



MĚŘENÍ PARAMETRŮ VĚTRU NA PALUBĚ ULTRALEHKÉHO LETADLA

Lukáš Kaltman
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Andrej Novák
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

This article addresses the issue of measuring wind parameters onboard ultralight aircraft with the aim of increasing pilot safety by providing relevant information about current weather conditions, specifically wind speed and direction. The theoretical part of the article analyzed the influence of wind on the flight characteristics of ultralight aircraft and examined existing wind monitoring options. Subsequently, an analysis of aircraft accident and incident data involving ultralight aircraft in the Czech Republic and Slovakia between 2019 and 2023 was conducted, revealing that wind negatively influenced 41 % of the analyzed events in the Czech Republic. Based on these findings, three potential solutions were proposed: establishing RADIO service at airfields for sport flying devices, installing windsocks at the ends of runways, and installing onboard electronic flight instrument systems capable of indicating the wind component. Using multi-criteria analysis, the installation of onboard instruments was evaluated as the most suitable option, as it offers the most accurate and up-to-date information directly during flight. In the experimental part, this option was preliminarily verified through two control flights at Sazená airfield using Garmin G3X systems. Comparison of data from the onboard instrument with data from ground meteorological stations showed that while the first flight yielded unrealistic results, the second flight showed better agreement, especially for wind direction, and the data from the onboard instrument corresponded more closely with the pilot's observations and the METAR report. It was concluded that onboard systems represent a promising solution, but more extensive research is necessary for definitive confirmation of their reliability. The article successfully identified a key risk factor, proposed a promising technical solution, and provided a theoretical and methodological basis for further research, thereby contributing to the main goal of increasing the safety of flying ultralight aircraft.

Keywords

Ultralight aircraft, aircraft accident, pilot safety, wind measurements

1. Úvod

Letecká doprava v segmentu ultralehkých letadel čelí specifickým bezpečnostním výzvám, které vyplývají z jejich jedinečných konstrukčních charakteristik. Nižší maximální vzletové hmotnost, obvykle do 600 kg, a nižší letové rychlosti ve srovnání s většími letadly činí tyto stroje výrazně náchylnějšími k ovlivnění vnějšími povětrnostními podmínkami. Zejména vítr, jeho náhlé změny směru a rychlosti, porывy a s ním spojená mechanická či termická turbulence představují významné faktory ovlivňující stabilitu a ovladatelnost ultralehkého letadla. Adekvátní posouzení aktuální větrné situace a jejího potenciálního vlivu na letadlo v různých fázích letu je proto pro pilota ultralehkého letadla naprosto zásadním úkonem pro zajištění bezpečnosti. Nedostatek přesných, relevantních a včasných informací o větru, případně jejich nesprávná interpretace ze strany pilota, může vést k chybným rozhodnutím s potenciálně závažnými až fatálními následky. Riziko je obzvláště vysoké během kritických fází letu, jako je vzlet, počáteční stoupání, přiblížení a přistání, kdy je letadlo v malé výšce nad terénem a má nižší rychlost, což snižuje jeho setrvačnost a schopnost odolávat vnějším vlivům. Potřeba vybavit piloty ultralehkých letadel spolehlivými a aktuálními informacemi o větrné situaci, ideálně dostupnými přímo v kabině letadla, tak představuje naléhavou a klíčovou výzvu pro další zvyšování úrovně bezpečnosti v oblasti ultralehkého létání.

Hlavním cílem tohoto článku je přispět ke zvýšení bezpečnosti pilotů ultralehkých letadel prostřednictvím poskytování relevantních a snadno interpretovatelných informací o aktuálních povětrnostních podmínkách, se specifickým zaměřením na klíčové parametry větru, tedy jeho rychlost a směr. Pro komplexní uchopení této problematiky a dosažení

stanoveného cíle byl výzkum strukturován do několika logicky navazujících částí. V úvodní, teoretické části byl proveden detailní rozbor fyzikálních principů větru a jeho vlivu na aerodynamiku a letové charakteristiky ultralehkých letadel. Souběžně s tím byly pečlivě analyzovány a zhodnoceny stávající možnosti a metody monitorování větrné situace, které jsou pilotům ultralehkých letadel v současnosti k dispozici, a to jak z pohledu dostupného palubního technického vybavení, tak i metod získávání informací z externích zdrojů, například od letových provozních služeb či z meteorologických zpráv. Na tento teoretický základ plynule navázala empirická část zahrnující analýzu historických dat o skutečných leteckých nehodách a incidentech ultralehkých letadel v České republice a na Slovensku. Primárním účelem této analýzy bylo nejen stanovit nejčastější příčiny těchto událostí, ale především identifikovat a kvantifikovat roli větru jako přímého kauzálního nebo alespoň přispívajícího faktoru, čímž měla být empiricky potvrzena a zdůrazněna kritická důležitost řešení dané problematiky pro reálné zvyšování bezpečnosti provozu. S využitím poznatků získaných z teoretického rozboru a konkrétních výsledků analýzy nehod bylo následně přistoupeno k návrhu a formulaci potenciálních řešení, jejichž cílem je efektivně pomoci pilotům ultralehkých letadel lépe se vypořádat s nepříznivým vlivem větru během letu. V rámci této fáze bylo provedeno systematické a objektivní vyhodnocení navržených možností pomocí vícekritériální analýzy s cílem vybrat neoptimálnější řešení z hlediska definovaných kritérií, jako jsou účinnost, přesnost, aktuálnost, proveditelnost a relevance pro specifické podmínky provozu kategorie ultralehkých letadel. Další klíčová fáze výzkumu pak zahrnovala experimentální ověření funkčnosti a předběžné posouzení spolehlivosti zvoleného optimálního řešení v reálných provozních podmínkách. Cílem této praktické části bylo získání prvotních

