

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
LETECKÁ FAKULTA

**Analýza možností tvorby automatizovaných
krátkodobých lokálnych predpovedí počasia pre malé
letiská
Projekt KEGA**

2021

Ing. Ladislav Choma, PhD.

Abstrakt

Cieľom tejto práce je priblížiť podstatu a popísať potrebu v monitoringu stavu počasia na malých letiskách určených pre všeobecné letectvo. určovania výšky spodnej základne oblačnosti, jej druhy a množstvo a zdôvodniť potrebu sledovania týchto informácií a ich význam pre letectvo. Získavanie relevantných meteorologických údajov z meraní automatických meteorologických staníc pomáha dopĺňať údaje z miest, bez pokrytia profesionálnou meteorologickou službou v správe Slovenského hydrometeorologického ústavu. V súčasnosti sú na trhu k dispozícii hotové produkty, automatické meteorologické stanice schopné generovať letecké meteorologické správy „METAR“. Takto získané informácie sú mimoriadne dôležité pre bezpečnosť a efektívnosť letov v podmienkach všeobecného letectva, ktoré operuje predovšetkým v malých výškach a výskyt limitných hodnôt meteorologických prvkov je pre tento segment letectva kritický. Zároveň tieto objektívne meteorologické dáta sa stávajú fundamentom pre skvalitňovanie tvorby predpovedí počasia vo forme správ „TREND“, prípadne „TAF“, pričom presnejší odhad budúceho stavu počasia má potenciál na skvalitnenie prípravy pred vykonaním samotného letu, prípadne počas letu môže posádka prijať včas rozhodnutie na prevenciu pred stretom s nebezpečnými poveternostnými javmi

Kľúčové slova

METAR, TREND, TAF, meteorologická stanica, stav počasia

Obsah

Zoznam obrázkov	5
Zoznam tabuliek	6
Zoznam symbolov a skratiek	7
Úvod	8
1. Sledovanie a postprocesing počasia	9
1.1. Analýza potrieb meteorologických informácií pre edukatívne lety študentov odbore Pilot. 9	
1.2. Vplyv teploty vzduchu na let lietadla	11
1.3. Vplyv vlhkosti vzduchu a rosného bodu na lietanie	13
1.4. Vplyv vetra na lietanie	14
2. Využitie systémov automatizovaného zberu informácií na ich praktické využitie a ich overovanie v praxi	15
2.1. Meranie meteorologických prvkov spadajúcich do základného informačného balíčka 16	
2.2. Zdieľanie nameraných údajov na diaľku	17
2.3. Praktická využiteľnosť automatických meracích systémov a ich overovanie v praxi ..20	
2.3.1. Využitie súčasnej profesionálnej leteckej meteorologickej siete v podmienkach všeobecného letectva	20
2.3.2. Meteorologické zabezpečenie malých letísk pomocou automatickej meteorologickej siete	23
3. Vytváranie a zdokonaľovanie softvéru pre vytváranie krátkodobých predpovedí a ich následné automatické overovanie a korekcia	27
3.1. Tvorba softvéru a možnosť automatizácie tvorby krátkodobých predpovedí počasia. 27	
3.1.1. Overovanie a korekcia krátkodobých predpovedí počasia pre malé letiská	29
4. Tvorba automatizovaných krátkodobých lokálnych predpovedí počasia pre malé letiská .	31
Záver	34
Zoznam použitej literatúry	35

Zoznam obrázkov

Obr. 1 Ukážka výstupu moderného senzorickeho výstupu systému IMS4 Remote Observer	16
Obr. 2 Príklad Správ METAR generovaného systémom AWOS [zdroj: ezMETAR Airport AWOS datasheet	18
Obr. 3 Vizualizácia nameraných údajov systémom AWOS na smartfóne	19
Obr. 4 Rozmiestnenie leteckých meteorologických staníc na území Slovenskej republiky	21
Obr. 5 Screenshot oficialnej stránky SHMÚ s o správami METAR pre praktické využitie	22
Obr. 6 Predpokladané rozmiestnenie meteorologických staníc na letiskách GA.....	24
Obr. 7 Systém AWOS v správe Národnej diaľničnej spoločnosti	28
Obr. 8 Vývojový diagram generovania a autokorekcie krátkodobej predpovede počasia TREND	32

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 Minimálne dohľadnosti a vzdialenosti od oblakov za podmienok VMC	9
Tabuľka 2 Limitné hodnoty meteorologických prvkov pre vzlet lietadla SD - 4 Viper	13
Tabuľka 3 Zoznam letísk všeobecného letectva na území Slovenskej republiky	25
Tabuľka 4 Prevádzkové požiadavky na presnosť predpovede	29

Zoznam symbolov a skratiek

AWOS	Automatic Weather Observation System	<i>Automatická meteorologická pozorovacia stanica</i>
GA	General Aviation	<i>Všeobecné letectvo</i>
IZS	Integrovaný záchranný systém	
METAR	Routine Meteorological Report	<i>Pravidelná správa o počasí</i>
MŠA	Medzinárodná štandardná atmosféra	
SHMÚ	Slovenský hydrometeorologický ústav	
TREND	Predpoveď na pristátie	
WMO	World Meteorological Organization	<i>Svetová meteorologická organizácia</i>

Úvod

Spôsob lietania z malých letísk sa odvíja od samotnej podstaty všeobecného letectva. Tento typ letectva je definovaný ako všetky operácie civilného letectva iné ako plánované letecké služby a iné ako pravidelná letecká preprava za odplatu alebo za prenájom. Pre ICAO štatisticky sú to všeobecné činnosti leteckej dopravy klasifikované ako inštruktážne lietanie, obchodné lietanie, pre potešenie z lietania, výcvik plotov, letecké práce, letecká záchrana v rámci integrovaného záchranného systému a ďalšie lietanie [1]. Pred samotným vykonaním letu sa musí posádka lietadla oboznámiť so stavom počasia na cieľovom letisku ako i po trase od letiska vzletu k letisku pristátia alebo medzipristátia. Posádka je povinná podľa predpisu L6 Hlava 4 – príprava letu a postupy za letu, bod 4.5 oboznámiť sa so všetkými dostupnými meteorologickými informáciami vhodnými na zamýšľaný let [2]. Tieto informácie sú dobre dostupné na veľkých komerčných letiskách, ktoré disponujú meteorologickou službou. Personál týchto meteorologických staníc je certifikovaný a vybavený meracími prístrojmi v súlade s medzinárodným predpisom ICAO ANNEX 3 [3] pričom slovenská mutácia tohto predpisu je označená ako L3 [4]. Naproti tomu na malých letiskách je lietajúci personál odkázaný na takú úroveň meteorologického zabezpečenia, do ktorej boli ochotní alebo schopní majitelia týchto letísk investovať. Certifikovaný personál na obsluhu meteorologických zariadení a podávania relevantných meteorologických informácií na malých letiskách nie je možné z rozpočtových dôvodov zamestnávať. Piloti všeobecného letectva sú tak odkázaní na improvizáciu a vlastný úsudok podľa nasledujúcich možností:

- meteorologické dáta z automatických staníc na malých letiskách (ak sú k dispozícii)
- približné určovanie stavu počasia na základe blízkych profesionálnych meteorologických staníc (ak sú v blízkosti)
- improvizácia, ako telefonické rozhovory s inými posádkami na letiskách, (ak sú prítomný na letisku) alebo zariadení rozličného typu

Z uvedených skutočností vyplýva potreba rozširovania meteorologického monitoringu letísk všeobecného letectva, pod ktoré spadá i lietanie za účelom edukácie študentov Leteckej fakulty Technickej univerzity v Košiciach v špecializáciách pilot a riadiaci letovej prevádzky.

1. Sledovanie a postprocesing počasia

Táto kapitola sa zameriava na analýzu súčasného spôsobu získavania meteorologických údajov. Identifikuje meteorologické prvky nevyhnutné pre potreby posádok GA z legislatívnych dôvodov stanovených ICAO a EASA a príčin vyplývajúcich zo samotnej fyzikálnej podstaty letu. Zameriava sa tiež na potrebu získavania relevantných meteorologických dát pre potreby prípravy posádok pred vzletom a získavania údajov o stave počasia pre účely riadiacich letovej prevádzky.

