim vzduchom, vyhrievanie elektrickým prúdom, mechanické a chemické odmrazovanie
Nábežné hrany horizontálneho a vertikálneho stabilizátora	Vyhrievanie horúcim vzduchom, vyhrievanie elektrickým prúdom, mechanické odmrazovanie
Čelené sklá a okná	Vyhrievanie horúcim vzduchom, vyhrievanie elektrickým prúdom, chemické odmrazovanie
Vstupy vzduchu do motora	Vyhrievanie horúcim vzduchom a vyhrievanie elektrickým prúdom
Pitotové a statické snímače tlaku	Vyhrievanie elektrickým prúdom
Nábežné hrany listov vrtúľ	Vyhrievanie elektrickým prúdom a chemické odmrazovanie
Karburátor/y	Vyhrievanie horúcim vzduchom a chemické odmrazovanie
Záchodové odtoky a vodovodné potrubia	Vyhrievanie elektrickým prúdom

3. PRAKTICKÁ ČASŤ

Cieľom tohto článku bude pozorovanie námrazy pri slabých zrážkach na letiskách Slovenska. Analyzovať tieto dáta budeme pomocou správ METAR. Sústrediť sa budeme hlavne na námrazu pri slabých zrážkach. Najskôr si správy dekodujeme a určíme si vstupné podmienky podľa ktorých budeme vedieť ktoré dáta sú pre nás užitočné. Dáta sme dekovali ručne pozorovaním dát od dňa 1.1.2017 do 31.12.2021. Rozdelenie dát do jednotlivých ročných období nám umožní lepší prehľad o situácii na letiskách. Vstupné podmienky sme vyberali na základe poznatkov o tvorbe námrazy, to znamená že teplota na ktorú by sme mali prihliadať by nemala byť vyššia ako 5°C lebo vieme že námraza sa môže začať tvoriť aj pri kladných teplotách. Riziko však pri týchto teplotách je oveľa nižšie ako pri záporných. Poukázať musíme aj na zrážky, ktoré sa na letisku v daný čas vyskytovali s tým že budeme sledovať iba tie pri ktorých sa vyskytne znamienko („-“)

čo značí slabú intenzitu. Nesmieme tiež zabúdať na mrznúcu hmlu/ mrholenie. K najnebezpečnejším bude patriť FZRA (mrznúci dážď), PL (zmrznutý dážď), SG (snehové zrná) a FZFG a FZDZ (mrznúca hmla, mrznúce mrholenie).

3.1. Analýza správ METAR na letisku v Bratislave

Z nasledujúcej tabuľky vieme odčítať, že námraza pri slabých zrážkach sa na letisku v Bratislave, sa za dané obdobie vyskytla celkom 265 dní, najviac v roku 2021. Priemerne sa vyskytovala najmä v zimnom období a na jeseň.

Tabuľka 2 – Výskyt námrazy na letisku v Bratislave

LZIB	2017	2018	2019	2020	2021	Priemer
Zima	23	32	41	36	44	35,2
Jar	1	1	3	1	9	3
Jeseň	9	15	9	17	24	14,8
Celkový počet dní	33	48	53	54	77	53

Ak to porovnáme s ostatnými letiskami námraza na tomto letisku sa vyskytovala najmenej. Môže to byť spôsobené mnohými faktormi, ale hlavne geografickou polohou a vyššími priemernými teplotami.

3.2. Analýza správ METAR na letisku v Žiline

Námraza sa na Žilinskom letisku objavila za toto špecifické obdobie celkom 382 dní a v priemere to bolo 76 dní za rok.

Tabuľka 3- Výskyt námrazy na letisku v Žiline

LZZI	2017	2018	2019	2020	2021	Priemer
Zima	30	42	54	45	57	45,6
Jar	8	6	6	7	11	7,6
Jeseň	29	16	15	19	37	23,2
Celkový počet dní	67	64	75	71	105	76,4

Na tomto letisku sme pozorovali najviac námrazy spojenou s nízkou dohľadnosťou, ktorú zapríčiňuje relatívne veľká vodná plocha v blízkosti letiska.

3.3. Analýza správ METAR na letisku Poprad-Tatry

Na tomto letisku sa námraza vyskytovala najčastejšie a to celkom 439 dní z celkových 1826 dní pozorovania.

Tabuľka 4- Výskyt námrazy na letisku Poprad-Tatry

LZTT	2017	2018	2019	2020	2021	Priemer
Zima	37	55	58	43	56	49,8
Jar	11	7	20	8	19	13
Jeseň	34	23	16	26	26	25
Celkový počet	82	85	94	77	101	87,8

Spôsobené to môže byť hlavne polohou letiska keďže sa nachádza v blízkosti nášho najväčšieho pohoria. Je preto najrizikovejším letiskom na území Slovenska, čo sa týka nepriaznivých meteorologických javov.