zkušeností a dat o tom, jak navržené řešení funguje na palubě ultralehkého letadla a jak přesné údaje poskytuje ve srovnání s referenčními měřeními. Závěrečným krokem celého článku je syntéza všech získaných poznatků a vyhodnocení opodstatněnosti a správnosti zvoleného řešení na základě všech předchozích zjištění, primárně pak s ohledem na výsledky experimentálního ověření. Na základě této komplexní syntézy jsou formulovány hlavní závěry článku a vydána konkrétní doporučení jak pro případný navazující výzkum, tak pro potenciální praktickou implementaci výsledků v reálné praxi ultralehkého létání. Lze důvodně očekávat, že výsledky tohoto článku přinesou hlubší vhled do problematiky vlivu větru na provoz ultralehkých letadel a poskytnou cenné podklady pro návrh a implementaci konkrétních opatření směřujících k dalšímu systematickému zvyšování bezpečnosti létání v této dynamicky se rozvíjející kategorii letectví.

2. Metodika a metody výzkumu

Výzkum prezentovaný v tomto článku využíval kombinaci teoretických a empirických metod pro komplexní posouzení problematiky. Metodologický přístup zahrnoval několik klíčových kroků. Nejprve byla provedena detailní teoretická rešerše odborné literatury a relevantních leteckých předpisů jako L 14, LA 3 či UL 2. Tato rešerše se zaměřila na fundamentální pochopení větru, včetně jeho definice, parametrů jako rychlost a směr, mechanismů vzniku ovlivněných různými atmosférickými silami jako síla tlakového gradientu, gravitace, Coriolisova síla, tření a odstředivá síla, a geografickými faktory. Zvláštní pozornost byla věnována specifickému vlivu čelního, zadního a bočního větru na kritické fáze letu ultralehkých letadel, tedy vzlet a přistání, včetně podrobného popisu doporučených pilotních technik jako použití křídélek proti větru, vyšší rychlost odpoutání, skluzová a kurzová metoda pro kompenzaci snosu. Dále byly analyzovány nebezpečné meteorologické jevy úzce spojené s větrem, konkrétně různé typy turbulence – mechanická, termická, v úplavu – a stříhu větru – vertikálního i horizontálního, které představují významné riziko pro lehké letouny. Součástí rešerše byl i komplexní přehled a analýza stávajících metod a prostředků pro monitorování větru, které mají piloti k dispozici, od tradičních vizuálních indikátorů jako větrný rukáv jehož rozměry a umístění jsou standardizovány, přes standardizované meteorologické zprávy a předpovědi typu METAR, SPECI, TAF či SIGMET, až po různé komunikační a informační služby jako ATIS, letové provozní služby, AFIS a RADIO, poskytované na řízených i neřízených letištích. V neposlední řadě se teoretická část zabývala principy fungování a požadavky na palubní přístrojové vybavení relevantní pro měření letových parametrů a potenciálně i větru, včetně Pitot-statického systému a jeho možných chyb při zablokování Pitotovy trubice nebo statických portů, rychloměru a definic různých typů rychlostí IAS, CAS, EAS, TAS, GS, Machovo číslo, výškoměru a jeho závislosti na správném nastavení barometrického tlaku v Kollsmanově okně, variometru fungujícího na principu diference tlaků, globálních navigačních satelitních systémů jako GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou a augmentačních systémů jako WAAS či EGNOS, a moderních integrovaných systémů jako Air Data Computer ADC zpracovávající data z tlakových a teplotních senzorů a Attitude and Heading Reference System AHRS využívající gyroskopy, akcelerometry a magnetometry k určení polohy a orientace letadla.

Navazující empirická část se soustředila na sběr a analýzu dat o skutečných leteckých nehodách a incidentech. Byla shromážděna data ze všech dostupných závěrečných zpráv publikovaných českým Ústavem pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod ÚZPLN a slovenským Leteckým a námořním vyšetřovacím útvarem LNVÚ za pětileté období od začátku roku 2019 do konce roku 2023. Výběr zpráv se řídil jasnými kritérii: události se musely týkat buď ultralehkých letadel s maximální vzletovou hmotností do 600 kg, nebo letadel všeobecného letectví GA s maximální vzletovou hmotností do 2250 kg, a zprávy musely obsahovat dostatek informací pro provedení smysluplné analýzy. Celkem bylo do analýzy zahrnuto 18 závěrečných zpráv týkajících se ultralehkých letadel a 68 závěrečných zpráv týkajících se letadel GA. Data byla získána pečlivým manuálním pročtením a sběrem informací z každé relevantní zprávy a následně byla strukturována do přehledné tabulky. U každé události byly zaznamenány klíčové parametry: přesné datum a země události, kategorie letadla dle MTOW a jeho imatrikulační značka, vyšetřovateli stanovená hlavní příčina nebo kombinace příčin události, explicitní zmínka o vlivu větru na průběh letu či vznik události, a případně další doplňující faktory ovlivňující vznik nehody. Příčiny událostí byly pro účely následné analýzy systematicky rozděleny do pěti hlavních kategorií: 1. Nesprávná technika pilotáže zahrnující chyby v řízení, 2. Nedodržování stanovených postupů nebo limitů, 3. Podcenění meteorologických podmínek včetně větru, turbulencí, námrazy apod., 4. Technické závady na letadle neodhalené před letem, 5. Nedostatečná předletová příprava jako kontrola paliva, oleje, plánování. Následně byla provedena kvantitativní statistická analýza zaměřená na četnost událostí v jednotlivých letech a kategoriích letadel, na rozložení zjištěných příčin a především na statistické vyhodnocení explicitně zmíněného negativního vlivu větru na vznik nebo průběh analyzovaných událostí, a to odděleně pro Českou republiku a Slovensko. Pro hlubší porozumění komplexní souhře faktorů vedoucích k nehodě byly navíc detailně rozebrány tři konkrétní případy nehod ultralehkých letadel z analyzovaného souboru OK-KUU 81, OM-M919, OM-M505, u nichž hrál vítr prokazatelně významnou, i když ne nutně vyšetřovateli stanovenou primární, roli v kritických fázích letu.