1.1. Analýza potrieb meteorologických informácií pre edukatívne lety študentov odbore Pilot.

Na plánovanie letu z hľadiska stavu počasia majú vplyv predpisy, ktoré majú zásadný vplyv na dodržiavanie a zvyšovanie úrovne bezpečnosti lietania a uskutočniteľnosti zamýšľanej letovej úlohy počas výcviku pilotov. Vzhľadom na skutočnosť, že sa jedná o výcvik pilotov zvyčajne bez predchádzajúcich praktických skúseností sa meteorologické podmienky vymedzujú za čo najpriaznivejšie, vzhľadom na charakter plnených úloh osnovy výcviku. Počasie by teda nemalo byť zásadným problémom riešenia pilotov začiatočníkov a ich výcvik sa preto musí vykonávať pri podmienkach za viditeľnosti zeme i prirodzeného horizontu, čomu podľa predpisu L6 zodpovedajú podmienky za viditeľnosti označované ako VMC (Visual Meteorological Conditions) uvedených v tabuľke č. 1.

Tabuľka 1 Minimálne dohľadnosti a vzdialenosti od oblakov za podmienok VMC
[zdroj: Vykonávacie nariadenie komisie (EÚ) č. 923/2012 zo dňa 26. septembra 2012]

Nadmorská výška	Trieda vzdušného priestoru	Letová	Vzdialenosť od oblakov
-----------------	----------------------------	--------	------------------------

		dohľadnosť	
3050 m (10 000 ft) AMSL a nad	A*** B C D E F G	8 km	1500 m horizontálne, 300 m (1000 ft) vertikálne
Pod 3050 m (10 000 ft) AMSL a nad 900 m (3000 ft) nad terénom, podľa toho čo je vyššie	A*** B C D E F G	5 km	1500 m horizontálne, 300 m (1000 ft) vertikálne
V 900 m (3000 ft) AMSL a nižšie alebo 300 m (1000 ft) nad terénom, podľa toho čo je vyššie	A*** B C D E	5 km	1500 m horizontálne, 300 m (1000 ft) vertikálne
	F G	5 km**	Mimo oblakov a za viditeľnosti zeme

(**) VMC minimá vo vzdušnom priestore triedy A sú uvedené na usmernenie pilotov a neznamená to, že lety VFR vo vzdušnom priestore triedy A sú povolené.

(***) V prípade, že to stanoví príslušný orgán: a) za letovej dohľadnosti najmenej 1 500 m sa lety môžu vykonať: 1. pri rýchlosti IAS 140 kt alebo menej, aby bolo možné spozorovať ostatnú prevádzku a akékoľvek prekážky v čase primeranom na vyhnutie sa zrážke, alebo 2. za okolností, pri ktorých pravdepodobnosť stretnutia s inou prevádzkou je obvykle malá, napríklad v oblastiach s malou hustotou prevádzky alebo pri leteckých prácach v malých výškach

Podľa predpisu L6 prevádzka lietadiel časť II – Všeobecné letectvo, Letúny hlavy 4 časť 4.6 Obmedzenia vyvolané poveternosnými podmienkami platí bod 4.6.1 Let podľa pravidiel letu za viditeľnosti:

„Let, ktorý sa má vykonať podľa pravidiel letu za viditeľnosti nesmie začať, pokiaľ posledné meteorologické správy alebo kombinácie posledných správ a predpovedí neukazujú, že meteorologické podmienky na trati alebo jej časti, na ktorej sa má let uskutočniť podľa pravidiel letu za viditeľnosti, umožnia v danom čase dodržať tieto pravidlá letu“.

Ako z tabuľky č. 1 vyplýva, základnými limitujúcimi faktormi na uskutočniteľnosť letu pre edukatívne účely sú hodnoty parametrov dohľadnosti a výšky spodnej základne oblačnosti, od ktorej musia byť dodržané vertikálne vzdialenosti. Výška spodnej základne oblačnosti a hodnoty dohľadnosti sa odvíjajú od teploty, vlhkosti a tlaku vzduchu [5]. Všeobecne možno tvrdiť, že čím vyššia je vlhkosť vzduchu, tým nižšie sa tvorí oblačnosť a dohľadnosť je spravidla horšia. Všetky tri spomínané veličiny, teda teplota, tlak a vlhkosť vzduchu sú vzájomne prepojená a zmena jednej má súčasne vplyv na zmeny ostatných. Sledovanie týchto parametrov počasia ako i iných

meteorologických prvkov má vplyv i na výkonové parametre lietadiel. Vplyv týchto meteorologických prvkov bude podrobnejšie rozobraný v nasledujúcich kapitolách, so zámerom objasnenia potreby ich sledovania a určovania trendu ich vývoja počas doby zamýšľanej letovej činnosti.

1.2. Vplyv teploty vzduchu na let lietadla

Vzletová rýchlosť sa mení v závislosti od hmotnosti lietadla, hustoty vzduchu a plochy krídel. Plochu krídel nemožno ovplyvniť, nejedná sa o stavovú veličinu ale konštrukčný prvok konkrétneho lietadla používaného na výcvik pilotov, v prípade študentov LF TUKE sa jedná o typ SD - 4 Viper. Hmotnosť lietadla závisí od hmotnosti členov posádky, ich batožiny a množstva paliva v nádržiach lietadla. Na výkonové parametre konkrétneho lietadla bude mať vplyv hustota vzduchu ktorej zmeny závisia primárne od teploty vzduchu a sekundárne od vlhkosti vzduchu. Teplota je všeobecne definovaná ako základná fyzikálna veličina, ktorá je mierou strednej kinetickej energie molekúl. V meteorológii sa jedná najmä o teplotu vzduchu a teplotu pôdy [6].

Dosiahnutie vzletovej rýchlosti je potrebné na vytvorenie dostatočnej veľkej vztlakovej sily ktorá sa vyrovná tiaži lietadla. Vtedy sa lietadlo odpúta od vzletovej a pristávacej dráhy a bude sa vznášať pomocou aerodynamickkej vztlakovej sily.

$$G_L = L$$

kde G_L je tiaž lietadla a L je aerodynamická vztlaková sila.

Tiaž lietadla je daná súčinom hmotnosťou lietadla m_L a gravitačným zrýchlením g teda:

$$G_L = m_L \cdot g$$

Sila je všeobecne daná súčinom tlaku a plochy na ktorú tlak pôsobí:

$$F = p \cdot s$$

Aerodynamická vztlaková sila je definovaná ako sila kolmá na vektor rýchlosti a ležiaca v rovine symetrie lietadla. Možno ju vypočítať ako súčin aerodynamického tlaku a plochy krídel, na ktorý tento tlak pôsobí teda:

$$L = C_L \cdot q \cdot S$$

kde: C_L je súčiniteľ vztlaku, je určený typom profilu krídla použitého na konkrétnom type lietadla, uhlom nábehu, machovým číslom, Reynoldsovým číslom a drsnosťou povrchu krídla

q je aerodynamický tlak

S je plocha krídel, vrátane tej časti krídla ktorá prechádza trupom

Aerodynamický tlak, teda dynamický tlak vzduchu sa vypočíta:

$$q = \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

kde: v je rýchlosť lietadla

ρ je hustota vzduchu

Po dosadení spôsobu výpočtu dynamického tlaku vzduchu do vzorca pre aerodynamickú silu je možné vyjadriť vzťah pre výpočet aerodynamickej vztlakovej sily nasledovne:

$$L = C_L x \frac{\rho \cdot v^2}{2} x S$$

Z uvedeného vzťahu teda vyplýva, že premenlivou stavovou veličinou je hustota vzduchu. Na vytvorenie rovnakej aerodynamickej vztlakovej sily pri menšej hustote vzduchu je potrebná vyššia rýchlosť lietadla.

Vzťah hustoty a teploty vzduchu vyjadruje vzťah pri jednotkovom objeme:

$$p = \rho \cdot R \cdot T$$

kde p je tlak, ρ je hustota, R univerzálna plynová konštanta a T je teplota vzduchu.

Po úprave platí vzťah:

$$\rho = \frac{p}{R \cdot T}$$

čiže hustota je priamo úmerná tlaku a nepriamo úmerná teplote vzduchu. So zvyšujúcou sa teplotou vzduchu klesá hustota vzduchu. Keďže už bolo zmienené, že pri nižšej hustote vzduchu klesá aerodynamický tlak, analogicky, na dosiahnutie vztlakovej sily potrebnej na vzlet lietadla je pri vyšších teplotách vzduchu potrebná vyššia rýchlosť.

Pri vyšších teplotách môže nastať prípad, kedy hustota vzduchu poklesne natoľko, že technické a výkonové parametre lietadla nepostačujú na vykonanie vzletu, prípadne je nutné upraviť hmotnosť lietadla.

