

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2025

Pavla Novotná

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

**Ověření kalibračního intervalu zařízení pro měření
meteorologické optické dohlednosti v oblasti letecké meteorologie**

Bakalářská práce

2025

Pavla Novotná

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Pavla Novotná**
Osobní číslo: **I22048**
Studijní program: **B0714A060022 Komunikační technika**
Téma práce: **Ověření kalibračního intervalu zařízení pro měření meteorologické optické dohlednosti v oblasti letecké meteorologie**
Zadávající katedra: **Katedra elektroniky a rádiových systémů**

Zásady pro vypracování

Cílem bakalářské práce je ověřit stanovené postupy a časové intervaly výrobce pro vybraný meteorologický technický prostředek, a to meteorologické zařízení pro měření MOR (meteorologická optická dohlednost) FS-11P, v procesu prediktivní a nápravné údržby. Vzhledem k tomu, že výrobce stanovil pro tento typ zařízení konkrétní časové lhůty a prodlevy pro ověřování stavu optických a elektronických komponentů, budou tedy předmětem analytické experimentální části. Toto ověření bude experimentálně řešeno na dvou identických zařízeních, přičemž jedno zařízení bude podrobena doporučeným postupům a druhé bude ponecháno bez údržby technického personálu, bude pouze pravidelně vyhodnocován stav zařízení. Jediným omezujícím faktorem je to, že každý stojí na opačné RWY letiště. Orografie v této lokalitě je však pro tento pokus marginální – v místě nejsou žádné překážky pro indifferenční expozici. Výsledkem tohoto experimentu bude potvrzeno či vyvráceno doporučení výrobce a případná diskrepance bude podkladem pro implementaci do aplikační praxe.

Rozsah pracovní zprávy: **minimálně 30 stran**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] VÁŇA, V. Mikrokontroléry ATMEL AVR: popis procesoru a instrukční soubor. Praha: BEN technická literatura, 2003. 336 s. ISBN 978-80-7300-083-0.
[2] VÁŇA, V. Mikrokontroléry ATMEL AVR: programování v jazyce C. Praha: BEN technická literatura, 2003. 216 s. ISBN 978-80-7300-102-0.
[3] VLACH, J. Řízení a vizualizace technologických procesů. Praha: BEN technická literatura, 2002. 160 s. ISBN 978-80-86056-66-X.
[4] BRTNÍK, B. Základní elektronické obvody. Praha: BEN technická literatura, 2011. 156s. ISBN 978-80-7300-408-8
[5] RIPKA, P.; TIPEK, A. Master Book of Sensors. Praha : BEN, 2003. ISBN 0-12-752184

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavel Rozsival**
Katedra elektroniky a rádiových systémů

Datum zadání bakalářské práce: **6. ledna 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

prof. Ing. Petr Doležel, Ph.D. v.r.
děkan

LS.

doc. Ing. Jan Pidanič, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 6. ledna 2025

Prohlašuji:

Práci s názvem „*Ověření kalibračního intervalu zařízení pro měření meteorologické optické dohlednosti v oblasti letecké meteorologie*“ jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 16. 05. 2025

Pavla Novotná

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě jsem vděčná svému vedoucímu bakalářské práce (PR) a všem kantorům na Fakultě elektrotechniky a informatiky, kteří byli motivující a flexibilní po celou dobu mého studia, čehož si nesmírně vážím.

Dále bych chtěla vyzdvihnout odborné zkušenosti a pracovní možnosti, které mi poskytl a předal můj bývalý nadřízený na technickém oddělení (ZM).

A v neposlední řadě bych ráda poděkovala své mamince (MN) a partnerovi (AB) za veškerou důvěru, podporu a neutuchající trpělivost, kterou mi nejen během studia poskytují.

ANOTACE

Cílem bakalářské práce bylo ověřit stanovené postupy a časové intervaly výrobce pro vybraný meteorologický technický prostředek, konkrétně zařízení pro měření MOR, v procesu prediktivní údržby a nápravné kalibrace. V průběhu sběru dat byla porovnávána data ze zařízení udržované dle doporučení výrobce s daty ze zařízení, které mělo proměnné intervaly údržby. Z výsledků je zřejmé, že interval kalibrace vyhovuje jen za podmínky, že je interval údržby zkrácen.

KLÍČOVÁ SLOVA

dohlednost, MOR, meteorologie, ovlivnění optického senzoru, letectví

TITLE

Verification of the calibration interval of equipment for measuring Runway Visual Range

ANNOTATION

The aim of the bachelor thesis was to verify the established procedures and time intervals of the manufacturer for the selected meteorological technical device, namely the MOR measuring device, in the process of predictive maintenance and corrective calibration. During our data collection, data from equipment maintained according to the manufacturer's recommendations were compared with data from equipment that had variable maintenance intervals. The results show that the calibration interval is satisfactory only under the condition that the maintenance interval is shortened.