Na základě poznatků získaných z teoretické rešerše a především ze závěrů analýzy nehod, která ukázala vysoký podíl událostí ovlivněných větrem, byla navržena tři potenciální technická nebo organizační řešení s cílem zlepšit informovanost pilotů ultralehkých letadel o aktuálních větrných podmínkách. Prvním návrhem bylo zavedení informační služby RADIO na vybraných neřízených plochách pro sportovní létající zařízení, která by aktivně poskytovala pilotům aktuální meteorologické informace včetně údajů o větru z přidružené stanice, což by vyžadovalo analýzu provozu na plochách, koordinaci s úřady a zajištění personálu a techniky. Druhým, jednodušším návrhem byla instalace dodatečných standardizovaných ukazatelů směru větru na oba konce vzletových a přistávacích drah na frekventovaných plochách pro lepší vizuální orientaci pilotů během vzletu a přistání. Třetím a technologicky nejpokročilejším návrhem byla podpora a případné rozšíření instalace moderních palubních elektronických letových přístrojových systémů, známých jako EFIS nebo "glass cockpit", které jsou schopny na základě dat z integrovaných senzorů jako ADAHRS a GPS vypočítat a přehledně zobrazit aktuální vektor větru přímo na primárním letovém displeji pilota. Tyto tři návrhy byly následně

systematicky a objektivně porovnány a vyhodnoceny pomocí metody vícekritériální analýzy využívající vážený rozhodovací model. Bylo definováno sedm klíčových hodnotících kritérií relevantních pro posouzení praktické využitelnosti a celkového přínosu jednotlivých řešení: 1. Dosah a pokrytí poskytovaných informací pilotům, 2. Aktuálnost a četnost dostupných dat, 3. Přesnost a detailnost údajů o větru, 4. Regulační a administrativní náročnost implementace, 5. Pořizovací a dlouhodobé provozní náklady, 6. Snadnost integrace do stávajícího provozu a intuitivnost pro pilota, 7. Celková spolehlivost a odolnost navrhovaného systému. Každému kritériu byla expertně přiřazena váha odrážející jeho relativní důležitost pro hlavní cíl práce, tedy zvýšení bezpečnosti letů. Nejvyšší váhu získala kritéria aktuálnosti a četnosti dat 25 % a přesnosti informací 20 %, následovala kritéria dosahu a pokrytí a nákladů po 15 % a regulační náročnost a integrace po 10 %, nejnižší váhu 5 % měla spolehlivost. Každé ze tří navržených řešení bylo následně ohodnoceno expertním odhadem body na standardizované škále 1 až 5 pro každé z těchto sedmi kritérií a výsledné vážené skóre pro každou variantu pak určilo nejhodnější řešení pro další zkoumání.

Poslední fází metodiky bylo experimentální ověření řešení, které bylo vícekritériální analýzou vyhodnoceno jako nejlepší, tedy palubních přístrojů EFIS. Pro ověření funkčnosti a předběžné posouzení přesnosti byla zvolena konkrétní avionika Garmin G3X, která je běžně dostupná a používaná v moderních ultralehkých letadlech a disponuje funkcí indikace větru. Byly uskutečněny dva samostatné kontrolní lety na letišti Sazená LKSA, které je typickým neřízeným letišťem s provozem ultralehkých letadel. Každý let sestával z deseti po sobě jdoucích standardních letištních okruhů, aby byly získány údaje z opakovaných vzletů, stoupání, letů po okruhu, přiblížení a přistání, a to za mírně se měnících atmosférických podmínek během trvání letu. První kontrolní let proběhl dne 11. dubna 2025 s továrním letounem Tecnam P92 Echo MK2 registrační značky OK-CUG 23, vybaveným duálním systémem Garmin G3X. Data z palubního systému Garmin byla porovnáována s údaji z pozemní meteorologické stanice GIOM 3000 umístěné přímo na budově věže letiště Sazená. Druhý kontrolní let se uskutečnil 23. dubna 2025 s letounem Bristol Classic NG5 registrační značky OK-EUI 10, rovněž vybaveným systémem Garmin G3X. Data z jeho palubního systému byla porovnáována s údaji z jiné, novější pozemní meteorologické stanice na letišti Sazená, označené ME13, a také s oficiálními meteorologickými zprávami METAR a předpověďmi TAF z nejbližšího letiště s pravidelným meteorologickým pozorováním, Praha Ruzyně LKPR, a v neposlední řadě se subjektivním hodnocením aktuálních podmínek zkušeným pilotem instruktorem, který druhý kontrolní let provedl. Během obou letů byl průběh v kabině i okolí zaznamenáván pomocí 360° akční kamery Insta360 X3 a veškerá relevantní letová data včetně vypočteného vektoru větru byla detailně logována na SD kartu přímo ze systému Garmin G3X s vysokou frekvencí. Získaná data o rychlosti a směru větru z palubních systémů i z pozemních stanic byla následně pečlivě zpracována, časově synchronizována, vizualizována do podoby časových grafů a grafů korelace a systematicky porovnána s cílem objektivně posoudit míru shody, případně systematické či náhodné odchylky a celkovou korelaci mezi jednotlivými zdroji informací v různých fázích letu.