Sledovanie teploty vzduchu má význam i pri hraničných hodnotách stanovených výrobcom uvedenými v tabuľke č.2.

Tabuľka 2 Limitné hodnoty meteorologických prvkov pre vzlet lietadla SD - 4 Viper
[zdroj: http://www.aeroklubfuturefly.sk/wp-content/uploads/2017/02/viper_prirucka1.pdf]

Obmedzenie pre vzlet lietadla: SD – 4 Viper Model SD – 4 ULS Viper
Maximálna vonkajšia teplota vzduchu:.....+40 °C (104 °F)
Minimálna vonkajšia teplota vzduchu:.....-25 °C (-13 °F)
Maximálna rýchlosť vetra proti smeru vzletu:.....8 m/s (15,5 knots)
Maximálna kolmá bočná zložka vetra:.....4 m/s (7,7 knots)
Maximálna rýchlosť vetra v smere vzletu:.....1 m/s (1,9 knots)

Obmedzenia udávané výrobcom sú záväzné a vychádzajú z materiálov použitých pri konštrukcii lietadla, konštrukčnými vlastnosťami pohonnej jednotky atď. Na základe týchto podkladov je lietadlo certifikované úradom EASA [7].

1.3. Vplyv vlhkosti vzduchu a rosného bodu na lietanie

V tabuľke meteorologických obmedzení tento parameter nefiguruje, no je nutné o ňom uvažovať najmä pri hraničných hodnotách teploty vzduchu. Vlhkosť vzduchu má podobne ako teplota vplyv na hustotu vzduchu. Vlhký vzduch je ľahší v porovnaní so suchým vzduchom pri tej istej teplote. Teplota vzduchu má na hustotu vzduchu rozhodujúci vplyv, no pri istých hraničných podmienkach vzájomne skombinovaných môže zanedbanie parametra vlhkosti vzduchu viesť k nepochopeným obmedzeniam alebo problémom pri vzlete. Kombinácia vyššej teploty a maximálnej vzletovej hmotnosti môže pri zanedbaní hodnoty vlhkosti vzduchu viesť k vážnym komplikáciám ako napríklad je nepredvídané predĺženie rozjazdu pri vzlete. Záleží od množstva vodných pár obsiahnutých v danom objeme vzduchu, pričom ich množstvo vodných pár môže tvoriť maximálne 4 % objemu daného vzduchu [5].

S vlhkosťou vzduchu súvisí parameter zvaný rosný bod alebo teplota rosného bodu. Je to teplota, pri ktorej sa vlhký vzduch pri danej hodnote zmiešavacieho pomeru vodnej pary stane nasýteným vzhľadom k vode následkom izobarického ochladzovania [5]. Teplota rosného bodu sa nedá merať, jedná sa o hypotetickú hodnotu. Je vypočítaná automatickou meteorologickou stanicou odvodením od teploty vzduchu a nameranej vlhkosti vzduchu.

Vlhkosť vzduchu má i zásadný vplyv na výšku spodnej základne oblačnosti, ktorá má značný vplyv na spôsob lietania v podmienkach všeobecného letectva. Stúpavé prúdy vzduchu sa adiabaticky ochladzujú približne 1 °C/100 m. Teplota rosného bodu sa s výškou mení približne 0,2 °C/100 m. V istej výške sa teplota vzduchu vyrovná teplote rosného bodu a vzduch sa stane vodnými nasýtený, dosahuje relatívnu vlhkosť 100 %. V tejto hladine, ktorá sa nazýva kondenzačná

hladina začínajú vodné pary kondenzovať a vzniká oblačnosť. Ak sú pri povrchu teplota vzduchu a teplota rosného bodu bližšie k sebe, tým skôr sa pri stúpaní tieto teploty vyrovnajú a kondenzačná hladina je nižšie [5]. Sledovaním parametrov vlhkosti vzduchu je nepriamou metódou odhadu výšky spodnej základne oblačnosti.

1.4. Vplyv vetra na lietanie

Pre lietadlo je výhodné a bezpečnejšie pristávať a štartovať proti smeru vetra. Na tvorbu aerodynamického vztlaku je rozhodujúca rýchlosť obtekania vzduchu okolo nosných plôch lietadla. Pri štarte proti vetru to skraca dĺžku potrebnej dráhy na odpútanie sa lietadla od zeme, pri pristávaní to pomáha pri skrátaní dĺžky dojazdu do zastavenia sa lietadla. Tento fakt platí až do hraničných hodnôt rýchlosti vetra súvisiacich s konštrukčnými vlastnosťami lietadla. Isté limitné hodnoty sú stanovené pre pristátie zo zadným vetrom, tzv. „tail wind“. Pri prekročení limitnej rýchlosti zadného vetra je nutné zmeniť smer pristátia ináč hrozí neskoré dosadnutie lietadla na plochu a nedobrzdenie, prípadne lietadlo môže pristávaciu plochu na minimálnej rýchlosti „preplachtiť“ vplyvom nárastu indukovanej vztlakovej sily ktorá sa tvorí v blízkosti povrchu zeme.

Limitné hodnoty sú stanovené i na bočný vietor tzv. crosswind. Lietadlo je jednak znášané od osi dráhy v smere po vetre pri následnom podrovnaní a vytrácaní rýchlosti sa na náveterne strane generuje prebytok vztlaku, čo môže viesť k náhlym náklonom a zachytení krídla po vetre o zem a k následnej havárii. Bočný vietor môže úplne znemožniť pristátie na zamýšľanom letisku či ploche. Limitné hodnoty vetra z rôznych smerov vzhľadom ku kurzu lietadla sú uvedené v tabuľke č.1.

2. Využitie systémov automatizovaného zberu informácií na ich praktické využitie a ich overovanie v praxi

V súvislosti so značným technickým pokrokom v oblasti senzorického vybavenia, miniaturizácie, možnosti zdieľania nameraných je dnes na trhu k dispozícii široká škála meteorologických staníc rôzneho zamerania a cenových relácií. Cena týchto staníc sa pritom môže pohybovať od niekoľko desiatok do niekoľko sto Euro. Cena za meteorologickú stanicu zodpovedá možnostiam, ktoré stanica ponúka. Senzorické vybavenie lacnejších domácich staníc môže byť bohaté a na prvý pohľad zvädza laika ku presvedčeniu, že lacnejšie riešenia sú dostačujúce a je zbytočné investovať do zakúpenia zariadenia mnohokrát i viac ako 10 násobne drahšieho. Pri dôslednej odbornej analýze spôsobu technického riešenia jednotlivých staníc sa však niektoré riešenia javia ako nevhodné pre zabezpečenie malých letísk alebo letových koridorov. Napájanie vonkajších senzorov riešené alkalickými AA batériami znamená komplikácie a riziká. V chladnejšom období batérie rýchlo strácajú na svojej kapacite a ich výmena môže byť komplikovaná pri inštalácii senzora na stožiare alebo streche. V prípade náhleho výpadku napájania môže výmena trvať i dlhší čas, ktorý sa odvíja od zaregistrovania výpadku dát po príchod obslužného personálu na miesto inštalácie až po samotnú výmenu batérií. Predstavuje to riziko výpadku údajov v kritickej chvíli pre iné posádky GA. Otázna je i presnosť a citlivosť senzorov pred koncom životnosti batérií. Profesionálne riešenia sú síce náročné na zaobstaranie, no prinášajú nesporné výhody v spoľahlivosti, presnosti sú dizajnované cielene pre potreby konkrétnych užívateľov, čo sú v tomto prípade letiská rôzneho charakteru. Na obrázku č. 1 je príklad výstupu moderného senzorického systému IMS4 Remote Observer od slovenského výrobcu Microstep – MIS. Jedná sa o pomerne nákladné zariadenie, je teda na zvážení každého užívateľa aké meracie zariadenie si vyberie, všetky však musia mať spoločné vlastnosti a to poskytnutie základného informačného balíčka pre potreby meteorologického zabezpečenia malých letísk potrebného na tvorbu správy METAR, ktorej následná predpoveď vo forme TREND je esenciálnou súčasťou.