4. ZÁVER

Pomocou pozorovania správ METAR sme sa dozvedeli ako často sa námraza vyskytuje na letiskách Slovenskej Republiky, ako a

kde sa tvorí, ako účinne sa môžeme pred týmto nebezpečným javom chrániť a ako predpovedať možnosť vzniku. Zistili sme, že väčšinou tvorbu alebo možnú prítomnosť námrazy, spojenú so slabými zrážkami, ovplyvňovalo nejaké frontálne rozhranie. Najviac sa námraza vyskytovala na letisku v Poprade, kde námraza značne zapríčinila poloha medzi vysokými pohoriami. Na letisku v Žiline sa námraza vyskytovala o niečo menej. Ale fakt, že aj napriek tomu, že letisko nie je v blízkosti takých vysokých pohorí, výsledky v práci hovoria, že počet námrazových javov je tu pomerne vysoký. Keďže sa na tomto letisku nachádza výcvikové centrum pre pilotov zo Žilinskej univerzity, je v rámci bezpečnosti dôležité, aby sa lietadlá, ktoré na to nie sú prispôbené, vyhli takýmto poveternostným podmienkam, pri ktorých sa námraza tvoriť môže. Ako posledné sa v počte námrazových javov umiestnilo naše najväčšie letisko M. R. Štefánika. Poloha tohto letiska výrazne vplýva na tvorbu námrazy. Nachádza sa v oveľa teplejšej časti nášho územia, čo prispievalo k oveľa menšiemu výskytu námrazy pri slabých zrážkach ako na ostatných letiskách. Napriek tomu sme zistili, že ak sú vhodné poveternostné podmienky, a to hlavne v zime, keď je teplota dostatočne nízka, tak aj toto letisko sa dokáže v rámci početnosti priblížiť k ostatným. A preto je treba tento nežiaduci meteorologický jav včas detegovať a urobiť prevenciu proti jeho vzniku.

Referencie

- [1] KELLER, L. a kol. 2019. Učebnice pilota. 1. vyd. Cheb: Svět křidel, 2019. 404 s. ISBN 978-80-7573-049-7.
- [2] ZITKO, K.-VACÍK, M. 2014. Učebnice létání. 5.vyd. Praha: Vintage aviation, 2014. 130 s. ISBN 978-80-260-6640-8.
- [3] Letecká výstražná informácia SIGMET - SHMÚ. [online]. Copyright © 2023 Slovenský hydrometeorologický ústav [cit. 10.02.2023]. Dostupné z: https://www.shmu.sk/sk/?page=1&id=meteo_lms_sigmet
- [4] GAMET - SHMÚ. [online]. Copyright © 2023 Slovenský hydrometeorologický ústav [cit. 17.03.2023]. Dostupné z: <https://www.shmu.sk/sk/?page=485>
- [5] Transportation Safety Board of Canada, 2021. Air Transportation Safety Investigation Report A17C0146. 1.vyd. 2021. 242 s. ISBN 978-0-660-45195-4
- [6] EASA exam preparation & question bank for pilots | Aviationexam [online]. [cit. 01.03.2023] Dostupné z: <https://www.aviationexam.com/UI/Pages/Members/Test.aspx>
- [7] BEŇO, L. 2022. Letadla. 2.vyd. Praha: Česká technika-nakladatelství ČVUT, 2022. 436 s. ISBN 978-80-01-06959-2
- [8] NEDELKA, M. 1984. Prehľad leteckej meteorológie. 1. vyd. Bratislava: Alfa- vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1984. 222 s. ISBN 63-481-84-05.
- [9] LESTER, P. 2007. Aviation weather. 3.vyd. Kanada: Jeppesen, 2007. 327 s. ISBN 978-0-88487-446-1
- [10] Ground Icing: De-Icing Operations - Mechanical De-Icing. NASA Aircraft Icing Training [online]. Dostupné z: https://aircrafticing.grc.nasa.gov/2_4_3_1.html

- [11] ScienceDirect [online]. Copyright © [cit. 09.03.2023].
Dostupné:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0376042112000863>
- [12] How Does the Anti-icing System Work in Aircraft? - DTN.
DTN° | prosper in a dynamic world [online]. Copyright ©
2023 DTN, all rights reserved. [cit. 12.03.2023]. Dostupné
z: <https://www.dtn.com/how-does-the-anti-icing-system-work-in-aircraft/>
- [13] Škultéty, F. Katedra leteckej dopravy Žilinská univerzita,
Žilina. Lietadlá 2. 2022-27-10. Prednáška.
- [14] Čerňan, J. Katedra leteckej dopravy Žilinská univerzita,
Žilina. Lietadlové pohonné jednotky 2. 2022-21-11.
Prednáška.