3. Výsledky

Výzkum přinesl řadu konkrétních a detailních výsledků jak z teoretického bádání, tak především z analýzy dat a experimentálního ověření. Teoretická část poskytla ucelený a podrobný přehled problematiky vlivu větru na létání s ultralehkými letadly. Byla popsána nejen fyzikální podstata větru a jeho vznik, ale i klíčové parametry jako rychlost udávaná v různých jednotkách m/s, km/h, kt a její kvalitativní popis pomocí Beaufortovy stupnice, a směr udávaný ve stupních odkud vítr vane. Byl vysvětlen a ilustrován významný vliv čelního větru na zkrácení rozjezdu a dojezdu, zadního větru na jejich prodloužení a zejména komplexní vliv bočního větru na stabilitu a ovladatelnost při vzletu a přistání, včetně detailního popisu nezbytných korekcí pomocí křídílek a směrovky a pilotních technik jako je vzlet/přistání na vyšší rychlosti, použití skluzové metody během výdrže a přechod na kurzovou metodu po odpoutání nebo před podrovnáním pro kompenzaci snosu. Byly také rozebrány nebezpečné jevy jako mechanická turbulence vznikající třením o terén a překážky, termická turbulence způsobená nerovnoměrným ohřevem povrchu, turbulence v úplavu za jiným letadlem a nebezpečný stříh větru, tedy náhlá změna jeho rychlosti nebo směru v horizontálním či vertikálním směru. Dále byly detailně popsány dostupné metody monitorování větru: vizuální pomocí ukazatele směru větru jehož konstrukce, rozměry minimálně 3,6 m délka, 0,9 m vstupní průměr, 0,3 m výstupní průměr a barvy oranžová/bílá nebo červená/bílá jsou standardizovány předpisem L 14; získávání informací z kódovaných meteorologických zpráv METAR aktuální stav a SPECI mimořádná změna, předpovědi TAF krátký na 9h, dlouhý na 18-30h a výstrah SIGMET; a využívání informačních služeb jako je automatický ATIS na velkých letištích, letové provozní služby poskytované ŘLP/LPS včetně služby řízení ATC, letové informační služby FIS a pohotovostní služby, a specifické služby AFIS a RADIO poskytované na neřízených letištích, které předávají informace o provozu a aktuálních podmínkách včetně větru. V neposlední řadě byla vysvětlena funkce klíčových palubních systémů relevantních pro měření: Pitot-statického systému využívajícího rozdíl celkového a statického tlaku a jeho potenciální chyby při zablokování Pitotovy trubice indikace rychlosti se chová jako výškoměr nebo statických portů zamrznutí výškoměru a variometru, rychloměru rozlišujícího indikovanou rychlost IAS, kalibrovanou CAS po korekci přístrojové a polohové chyby, ekvivalentní EAS po korekci na stlačitelnost vzduchu a pravou vzdušnou rychlost TAS po korekci na hustotu vzduchu, dále traťovou rychlost GS jako TAS korigovanou o vítr a Machovo číslo jako poměr TAS k rychlosti zvuku; výškoměru fungujícího na principu aneroidní krabičky a jeho závislosti na správném nastavení barometrického tlaku QNH; variometru; GPS a GNSS systémů pro určení polohy a času a augmentačních systémů DGPS, WAAS, EGNOS pro zvýšení přesnosti; a moderních systémů ADAHRS kombinujících Air Data Computer ADC počítající výšku, rychlosti a teplotu z tlakových senzorů a Attitude and Heading Reference System AHRS využívající MEMS senzory gyroskopy, akcelerometry a magnetometry k určení polohy a orientace letadla v prostoru.

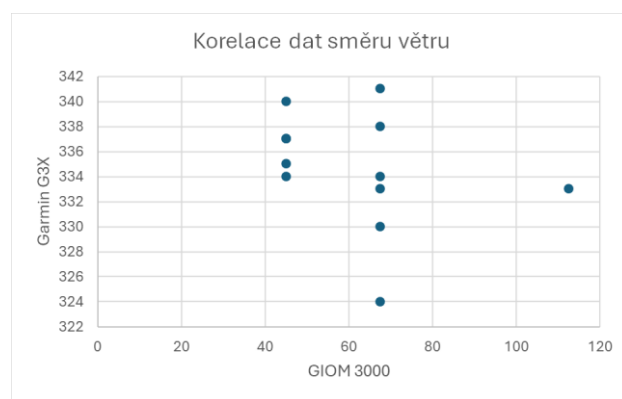
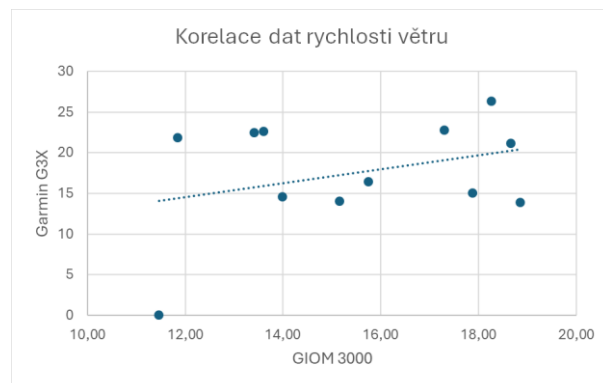
Analýza leteckých nehod a incidentů ultralehkých letadel a letadel GA za období 2019 až 2023 poskytla důležitá kvantitativní data. V České republice bylo v tomto pětiletém období zaznamenáno 17 událostí ultralehkých letadel, s nejvyšším počtem 5 událostí v roce 2020 a nejnižším 2 události