Obr. 1 Ukážka výstupu moderného senzorickeho výstupu systému IMS4 Remote Observer
[zdroj: IMS4 Remote observer datasheet dostupné na: <https://www.microstep-mis.com/drupal/web/sites/default/files/datasheets/IMS4%20Remote%20Observer.pdf>]

Na základe identifikácie minimálnych špecifických priestorových údajov potrebných pre zabezpečenie letovej činnosti v podmienkach GA, v syntéze s predpokladaným rozmiestnením meracích systémov v rámci územia Slovenska, kde absentujú údaje z profesionálnej meteorologickej siete, možno za základné technické atribúty, ktoré musí meteorologická stanica spĺňať považovať:

- meranie meteorologických prvkov spadajúcich do základného informačného balíčka (stať 1.)
- zdieľanie nameraných údajov na diaľku
- archivácia nameraných údajov
- senzoricke špecifikácie v súlade s manuálom WMO [49,50]
- možnosť kalibrácie senzorov
- bezobslužné, automatické.

Podrobnejšie budú popísané uvedené atribúty meteorologických staníc pre potreby zabezpečenia malých letísk v nasledujúcich statiach.

2.1. Meranie meteorologických prvkov spadajúcich do základného informačného balíčka

Na základe analýzy potrieb merania meteorologických prvkov, ktoré majú vplyv na parametre vzletu, pristátia i samotného letu lietadla, uvedenej v kapitole 1.1 až 1.4 možno do základného meteorologického informačného balíčka zaradiť:

- teplota vzduchu
- vlhkosť vzduchu a rosný bod
- tlak vzduchu a jeho prepočítané ekvivalenty na hladinu mora a podľa MŠA
- smer a rýchlosť vetra
- výška spodnej základne oblačnosti a jej množstvo
- meteorologická dohľadnosť

Pričom najdôležitejšími prvkami sú posledné dva, výška spodnej základne oblačnosti a jej množstvo a parametre meteorologickej dohľadnosti. Meranie týchto dvoch prvkov si vyžaduje buď veľmi nákladné profesionálne riešenia, alebo doplnkové spôsoby merania za využitia alternatívnych metód napríklad prostredníctvom kamerových systémov, ktorých kvalita v poslednom období výrazne stúpa a cenovo sa stávajú prijateľnejšími ako v nedávnej minulosti.

2.2. Zdieľanie nameraných údajov na diaľku

Na Slovensku aj vo svete sa vydávajú rôzne typy meteorologických správ. Správa o stave počasia pre potreby letectva je vydávaná vo forme medzinárodného unifikovaného kódu s názvom METAR.

METAR (Meteorological terminal air report), je letisková správa o počasí v daných časových intervaloch, veľmi dôležitá pre samotný let využívaná aj meteorológmi pri predpovedi počasia. Štandardizovaná pomocou ICAO kódov, čím sa zabezpečilo jej porozumenie vo väčšine sveta. Meteorologické stanice na letiskách generujú spomínanú správu raz za hodinu, v prípade väčších letísk s vyššou frekvenciou leteckej premávky raz za 30 minút. Formát správy METAR vyzerá nasledovne:

CCCC yygggZ dddff(Gff)MPS (d_nd_nd_n/d_nd_nd_n) vvv(d) (v_xv_xv_xv_xd_x) (Rd_{Rd}/V_RV_RV_RV_Ri alebo Rd_{Rd}/V_RV_RV_RV_RV_RV_RV_RV_Ri) ww nnnhh(C) (M)tt/(M)t_Dt_D Qpppp (REww) (doplňujúce informácie)=

Jedná sa o kód pozostávajúci so skupín čísel a písmenových skratiek, ktoré sú podrobne popísané v predpise ANNEX 3 [3], a je povinnosťou každého pilota i riadiaceho lietania vedieť túto správu dešifrovať [4].

Jedná sa o správu, ktorá obsahuje aktuálne hodnoty nameraných meteorologických prvkov a výskyt význačných poveternostných javov. Letisková správa o počasí začína ICAO kódom daného letiska, čas, deň merania v svetovom koordinovanom čase UTC, pokračuje smerom odkiaľ fúka a rýchlosťou vetra v uzloch, dohľadnosťou v metroch, množstvom

oblačnosti, teplotou a teplotou rosného bodu a tlakom na strednej hladine mora pre danú oblasť. V tejto správe sa môžu vyskytnúť aj iné skratky o ktorých pojednáva predpis L3.

V súčasnej praxi sa na generovanie týchto správ do značnej miery využívajú automatizované meracie systémy pod skratkou AWOS, čo znamená Automatic Weather Observation System, prípadne sa používa skratka AMOS, čo je predstavuje skrátenie názvu systému Automatic Meteorological Observation System. V praxi je výstup „surových“ správ METAR uvedený na obrázku č. 2.

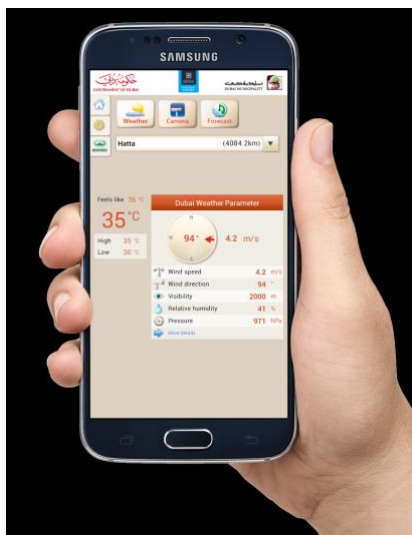
```
METAR LZJS 071600Z AUTO CALM //// //// 25/09 Q0977=  
METAR LZJS 121140Z AUTO VRB05KT //// //// 06/04 Q0965=  
METAR LZJS 121220Z AUTO 22007KT 160V290 //// //// 06/03 Q0964=
```

Obr. 2 Príklad Správ METAR generovaného systémom AWOS [zdroj: ezMETAR Airport AWOS datasheet

[zdroj:

<https://static1.squarespace.com/static/597dc443914e6bed5fd30dcc/t/5b44afad8a922d33d9085f0c/1531228078919/ezMETAR+DataSheet+201807.pdf>]

Spomínané automatické stanice v určenom čase vygenerujú zo senzory nameraných hodnôt parametrov počasia správu METAR a odošlú ju do meteorologického centra, odkiaľ sú následne v paketoch spätne vysielané na meteorologické služobne, kde sú k dispozícii meteorologickému personálu, posádkam vykonávajúcim predletovú prípravu ako riadiacim letovej prevádzky. V súčasnosti sa na distribúciu správ METAR, ako i surových nameraných údajov do značnej miery internet a rôzne smart zariadenia ako tablety alebo mobilné telefóny (obr. č.3).



Obr. 3 Vizualizácia nameraných údajov systémom AWOS na smartfóne
[zdroj: MetReporter datasheet dostupné na: https://www.microstep-mis.com/drupal/web/sites/default/files/datasheets/MetReporter_product_sheet.pdf]

V Prípade, že sa očakáva výrazná zmena v stave počasia, môže byť súčasťou pravidelnej meteorologickej správy I krátkodobá predpoveď počasia na pristátie s kódovým označením TREND. Správa TREND môže mať nasledovný tvar:

**METAR LZTT 290800Z 19003KT 110V240 2000 -SN BR SCT005 BKN008 OVC016
M01/M02 Q0992 RESN TEMPO 4000 -SN=**

Jedná sa o správu o stave počasia, teda METAR, z letiska Poprad – Tatry zo dňa 29.11.2021 o 08.00 UTC, doplnenú o predpokladaný vývoj počasia na nasledujúce obdobie dvoch hodín. TREND nie je od kmeňovej správy METAR nejako výrazne odlúčený nasleduje po údajoch o tlaku vzduchu. Očakáva sa zlepšenie dohľadnosti s aktuálnych 2 km na 4 km pri stálom slabom snežení.

Správa TREND teda charakterizuje a popisuje očakávané zmeny v stave počasia na obdobie dvoch hodín od jej vydania. Dlhodobejšie predpovede počasia nesú kódové označenie TAF a majú rôznu dobu platnosti pre rôzne typy letísk. Ako správy TREND tak aj TAF sú podrobne rozpísané v predpise L3 v časti "Dodatok 5". Nejedná sa o automatické generované správy. Sú výsledkom analýzy stavu počasia a aplikovania predpovedných metód a znalostí miestnych pomerov, čo zvládne len vysoko kvalifikovaný obslužný personál.