v roce 2021. Jako nejčastější primární příčina těchto událostí byla identifikována nesprávná technika pilotáže, která byla určena jako příčina v 8 případech, tedy téměř v polovině. Dalšími významnými příčinami byly podcenění meteorologických podmínek 3 případy, nedodržení předepsaných postupů 3 případy a neodhalená technická závada také 3 případy. Zásadním zjištěním analýzy byl však explicitně potvrzen významný negativní vliv povětrnostních podmínek, zejména větru, na průběh nebo vznik těchto událostí. U ultralehkých letadel v ČR mělo počasí negativní vliv na 7 ze 17 událostí, což odpovídá statisticky významnému podílu 41 %. Pro srovnání, u letadel všeobecného letectví v ČR byl tento podíl nižší, konkrétně 31 % tj. 15 z 49 událostí. Na Slovensku byla situace odlišná, s pouze jednou událostí ultralehkého letadla za celé období, která navíc nebyla ovlivněna větrem. U GA letadel na Slovensku však došlo k 19 událostem a počasí zde hrálo negativní roli přibližně u 53 % z nich. Detailní rozbory tří vybraných nehod ultralehkých letadel dále ilustrovaly komplexní souhrn faktorů. Nehoda OK-KUU 81 pád TL2000 Sting po ztrátě kontroly při letu na malé rychlosti byla primárně způsobena chybou pilota, ale silný vítr a oblačnost ztěžující orientaci byly označeny jako přispívající faktory. Nehoda OM-M919 pád MH-46 Eclipse po vysazení motoru po vzletu byla způsobena technickou závadou přepnutí motoru, ale jako spolupůsobící příčina byl identifikován vzlet se zadní složkou větru a pravděpodobně nesprávné nastavení klapek. Nehoda OM-M505 poškození Viper SD4 při odskokách během přistání byla způsobena nesprávnou technikou pilotáže, ale odehrála se za podmínek silného bočního větru s poryvy, jehož boční složka dosahovala téměř 90 % limitu letadla, což situaci výrazně zkomplikovalo. Tyto případy potvrdily, že i když vítr nemusí být hlavní příčinou, jeho zvládnutí je pro piloty ultralehkých letadel kritické a nedostatek informací o něm může vést k nehodě.

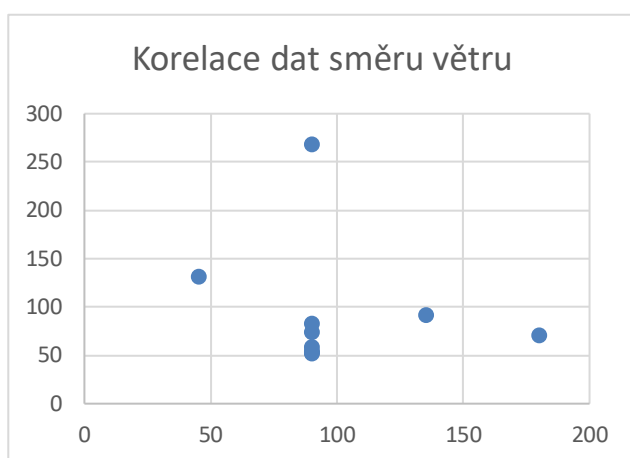
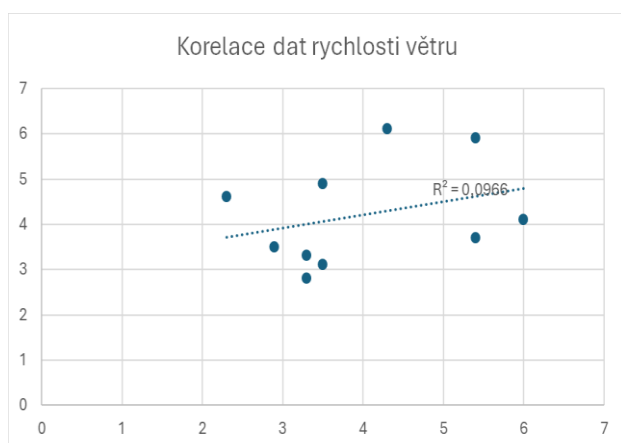
Vyhodnocení navržených řešení pomocí vícekritériální analýzy s předem definovanými váhami kritérií jednoznačně ukázalo jako nejperspektivnější variantu pro zlepšení informovanosti pilotů o větru a tím i bezpečnosti instalaci palubních přístrojů EFIS s možností indikace větru. Toto řešení získalo nejvyšší celkové vážené hodnocení 4,1 bodu. Jeho hlavními přednostmi byla nejvyšší možná známka 5 bodů v klíčových kritériích: dosah a pokrytí informace jsou dostupné kdykoliv a kdekoliv během letu, aktuálnost a četnost dat data jsou dostupná v reálném čase s vysokou frekvencí a přesnost informací moderní systémy poskytují přesný vektor větru včetně jeho grafické interpretace. Na druhém místě se umístila služba RADIO s 3,1 bodu, která sice poskytuje relevantní informace, ale je omezena na okolí letiště, závislá na dostupnosti personálu a informace nejsou kontinuální. Nejméně bodů 2,4 získaly dodatečné ukazatele směru větru, které poskytují pouze základní vizuální informaci o směru a hrubý odhad rychlosti, jsou statické a jejich viditelnost může být omezena. Ačkoliv palubní přístroje EFIS představují nejvyšší počáteční investici hodnocení 2 body v kritériu nákladů a vyžadují odbornou instalaci a schválení regulačními orgány hodnocení 2 body v regulační náročnosti, jejich celkový přínos z hlediska kvality, dostupnosti a přesnosti poskytovaných informací o větru byl vyhodnocen jako jednoznačně nejvyšší a nejlépe naplňující cíl zvýšení bezpečnosti.

Výsledky experimentálního ověření pomocí dvou kontrolních letů byly smíšené, ale poskytly cenné prvotní poznatky o reálné

funkčnosti a přesnosti palubního měření větru pomocí systému Garmin G3X.



První kontrolní let, využívající letoun Tecnam P92 Echo MK2 OK-CUG 23 a data z pozemní stanice GIOM 3000, přinesl převážně neuspokojivé výsledky. Hlavním problémem byla extrémně nízká frekvence odesílání dat ze stanice GIOM 3000, více než 4 minuty mezi záznamy, což znemožnilo smysluplné srovnání s dynamicky se měnícími údaji z palubního systému. Mezi dostupnými daty z GIOM 3000 a daty z Garmin G3X nebyla zjištěna prakticky žádná statisticky významná korelace. Údaje GIOM 3000 navíc výrazně neodpovídaly ani oficiální zprávě METAR z LKPR, ani subjektivnímu pozorování pilota během letu. Data z Garminu G3X během tohoto letu sice byla kontinuální, ale vykazovala určité systematické odchylky, například opakující se špičky hodnot rychlosti a směru větru zaznamenané během druhé okružové zatáčky a nulové nebo nesmyslné hodnoty těsně nad zemí při přistání. Tyto jevy byly přičteny komplexnímu vlivu manévru letadla náklon, změna kurzu na senzory ADAHRS a GPS a také limitům algoritmu pro výpočet větru v nízkých výškách a rychlostech, kde může být přesnost ovlivněna například přízemní turbulencí nebo stoupavými proudy.



Druhý kontrolní let, provedený s letounem Bristell Classic NG5 OK-EUI 10 a porovnávací data z Garmin G3X s novější pozemní stanicí ME13 a dalšími referenčními zdroji, přinesl podstatně povzbudivější výsledky. Stanice ME13 poskytovala data v mnohem kratších intervalech, což umožnilo lepší porovnání. Analýza ukázala stále jen slabou korelaci mezi měřením rychlosti větru z palubního systému Garmin a pozemní stanice ME13 během finálních přiblížení. Avšak u klíčového parametru, směru větru, byla pozorována výrazně lepší shoda a silnější statistická korelace mezi oběma systémy, přičemž časové průběhy měřeného směru větru se v mnoha případech dobře shodovaly. Velmi důležité bylo zjištění, že údaje o směru větru z palubního systému Garmin G3X v průběhu druhého letu lépe odpovídaly jak subjektivnímu hodnocení zkušeného pilota instruktora, který let prováděl, tak i oficiální meteorologické zprávě METAR z nedalekého letiště LKPR, než údaje z pozemní stanice ME13. Data z Garminu G3X i během druhého letu vykazovala určité výkyvy, zejména náhlá maxima indikovaného směru větru během první zatáčky každého okruhu, což bylo opět přičteno dynamice letu a principu výpočtu větru přístrojem. Celkově tedy závěry z experimentální části naznačily, že moderní palubní systémy jako Garmin G3X mají reálný potenciál poskytovat pilotům ultralehkých letadel užitečné, i když možná ne dokonale přesné, informace o aktuálním větru, zejména o jeho směru. Zároveň ale výsledky ukázaly, že pro definitivní potvrzení jejich přesnosti, spolehlivosti a limitů, obzvláště v náročnějších meteorologických podmínkách jako jsou silné turbulence nebo stříh větru, je naprosto nezbytné provést další, mnohem

rozsáhlejší a systematictější výzkum. Ten by měl zahrnovat výrazně větší počet kontrolních letů, širší spektrum běžně používaných typů ultralehkých letadel s různě umístěnými senzory, lety na různých letištích s odlišným okolním terénem a vybavených přesnými, kalibrovanými pozemními meteorologickými stanicemi s vysokou vzorkovací frekvencí.

4. Závěr

Tento článek se komplexně zabýval problematikou měření parametrů větru na palubě ultralehkých letadel s cílem přispět ke zvýšení bezpečnosti jejich provozu. Provedená analýza leteckých nehod a incidentů v České republice a na Slovensku za období 2019 až 2023 jasně potvrdila, že vítr je významným faktorem, který negativně ovlivňuje bezpečnost letů v kategorii ultralehkých letadel, neboť přispěl ke vzniku 41 % analyzovaných událostí v ČR. Ačkoliv jako nejčastější primární příčina byla identifikována nesprávná technika pilotáže, lze důvodně předpokládat, že tato selhání často souvisejí s nedostatečnou schopností pilotů adekvátně reagovat na aktuální větrné podmínky z důvodu nedostatku přesných a včasných informací.

Na základě těchto zjištění a podrobné teoretické rešerše byla navržena a systematicky porovnána tři potenciální řešení. Výsledky vícekritériální analýzy jednoznačně ukázaly, že nejperspektivnější variantou je instalace moderních palubních elektronických letových přístrojových systémů EFIS s integrovanou funkcí výpočtu a indikace složky větru. Navzdory vyšším pořizovacím nákladům a nutnosti schválení instalace toto řešení nabízí pilotovi nejpřesnější a nejaktuálnější informace o vektoru větru přímo v kokpitu, a to nepřetržitě během celého letu a nezávisle na externí infrastruktuře.