Súčasný technický parameter prenosných multimediálnych zariadení umožňuje prístup k aktuálnym meteorologickým informáciám so senzorických meraní systémov AWOS prakticky kdekoľvek s prístupom k dátovým prenosom a nie sú už obmedzené výhradne na linkové prenosy dát tak ako v minulosti. Tento fakt výrazne prispieva k zvýšeniu informovanosti posádok pred

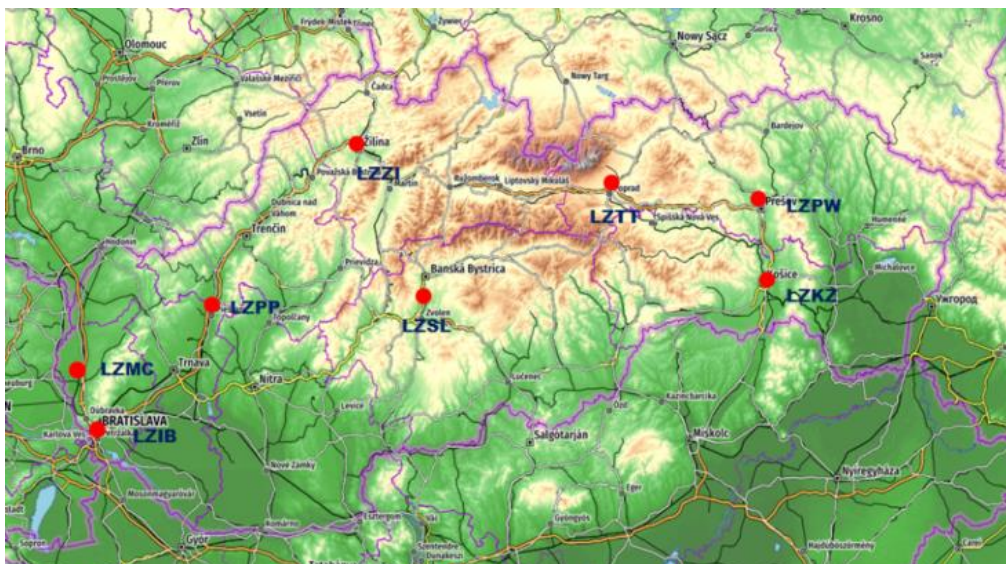
letom i počas letu a napomáha tak k zvyšovaniu úrovne bezpečnosti lietania v prostredí všeobecného letectva. Tento potenciál však súvisí s hustotou monitoringu oblastí, ktoré sú pokryté systémami AWOS a prispievajú do meteorologickej informačnej siete. Vybavenie malých letísk všeobecného letectva automatickými meracími systémami je prvou základnou podmienkou na vytvorenie meteorologickej informačnej siete pre poveternostné zabezpečenie v špecifickom prostredí všeobecného letectva.

2.3. Praktická využiteľnosť automatických meracích systémov a ich overovanie v praxi

Vraví sa, že „kvalitné informácie sú základom pre dobré rozhodnutia“. Pred samotným vykonaním letu sa musí posádka lietadla oboznámiť so stavom počasia na cieľovom letisku ako i po trase od letiska vzletu k letisku pristátia alebo medzipristátia. Posádka je povinná podľa predpisu L6 Hlava 4 – príprava letu a postupy za letu, bod 4.5 oboznámiť sa so všetkými dostupnými meteorologickými informáciami vhodnými na zamýšľaný let [2]. Na základe stavu počasia, technických parametrov a prístrojového vybavenia lietadla a typu licencie posádky sa posudzuje uskutočniteľnosť letu pri náročnejších meteorologických podmienkach. Tento rozhodovací proces môže byť výrazne ovplyvnený dostupnosťou objektívnych meteorologických údajov s oblasti zamýšľaného letu posádky. Dostupnosť správ METAR s následným odhadom tendencia vývoja kritických meteorologických prvkov je základom pre správne rozhodnutia posádok s výraznou elimináciou improvizácie a nechceného stretu s podlimitnými hodnotami meteorologických prvkov alebo nebezpečnými poveternostnými javmi.

2.3.1. Využitie súčasnej profesionálnej leteckej meteorologickej siete v podmienkach všeobecného letectva

Súčasnú pokrytie územia Slovenska Leteckou poveternostnou službou je však dizajnované pre potreby komerčnej dopravy operujúcej z veľkých, často medzinárodných letísk, ktoré sú legislatívne viazané týmto typom senzorickeho vybavenia. Jedná sa o finančne nákladné vybavenie čo do techniky tak i certifikovaného obslužného personálu čo je dôvodom na pomerne malú hustotu týchto meteorologických staníc, ktorých rozmiestnenie je znázornené na obrázku č. 4.



Obr. 4 Rozmiestnenie leteckých meteorologických staníc na území Slovenskej republiky
[mapový podklad: <https://mapy.hiking.sk/>]

Jedná sa o meteorologické stanice umiestnené na civilných a vojenských letiskách. Pod správu SHMÚ spadajú stanice:

- LZIB letisko Ivánka pri Bratislave
- LZKZ letisko Košice
- LZPP letisko Piešťany
- LZTT letisko Poprad - Tatry
- LZZI letisko Žilina – Hričov

Civilná letecká meteorologická sieť je doplnená o o stanice na letiskách

- LZMC Malacky - Kuchyňa
- LZPW Prešov
- LZSL Sliač

Merania z profesionálnych leteckých meteorologických staníc sú k obmedzenej miere k dispozícii na oficiálnej stránke SHMÚ vo forme správ METAR, pričom pri správach o počasí s vojenských staníc si SHMÚ vyhradzuje právo dištancovať sa od objektivity týchto meraní, z dôvodu, že nemá dosah a kontrolu nad prístrojovým vybavením a personálnym obsadením vojenských staníc (obrázok č. 5.)

METAR

Letisková meteorologická správa METAR

Meteorologické informácie z ďalších profesionálnych meteorologických staníc SHMÚ zobrazené v tvare zodpovedajúcom pravidlám kódovania správ METAR sú uvedené v položke „METSYN“

Vyberte čas: UTC

```
SASQ55 LZIB 251200
METAR LZIB 251200Z 12013KT 5000 BR OVC014 04/02 Q1012 NOSIG=
METAR LZKZ 251200Z 14004KT 1500 BR SCT002 BKN040 00/M00 Q1016 NOSIG=
METAR LZPP 251200Z 14011KT 9999 OVC014 04/01 Q1012=
METAR LZTT 251200Z 21011KT 9999 FEW020 BKN026 03/M01 Q1012 NOSIG=
METAR LZZI 251200Z VRB01KT 9999 OVC025 03/01 Q1011=
```

Správy METAR z vojenských meteorologických staníc (MIL)
SHMÚ nezodpovedá za ich obsah.

Vyberte čas: UTC

```
SASQ LZMC 251200 COR
METAR 251200Z
METAR LZMC 251200Z 15012G24KT 7000 FEW010 BKN016 05/01
Q1011=
```

```
SASQ LZPW 251200 COR
METAR 251200Z
METAR LZPW 251200Z 20012G22KT 4000 BR FEW006 OVC030
03/M01 Q1014=
```

```
SASQ LZSL 251200
METAR LZSL 251200Z 36006KT 8000 BKN008 OVC014 00/M00 Q1015=
```

Obr. 5 Screenshot oficiálnej stránky SHMÚ s o správami METAR pre praktické využitie
[zdroj: <https://www.shmu.sk/sk/?page=483>]

Výhodou profesionálnych staníc je nesporná objektivita nameraných údajov pravidelnosť a bohatá história meteorologických meraní a profesionalita obslužného personálu. Ľudská obsluha dokáže vizuálne identifikovať a kvantifikovať isté javy, pri ktorých automatické systémy ešte stále zaostávajú a ich vývoj v tomto smere len pomaly napreduje. Jedná sa najmä o množstvo a druh oblačnosti, prítomnosť nebezpečných javov v okolí stanice, alebo letiska. Medzi nevýhody profesionálnych staníc s ľudskou obsluhou patria najmä:

- nedostatočné pokrytie územia Slovenskej republiky leteckými meteorologickými stanicami,
- zvýšené náklady na obstaranie a prevádzku profesionálneho vybavenia staníc,
- náklady na mzdy a pravidelné školenia obsluhy meteorologických staníc