Experimentální ověření funkčnosti a předběžné posouzení přesnosti pomocí dvou kontrolních letů na letišti Sazená s využitím systémů Garmin G3X poskytlo smíšené, avšak cenné výsledky. Zatímco první let poukázal na problémy se spolehlivostí a nedostatečnou frekvencí dat z použité pozemní stanice, druhý let naznačil výrazně lepší shodu mezi palubním měřením a referenčními daty, zejména pokud jde o směr větru. Údaje z palubního systému Garmin G3X ve druhém letu lépe korelovaly s pozorováním zkušeného pilota a oficiálními meteorologickými zprávami než údaje z pozemní stanice. Tyto výsledky potvrzují potenciál moderních palubních systémů pro monitorování větru. Je však naprosto nezbytné zdůraznit, že vzhledem k omezenému rozsahu provedeného experimentu nelze vyvozovat definitivní závěry. Pro spolehlivé potvrzení přesnosti a spolehlivosti palubního měření větru za různých provozních a meteorologických podmínek, včetně turbulence a stříhu větru, je nutné provést podstatně rozsáhlejší sérii měření a testů.

Celkově lze konstatovat, že přínos tohoto článku spočívá v komplexním sumarizování a detailním rozboru dosud roztržštěných informací o vlivu větru a možnostech jeho monitorování v kontextu létání s ultralehkými letadly. Kvantifikace vlivu větru na letecké události poskytla silný argument pro potřebu řešení této problematiky. Článek detailně rozpracoval danou problematiku nad rámec běžně dostupných zdrojů a tvoří solidní teoretický i metodologický základ pro navazující práce nebo další výzkum. Především však potvrdil vysoký potenciál navrhovaného řešení – přesného palubního měření větru – pro zásadní zvýšení situačního povědomí a tím i

bezpečnosti pilotů ultralehkých letadel. Zpětná projekce potenciálu tohoto řešení do scénářů analyzovaných nehod naznačuje, že s přesnými informacemi o aktuálním větru by piloti v mnoha případech mohli reagovat adekvátněji, lépe se s vlivem větru vypořádat a potenciálně předejít nehodě nebo alespoň snížit její závažnost. Úspěšné zavedení spolehlivého a přesného palubního měření větru do praxe by mohlo výrazně přispět ke snížení počtu leteckých nehod a incidentů a tím ke zvýšení celkové bezpečnosti létání ultralehkými letadly.

Reference

- AEROWEB.CZ. Umění přistávání s bočním větrem [online]. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.aeroweb.cz/clanky/928-umeni-pristavani-s-bocnim-vetrem>.
- AirGuru.cz. Co měří rychloměr. In: AirGuru.cz | Letecké vzdělávání. [online]. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.airguru.cz/clanky/rychlomer>.
- Boldmethod. How Does An Altimeter Work?. In: Boldmethod. [online]. 2024-05-07. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.boldmethod.com/learn-to-fly/systems/how-does-an-aircraft-altimeter-work-in-flight/>.
- Civil Aviation Authority of New Zealand. Wake Turbulence. [online]. 2008. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/60.pdf>.
- Česká meteorologická společnost ČMeS. Anemometr. In: Elektronický slovník meteorologických pojmů. [online]. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.google.com/search?q=http://slovník.cmes.cz/fulltext/anemometr>.
- Česká meteorologická společnost ČMeS. Rychlost větru. In: Elektronický slovník meteorologických pojmů. [online]. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.google.com/search?q=http://slovník.cmes.cz/fulltext/rychlost%2520v%25C4%259Btru>.
- Česká meteorologická společnost ČMeS. Směr větru. In: Elektronický slovník meteorologických pojmů. [online]. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.google.com/search?q=http://slovník.cmes.cz/fulltext/sm%25C4%259Br%2520v%25C4%259Btru>.
- Česká meteorologická společnost ČMeS. Turbulence mechanická. In: Elektronický slovník meteorologických pojmů. [online]. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz/heslo/4114>.
- Česká meteorologická společnost ČMeS. Turbulence termická. In: Elektronický slovník meteorologických pojmů. [online]. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz/heslo/4118>.
- DANEY, Jean; LESCEU, Xavier. Wind shear: an invisible enemy to pilots?. In: Safety First. [online]. 2015. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://safetyfirst.airbus.com/wind-shear-an-invisible-enemy-to-pilots/>. [15] Federal Aviation Administration FAA. Windshear. Report No.: P-8740-40. [online]. 2011. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.faasafety.gov/files/gslac/library/documents/2011/aug/56407/faq%20p-8740-40%20windshear%5Bhi-res%5D%20branded.pdf>.
- Federal Aviation Administration FAA. Kapitola 8. In: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge PHAK. Vydání 2010. [online]. 2010. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/10_phak_ch_8.pdf.
- Flying Revue. Vítr za letu? Nevadí. Při startu a přistání je to ale mocný soupeř. [online]. Praha: Flying Revue, 1. 2. 2017 [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: https://www.google.com/search?q=https://www.flying-revue.cz/chytre-letani-8i%3Futm_source.
- GLAZER, Neil. Aircraft Vertical Speed Indicator VSI: How Does it Work?. In: Pilot Mall. [online]. 2023-08-17. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.pilotmall.com/blogs/news/aircraft-vertical-speed-indicator-vsi-how-does-it-work>.
- GLAZER, Neil. Pitot-Static System: How does it work?. In: PilotMall.com. [online]. 2023-08-17. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.pilotmall.com/blogs/news/pitot-static-system-how-does-it-work>.
- HABRNAL, Lukáš. Dekódování METAR a TAF. In: AirGuru.cz | Letecké vzdělávání. [online]. 2023-04-18. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.airguru.cz/clanky/metar>.
- IVAO. SIGMET explanation. In: IVAO Documentation Library. [online]. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: https://wiki.iviao.aero/en/home/training/documentation/SIGMET_explanation.
- Letecká amatérská asociace České republiky LAA ČR. Plochy pro vzlety a přistání sportovních létajících zařízení. LA 3. [online]. 2008-08-28. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.laacr.cz/predpisy/la-3/>.
- Letecká amatérská asociace České republiky LAA ČR. Požadavky letové způsobilosti SLZ Ultralehké letouny řízené aerodynamicky. UL 2 – Část I. [online]. 2019-03-26. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.laacr.cz/predpisy/ul-2-cast-i/>.
- meteogram.cz. Beaufortova stupnice rychlosti větru. In: meteogram.cz. [online]. 2021-04-26. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.meteogram.cz/beaufortova-stupnice-rychlosti-vetru/>.
- MOYANO CANO, J. Quadrotor UAV for wind profile characterization. Master's thesis, Universidad Carlos III de Madrid, Campus de Leganés, Avda. de la Universidad, 30 28911 Leganés, Spain, 2013. Dostupné z: <https://e->

- archivo.uc3m.es/rest/api/core/bitstreams/623df335-db97-49b1-931b-3dddb6d89ecf/content.
- National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing. GPS Overview. In: GPS.gov. [online]. 2021-02-22. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.gps.gov/systems/gps/>.
- National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing. Space Segment. In: GPS.gov. [online]. 2022-06-28. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>.
- National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing. Control Segment. In: GPS.gov. [online]. 2021-08-09. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>.
- National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing. Applications. In: GPS.gov. [online]. 2014-11-25. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.gps.gov/applications/>.
- National Weather Service. Origin of Wind. In: JetStream – Online School for Weather. [online]. 9. listopadu 2023. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.noaa.gov/jetstream/synoptic/origin-of-wind>.
- National Weather Service. Turbulence. In: weather.gov. [online]. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: https://www.weather.gov/source/zhu/ZHU_Training_Page/turbulence_stuff/turbulence/turbulence.htm.
- ORLITA, Michal. METAR a TAF - jak je využít i pro VFR létání?. In: Orlita.net. [online]. 2024-11. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.orlita.net/metar/>.
- Pilot Institute. The Pitot-Static System: How It Works. In: Pilot Institute. [online]. 2024-12-24. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://pilotinstitute.com/pitot-static-system/>.
- Řízení letového provozu České republiky, s.p. ŘLP ČR, s.p.. Letové provozní služby. L 11. DODATEK N – LETIŠTNÍ LETOVÁ INFORMAČNÍ SLUŽBA AFIS. [online]. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-11/data/effective/dodN.pdf>.
- Řízení letového provozu České republiky, s.p. ŘLP ČR, s.p.. Letové provozní služby. L 11. DODATEK S – POSKYTOVÁNÍ INFORMACÍ ZNÁMÉMU PROVOZU NA LETIŠTÍCH, KDE NEJSOU POSKYTOVÁNY ATS. [online]. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-11/data/effective/dodS.pdf>.
- Řízení letového provozu České republiky. Letiště. L 14. Změna 11/ČR. [online]. 2025-04-17. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-14/index.htm>.
- Řízení letového provozu ČR, s.p. ŘLP ČR, s.p.. Letové provozní služby. In: VFR příručka – Česká republika. GEN 6. [online]. 2025-04-03. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/vfrmanual/actual/gen_6_cz.html.
- SKYbrary. Meteorological Aerodrome Report METAR. In: SKYbrary Aviation Safety. [online]. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/meteorological-aerodrome-report-metar>.
- SKYbrary. Turbulence. In: SKYbrary Aviation Safety. [online]. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/turbulence>.
- Stratos Jets. Automatic Terminal Information Service ATIS. In: Stratos Jets. [online]. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.stratosjets.com/glossary/automatic-terminal-information-service-atis/>.
- The Recreational Aircraft Association. Altimeter Tune Up. [online]. 2017. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: https://www.raa.ca/magazine_pdf/tech%20articles/Altimeter%20Tune-up.pdf.
- Umweltanalysen.com. GPS - an Introduction to Global Positioning System. User segment. [online]. 2025. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: https://www.google.com/search?q=https://www.umweltanalysen.com/en/gps/%23User_segment.
- ÚSTAV PRO ODBORNÉ ZJIŠŤOVÁNÍ PŘÍČIN LETECKÝCH NEHOD ÚZPLN. ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA o odborném zjišťování příčin letecké nehody ultralehkého letounu TL2000 STING poznávací značky OK-KUU 81 u obce Vlčkovice v Podkrkonoší ze dne 24. října 2022. Sp. zn. CZ-22-1204. [online]. 2025. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.google.com/search?q=https://uzpln.cz/pdf/202501281226-ZZ%2520CZ-22-1204%2520-%2520final%2520web.pdf>.
- ÚSTAV PRO ODBORNÉ ZJIŠŤOVÁNÍ PŘÍČIN LETECKÝCH NEHOD ÚZPLN. ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA o odborném zjišťování příčin letecké nehody UL letounu MH-46 Eclipse poznávací značky OM-M919 0,8 km severně LKFR dne 29. 7. 2021. [online]. 2022. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://uzpln.cz/pdf/20220520110711.pdf>.
- ÚSTAV PRO ODBORNÉ ZJIŠŤOVÁNÍ PŘÍČIN LETECKÝCH NEHOD ÚZPLN. ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA o odborném zjišťování příčin letecké nehody letadla VIPER SD4, poznávací značky OM-M505, dne 8. 5. 2019 na LKPO. [online]. 2019. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://uzpln.cz/pdf/20191003090636.pdf>.
- VectorNav. Inertial Navigation Primer. Attitude & Heading Reference System AHRS. 1.6. [online]. 2025. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.vectornav.com/resources/inertial-navigation-primer/theory-of-operation/theory-ahrs>.