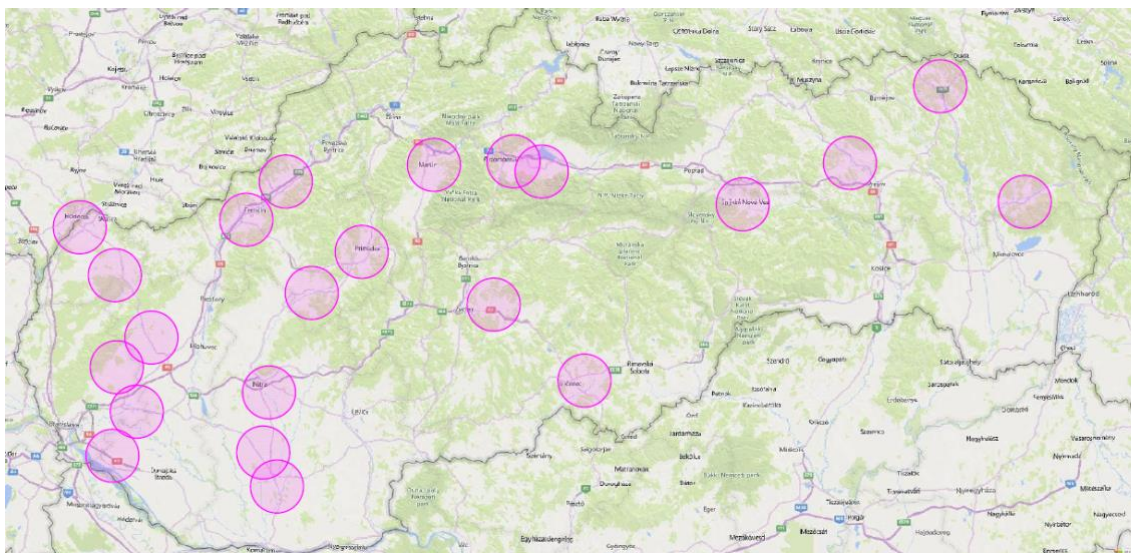
- nedostatok odborného personálu na trhu práce.

Systémy AWOS sú schopné pracovať nepretržite, bez nárokov a nepresností spôsobených ľudským faktorom. Je možné ich operatívne presúvať podľa potrieb alebo situácie napríklad pri živelných pohromách na zabezpečenie činnosti leteckej zložky integrovaného záchranného systému. Podobne je tomu tak i pri lesných požiaroch, kde je potrebné nadsadenie leteckej zložky.

2.3.2. Meteorologické zabezpečenie malých letísk pomocou automatickej meteorologickej siete

V súčasnosti je na trhu široké spektrum meteorologických riešení. Od amatérskych domácich staníc, po robustné profesionálne riešenia pre monitoring v oblasti dopravy, obrany alebo poľnohospodárstva. Výberom vhodného, už jestvujúceho meteorologického riešenia a jeho novým použitím pre zvýšenie informovanosti pilotov v rámci GA, je možné dospieť k novému pohľadu na riešenie problémov z meteorologickým zabezpečením všeobecného letectva a leteckej zložky integrovaného záchranného systému. Pri výbere miesta inštalácie samotnej stanice a jej senzorov je nevyhnutné postupovať podľa návodu na inštaláciu so zreteľom na vylúčenie vplyvu okolia na objektívnosť meraných meteorologických údajov. Je nutné brať do úvahy vplyv budov, terénnych nerovností a rôznych prekážok v okolí senzorov, ktoré by mohli mať vplyv na hodnoty smeru a rýchlosti vetra, teplotu prípadne iné meteorologické prvky. Manuály WMO na technické vybavenie a inštaláciu meteorologických staníc s prihliadnutím na obmedzené možnosti v prostredí GA sa javia ako dostatočným návodom pre inštaláciu i typ meteorologickej stanice. Návrhu vhodných meteorologických staníc a návrh metodiky na spôsob ich inštalácie v teréne sa preto odvíja od spomenutých manuálov WMO [8,9].

V prípade vybavenia letísk všeobecného letectva by sa mohla hustota meteorologických meraní zvýšiť a tým prispieť k informovanosti posádok tohto segmentu letectva (obr. č. 6)



Obr. 6 Predpokladané rozmiestnenie meteorologických staníc na letiskách GA
[zdroj: vlastné, mapový podklad Bing]

Takto doplnená profesionálna meteorologická sieť o systémy AWOS na malých letiskách predstavuje značné zlepšenie v pokrytia územia Slovenskej republiky relevantnými meteorologickými údajmi, ktoré by dávali lepšiu predstavu o stave počasia v rôznych častiach krajiny. Územie Slovenska je geomorfologické pomerne zložitá v porovnaní si susedmi ako kými sú Maďarsko alebo Poľsko. V hornatých oblastiach majú na výsledný stav počasia značný vplyv miestne zvláštnosti, ktoré svojimi lokálnymi cirkulačnými pomermi menia výsledný stav počasia oproti predpokladom a predpovediam. Jedná sa o letiská uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka 3 Zoznam letísk všeobecného letectva na území Slovenskej republiky
[zdroj: <http://letectvo.nsat.sk/wp-content/uploads/sites/2/2021/02/Zoznam-let%C3%ADsk.pdf>]

Názov letiska	ICAO indikatív	Pravidlá lietania
Jasná	LZSJ	VFR
Trenčín	LZTN	VFR
Martin	LZMA	VFR
Svidník	LZSK	VFR
Dubnica	LZDB	VFR
Partizánske	PZPT	VFR
Spišská Nová Ves	LZSV	VFR
Lučenec	LZLU	VFR
Ružomberok	LZRU	VFR
Očová	LZOC	VFR
Holíč	LZHL	VFR
Senica	LZSE	VFR
Boleráz/Štefan Banič	LZTR	VFR
Ražňany	LZRY	VFR
Kamenica nad Cirochou	LZKC	VFR
Kráľová	LZKS	VFR
Nové Zámky	LZNZ	VFR
Šurany	LZSY	VFR
Dubová	LZDV	VFR
Kvetoslavov	-----	VFR

V prípade generovania správ METAR z letísk uvedenými v tabuľke 3, je možné následne pre tieto letiská generovať i správu TREND, teda predpoveď počasia na pristátie lietadiel. Možnosť tvorby takýchto produktov a prístupu k nim prináša niekoľko benefitov:

-
- znalosť o vyskytujúcich alebo očakávaných nebezpečných javoch pre letectvo zvyšuje bezpečnosť lietania
 - ekonomické benefity operatívnejším plánovaním letovej činnosti, vyhnutia sa letom na „skúšku“ bez znalostí o meteorologických podmienkach na cieľových letiskách a ich tendencie vývoja
 - možnosť využitia týchto údajov pri zásahoch leteckej zložky IZS,
 - nástroj na zvýšenie objektivnosti vyšetrovania prípadných leteckých nehôd.

Meteorologické stanice inštalované v akejkoľvek lokalite prinášajú množstvo benefitov pre rôzne aspekty ľudskej činnosti. Stanice inštalované na letiskách GA majú význam najmä pre športové lietanie, výcvikové lety a lietanie pre radosť, pričom údaje z nich môžu byť využité i leteckou zložkou IZS. Stanice inštalované v blízkosti letísk by poskytovali kritické informácie pre leteckú zložku IZS a zároveň môžu poslúžiť ako objektívny zdroj informácií pri plánovaní preletov GA.

3. Vytváranie a zdokonaľovanie softvéru pre vytváranie krátkodobých predpovedí a ich následné automatické overovanie a korekcia

Predpoveď počasia je slovné alebo grafické vyjadrenie budúceho stavu počasia. Vychádza z podrobnej analýzy poľa teploty, tlaku a vlhkosti vzduchu a jej interakcie so zemským povrchom s rôznymi vlastnosťami [6]. Na tvorbu predpovede počasia je preto nevyhnutné poznanie počiatočného stavu počasia. Podrobnejšie pokrytie územia meteorologickými meracími systémami je zdrojom väčšieho množstva objektívnych meteorologických údajov a môže poskytovať presnejšie východiskové dáta pre tvorbu predpovedí.

V súčasnosti sa predpovede počasia šíria rôznymi informačnými kanálmi. Pre potreby malých letísk sú najvhodnejšie letecké správy o stave počasia vo forme kódu METAR a s ňou spojená predpoveď počasia na pristátie TREND, ktorá je súčasťou správy METAR. Pre väčšie letiská sa vydávajú správy TAF, ktoré sú produktom rozsiahlej a zložitej analýzy stavu počasia a uplatnenia známych fyzikálnych procesov. Je to pomerne náročný a zdĺhavý proces, vyžadujúci si vysoko kvalifikovaný personál. Pre množstvo malých letísk s prevádzkou prevažne v rámci všeobecného letectva sa z kapacitných i ekonomických dôvodov tieto správy negenerujú. Je preto na mieste zaoberať sa istou formou automatizácie a to najmä správ TREND.

3.1. Tvorba softvéru a možnosť automatizácie tvorby krátkodobých predpovedí počasia.

Správa TREND je leteckou predpoveďou počasia a môže byť súčasťou správy METAR ak sú splnené podmienky na jej zavedenie alebo sa správa Trend pre dané letisko generuje. Obdobie platnosti predpovede nesmie presahovať 2 hodiny. Tieto predpovede sú určené pre lietadlá vzdialené od letiska pristátie menej ako 1 hodinu letu a vydávajú sa pravidelne, spravidla každú polhodinu, alebo nepravidelne pre jednotlivé pristávajúce lietadlá. Vydávajú sa v otvorenej reči alebo najčastejšie ako pristávacie predpovede typu „trend“, podľa pokynov Medzinárodnej organizácie civilného letectva. Predpovede typu „trend“ sa pripravujú a medzi letiskami sa vymieňajú spolu s leteckými meteorologickými právmi v kóde METAR, ku ktorým sú pripojené. Môže obsahovať predpovede meteorologických prvok ako:

- smer a rýchlosť prízemného vetra
- dohľadnosť, význačné počasia (búrky, mrznúci dážď alebo mrholenie, húľava, krúpy, zvířený prach, piesok)
- oblačnosť

V prípade, že sa pre dané letisko vydáva i predpoveď počasia typu TAF je správa TREND nadradenou tejto správe.

Predpovede počasia sú vo všeobecnosti výsledkom analýzy stavu počasia na základe ktorého sa po použití predpovedných metód vytvorí logicky zdôvodniteľný, budúci stav počasia. Tvoria sa manuálne pre každé letisko zvlášť. Oproti správe METAR sú predpovede TAF i TREND generované manuálne a automatický software na ich tvorbu nie je vyvinutý. Istú možnosť automatizácie predstavuje dnes stále zlepšujúca sa numerická meteorológia, ktorá na svoje predpovede využíva nákladné a zložité meteorologické modely. Meranie meteorologických údajov má potenciál takéto modely verifikovať a spresňovať, pričom takýto verifikovaný a spresnený výstup je možné vhodným algoritmom aplikovať na automatickú tvorbu správ TREND pre malé letiská. Podobný algoritmus využíva predpovedný systém INCA, ktorý využíva SHMÚ na dopresnenie modelových výstupov pomocou údajov získaných so svojich automatických meracích systémov a cestnej meteorologickej siete.



Obr. 7 Systém AWOS v správe Národnej diaľničnej spoločnosti
[zdroj: <http://www.spinnet.sk/index.php?page=meteo/road/rws200>]

Diaľničná dopravná sieť je monitorovaná meteorologickými systémami AWOS (obr. č. 7), ktorá je v správe NDS alebo a zodpovednosti a tieto informácie poskytuje pre potreby SHMÚ na základe dohody. Mimo týchto dvoch subjektov nie sú meteorologické dáta poskytované tretím stranám, teda ani verejnosti ani leteckej zložke IZS. Pre automatizáciu správ METAR a následne i TREND si musia malé letiská vytvárať doplnkovú meteorologickú sieť samé a za týmto účelom zadovážiť si systémy AWOS s možnosťou generovania správ METAR a TREND.

3.1.1. Overovanie a korekcia krátkodobých predpovedí počasia pre malé letiská

Na tvorbu automatických predpovedí počasia je možné využívať modelové výstupy numerickej meteorológie. Samotné modely je potrebné pred ich použitím overiť z hľadiska správnosti počiatočných podmienok na začiatku behu modelu. Tento proces sa nazýva verifikácia modelu. Jedná sa o porovnanie predpovedaných prvkov počasia so skutočne nameranými v danej hodine. Ak sa tieto hodnoty líšia v rámci povolených noriem je možné malou korekciou prvkov tento model použiť a vytvoriť tak predpoveď na nasledujúce dve hodiny. Limitné hodnoty na overenie úspešnosti predpovedaných prvkov a javov sú uvedené v predpise L3 – Letecká meteorologická služba. Tieto limity, uvedené v tabuľke č. 4, je vhodné využívať i v podmienkach všeobecného letectva a uplatniť ich pri tvorbe softvéru na automatické vyhodnocovanie a korekcie krátkodobých predpovedí.

Tabuľka 4 Prevádzkové požiadavky na presnosť predpovede
[zdroj: Predpis L3 príloha B – Prevádzkové požiadavky na presnosť predpovede, str. 147]

Predpoveď TREND		
Smer vetra	$\pm 20^\circ$	90 % predpovedí
Rýchlosť vetra	$\pm 2,5$ m/s	90 % predpovedí
Dohľadnosť	± 200 m do 800 m ± 30 % medzi 800 m a 10 km	90 % predpovedí
Zrážky	Sú alebo nie sú pozorované	90 % predpovedí
Množstvo oblačnosti	Jedna kategória (množstva) oblakov s výškou základne pod 450 m (1500 ft)	90 % predpovedí

Výška spodnej základne oblačnosti	± 30 m (100 ft) do 300 m ± 30 % medzi 300 m (1000 ft) a 3000 m (10 000 ft)	90 % predpovedí
-----------------------------------	--	-----------------

Princípom verifikácie modelu a vyhodnotenia jeho úspešnosti v počiatkových podmienkach jeho behu je, že ak sa na samotnom začiatku behu modelu vyskytne odchýlka, jej miera s časom bude len narastať. Súvisí to s druhým zákonom termodynamiky, ktorý tvrdí, že „Miera entropie (neusporiadanosti) s časom narastá“. Nemožno preto očakávať, že by sa chyba, (miera neusporiadanosti), s časom zmenšovala a model by sa napriek počiatkovým chybným predpokladom sám opravil a pre ďalší plynúci čas by bol presnejší ako na začiatku.

4. Tvorba automatizovaných krátkodobých lokálních predpovedí počasí pre malé letiská

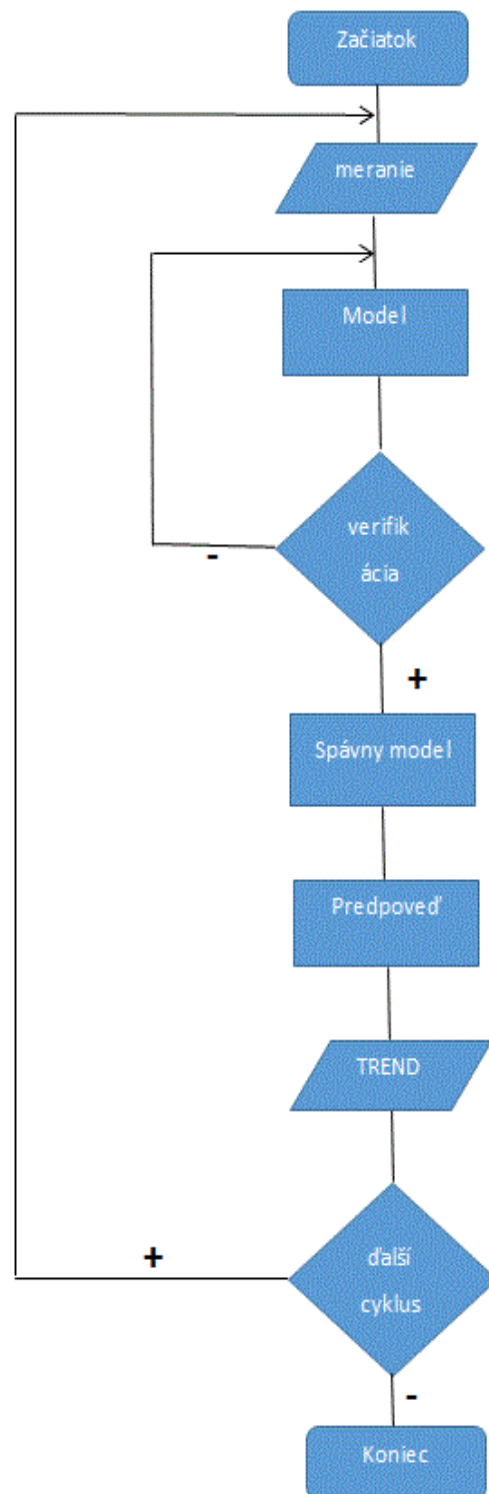
Podobne ako v minulosti tak i teraz je predpoveď počasí výsledkom logického myšlienkového pochodu vychádzajúceho uplatnenia fyzikálnych a empirických zákonov na namerané údaje získané z meteorologických staníc. Predpoveď počasí vo forme správ TREND a TAF je preto stále produktom ľudskej činnosti a miera automatizácie sa obmedzuje iba na využitie numerickej meteorológie a jej aplikovanie do predpovedí. Meteorologické modely nie sú presné vo všetkých častiach svojho pokrytia za každej poveternostnej situácie a nemôžu preto nahradiť ľudskú obsluhu v plnej miere. So zvyšujúcim stupňom miery umelej inteligencie je však nanajvyš pravdepodobné, že tieto systémy budú schopné do veľkej miery nahradiť ľudskú obsluhu na základe návrhu algoritmu na postup pri tvorbe krátkodobých predpovedí počasí. Navrhovaný model algoritmu na automatickú tvorbu krátkodobých predpovedí pre malé letiská predpovedí by mal pozostávať s niekoľkých fáz:

- 1) Meranie parametrov počasí
- 2) Výber modelu na základe jeho verifikácie
- 3) Určenie korekcie modelu
- 4) Určenie predpovedaných parametrov počasí
- 5) Korekcia predpovedaných parametrov počasí na základe verifikácie
- 6) Generovanie krátkodobej predpovede TREND
- 7) V stanovenom termíne nasledujúceho merania overenie skutočných podmienok s predpovedanými, pri výraznom rozdiel korekcia a vydanie novej správy TREND.

Začiatok algoritmu je moment spustenia meraní po inštalácii zariadenia AWOS alebo prebudenia systému napríklad po nočnej prestávke alebo po servisných prácach. Koniec algoritmu predstavuje moment vypnutia stanice z rôznych dôvodov:

- uvedenia zariadenia do spánku napríklad v nočných hodinách
- porucha na zariadení a jej odstraňovanie
- vypnutie zariadenia v dôsledku pravidelných servisných prác

Slovný popis algoritmu v bodoch 1 až sedem na strane 29 je možné vyjadriť diagramom.



Obr. 8 Vývojový diagram generovania a autokorekcie krátkodobej predpovede počasia TREND [zdroj: vlastné]

Z obrázka č. 8 možno usúdiť, že v prípade splnenia podmienky v závere, čiže cyklus merania a pozorovania pokračuje, sa jedná o algoritmus opakujúci sa, teda ide o algoritmus reaktívneho

procesu. Systém priebežne reaguje na zmeny v počasí, či už očakávané alebo neočakávané, a priebežne upravuje krátkodobú predpoveď k prislúchajúcej správe METAR. Takto je zabezpečená podmienka priebežného vyhodnocovania predpovedí generovaných v minulosti s aktuálnym stavom. V prípade úspešnej predpovede podľa podmienok v tabuľke č. 4 je možné s vybraným modelom po zarátaní prijateľných odchýlok, ďalej pracovať. V prípade neúspešnej predpovede sa na základe verifikácie vyberie model ktorý prejde verifikačnými podmienkami, popísanými v kapitole 3.1.1.

Proces autokorekcie správ TREND sa podľa navrhovaného algoritmu ukončí až pri prerušení meraní a pozorovaní ktorých dôvody už boli popísané vyššie.

Záver

Automatické meracie systémy predstavujú rozšírenie možností na zvýšenie hustoty meraní a pozorovaní, čo prináša lepšie pokrytie daného územia objektívnymi meteorologickými údajmi. Tieto dáta tak môžu byť využité na podrobnejšie mapovanie poľa tlaku a teploty, ktoré majú rozhodujúci význam pre určenie budúceho stavu počasia v mikromerítke. Pri absencii týchto údajov podľa ktorých by sa predpoveď mohla vyhodnocovať, nie je možné vytvárať objektívne a priebežne opravované predpovede počasia. V prípade, že sa jedná o počasia v konkrétnej lokalite v mikroregióne, je nutné logicky potrebné vytvárať mikroškálovú meteorologickú sieť. Súčasne sa však vynára problém s personálnym obsadením týchto pozorovacích bodov, ktoré by pri značnej hustote zaťažovalo personálne i finančne náklady na prevádzku takejto doplnkovej meteorologickej siete. Automatizácia meraní, pozorovaní a tvorby krátkodobých predpovedí sa javí ako najhodnejšie riešenie pre početné letiská alebo iné miesta kde je záujem tvoriť predpoveď počasia a následne ju priebežne korigovať a spresňovať. Okrem problému s kvalifikovaným personálom sa v dnešnej dobe pridružila i pandémia, pri ktorej sa zvyšuje úsilie o zníženie mobility obyvateľstva a zvýšenie úrovne využívania „práce z domu“. Autonómne systémy eliminujú problém výpadku obsluhy a umožňujú prístup na diaľku nie len k nameraným dátam ale i ku samotnej konfigurácii meracieho systému.

Krátkodobé predpovede pre letiská sú vydávané vo forme správy TREND, ktorej platnosť je maximálne na dve hodiny a slúži predovšetkým ako predpoveď na pristátie. Finálna fáza letu teda priblíženie na pristátie a samotné pristátie je najnáročnejšou fázou celého letu a znalosť očakávaných podmienok letu pri pristátí má zásadný vplyv na plánovanie celej letovej činnosti. V prípade, že predpoveď vykazuje meteorologické podmienky, ktoré sú nad možnosťou lietadla alebo vycvičenosti posádky sa takýto let z bezpečnostných dôvodov odkladá alebo ruší. Predpoveď TREND má tak rovnako dôležitú úlohu pri dodržiavaní zásad bezpečnosti lietania ako samotný stav počasia uvádzaný v správach METAR. Keďže správa TREND je súčasťou správy METAR, ktorá popisuje aktuálne hodnoty meteorologických prvkov je nevyhnutné tieto prvky pre dané miesto merať. Vybavenie týchto cieľových bodov automatickými meteorologickými stanicami AWOS sa takto stáva nutnou podmienkou pre tvorbu leteckých predpovedí na pristátie pre malé letiská.

Zoznam použitej literatúry

- [1] ICAO ANNEX 6 – Operation of Aircraft, PART II, strana 6, [online], [cit. 2021.11.04], dostupné na internete: <https://www.icao.int/SAM/Documents/2008/RPE003/Anexo%206%20PartII%20Just%20Cambios.pdf>
- [2] Ministerstvo dopravy, pôšt a telekomunikácií Slovenskej republiky, Predpis L6 – Prevádzka lietadiel II. časť, Všeobecné letectvo, Letúny, Bratislava, Prvé vydanie – január 1998, [online], [cit. 05.11.2021], dostupné na internete: <https://aim.lps.sk/web/index.php?fn=204&lng=sk&sess=8Lmuhgab8PSSPutDVJpcpNifl3YmdAieAIHBFJCH&doc=1026>
- [3] ICAO ANNEX 3 to the Convention on International Civil Aviation – Meteorological Service for International Air Navigation, [online], [cit. 05.11.2020], dostupné na internete: https://www.wmo.int/pages/prog/www/ISS/Meetings/CT-MTDCF-ET-DRC_Geneva2008/Annex3_16ed.pdf
- [4] Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky, Predpis L3 – Letecká meteorologická služba, Letové prevádzkové služby, piate vydanie – august 2011, štátny podnik, ISBN 978-80-89297-42-9
- [5] Choma, L., Antoško, M., Kelemen, M., Rózenberg, R., Letecká meteorológia I, vysokoškolská učebnica, Košice, Technická univerzita v Košiciach, Edícia vedeckej a odbornej literatúry, 2020, ISBN 978-80-553-3623-7 s. 103 - 136
- [6] Česká meteorologická spoločnosť [online]: Elektronický meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS), [cit 2021.01.21], dostupné na internete: <http://slovník.cmes.cz>
- [7] European Union Aviation Safety Agency, EASA TYPE-CERTIFICATE DATA SHEET EASA.A.606 for VIPER SD-4, 2019, [online], [cit. 2021.11.05], dostupné na: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA-TCDS-A606_TOMARK_SD-4_issue3%20final.pdf
- [8] Guide to Instruments and Methods of Observation, Volume I – Measurement of Meteorological Variables, Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization, 2019, ISBN 978-92-63-10008-5, s. 5-7
- [9] Manual on the WMO Integrated Global Observing System (WMO-No. 1160), Annex VII to the WMO Technical Regulations, 2019, Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization 2019 ISBN 978-92-63-11160-9, s. 54