KEYWORDS

visibility, MOR, meteorology, optical sensor influence, aviation

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	21
SEZNAM OBRÁZKŮ	22
SEZNAM TABULEK	23
SEZNAM GRAFŮ	23
ÚVOD.....	24
TEORETICKÁ ČÁST	26
1. Meteorologické zabezpečení	26
1.1. Meteorologická zpráva METAR	26
2. Systém AWOS	28
2.1. Meteorologické jevy a periférie systému AWOS	29
2.1.1. Teplota a vlhkost vzduchu	30
2.1.2. Kombinovaný senzor měření teploty a relativní vlhkosti HMP155	32
2.1.3. Atmosférický tlak	33
2.1.4. Letecký barometr PTB330.....	34
2.1.5. Přízemní vítr	35
2.1.6. Ultrasonický senzor měření směru a rychlosti větru WMT řady 700	36
2.1.7. Oblačnost.....	37
2.1.8. Ceilometr CL31	38
2.1.9. Meteorologická dohlednost	39
2.1.9.1. Jevy zhoršující dohlednost	41
2.1.10. RVR	42
2.1.11. Forwardscattermeter FS11P.....	43
2.1.11.1. Mechanické části	45
2.1.11.1.1. Měřicí jednotka FSM102.....	45
2.1.11.1.2. Detektor stavu počasí PWD32.....	46
2.1.11.1.3. Senzor jasů pozadí LM21	47
2.1.11.1.4. Jednotka rozhraní FSI102.....	48
2.1.11.2. Princip měření dohlednosti.....	49
2.1.11.3. Výpočet MOR	50
2.1.11.4. Vlivy okolního prostředí na měření dohlednosti	51
2.1.11.5. Kalibrace a údržba	52

3.	Metrologické zabezpečení	53
3.1.	Metrologické standardy a kalibrace.....	54
3.2.	Kalibrace.....	55
3.2.1.	Kalibrace HMP155	56
3.2.2.	Kalibrace PTB330	56
3.2.3.	Kalibrace WMT700	57
3.3.	Nejistota měření.....	57
3.4.	Chyby měření	57
	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	58
4.	Údržba a kalibrace FS11P	59
4.1.	Postup údržby FS11P dle výrobce	59
4.2.	Kalibrace FS11P dle výrobce	59
4.3.	Postup údržby FS11P uživatelem	61
4.4.	Kalibrace FS11P uživatelem.....	62
5.	Zpracování dat	63
5.1.	Příprava dat pro zpracování.....	63
5.2.	Tvorba programu	64
6.	Výsledky.....	67
6.1.	Data za první polovinu měřeného roku	68
6.2.	Data za druhou polovinu měřeného roku	70
6.3.	Data za celý měřený rok	72
	ZÁVĚR.....	74

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

Zkratka	Anglický význam	Český význam
AWOS	Automated Weather Observing System	Automatický meteorologický pozorovací systém
MOR	Meteorological Optical Range	Meteorologický optický dosah
LMS _t	/	Letecká meteorologická stanice
TAF	Terminal Aerodrome Forecast	Předpověď pro letiště
APV	/	Aplikační programové vybavení
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace civilního letectví
WMO	World Meteorological Organization	Světová meteorologická organizace
LIDAR	Light Detection and Ranging	/
RVR	Runway Visual Range	Dráhová dohlednost
CAVOK	Cloud and Visibility OK	Oblačnost a dohlednost OK
IFR	instrument flight rules	/
ČMeS	/	Český meteorologický slovník
ČMI	/	Český metrologický institut

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Radiační štít [Foto Autor]	30
Obrázek 2 – Kombinovaný senzor HMP155 [Foto Autor]	32
Obrázek 3 – Letecký barometr PTB330 [Foto Autor]	34
Obrázek 4 – Umístění WMT700 [Foto Autor]	36
Obrázek 5 – Ceilometr CL31 [Foto Autor]	38
Obrázek 6 – Transmissiometr LT31 [Foto Autor]	42
Obrázek 7 – Forwardscatterometr FS11P [Foto Autor]	43
Obrázek 8 – Umístění zařízení FS11P [12]	44
Obrázek 9 – Vysílač a přijímač FS11P [Foto Autor]	45
Obrázek 10 – Vysílač, přijímač a DRD senzor PWD32 [Foto Autor]	46
Obrázek 11 – Senzor jasu pozadí LM21 [Foto Autor]	47
Obrázek 12 – Měřicí dispozice FS11P [12]	49
Obrázek 13 – FS11P s opálovými skly [Foto Autor]	52
Obrázek 14 – Kalibrace se zaslepujícími krytkami [9]	60
Obrázek 15 – Kalibrace s opálovými skly [9]	61
Obrázek 16 – Status a kalibrace FS11P [Obrázek Autor]	62
Obrázek 17 – Soubory tvořící jeden záznam [Obrázek Autor]	63
Obrázek 18 – Náhled do datového souboru PTU (nekompletní) [Obrázek Autor]	63
Obrázek 19 – Definice datových typů [Obrázek Autor]	64
Obrázek 20 – Načtení souborů a parsování dat [Obrázek Autor]	64
Obrázek 21 – Vykreslení do grafů obstarávají knihovny Scott Plot [Foto Autor]	64
Obrázek 22 – Graf s kompletními daty za březen 2024 [Obrázek Autor]	65
Obrázek 23 – Redukovaná data za březen 2024 pouze v 8:00 UTC [Obrázek Autor]	65
Obrázek 24 – Výběrový cyklus [Obrázek Autor]	66
Obrázek 25 – Uložení do souboru [Obrázek Autor]	66
Obrázek 26 – Náhled do již exportovaných dat v Excelu [Obrázek Autor]	66

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Tvorba zprávy METAR; vzor [1]	27
Tabulka 2 – Tvorba zprávy SPECI; vzor [1]	27
Tabulka 3 – Označení množství oblačnosti v ČR [1]	37
Tabulka 4 – Označení množství oblačnosti ve zprávě METAR/SPECI [1]	37
Tabulka 5 – Jevy zhoršující dohlednost [1]	41
Tabulka 6 – Mezinárodní soustava jednotek SI [21]	54
Tabulka 7 – Doporučené lhůty kalibrace	56

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 – Rozdíl MOR v závislosti na čase	68
Graf 2 - Nárůst odchylky MOR oproti kalibračnímu faktoru.....	68
Graf 3 - Nárůst odchylky MOR u neudržovaného FS11P.....	69
Graf 4 - Nárůst kontaminace u neudržovaného FS11P	69
Graf 5 – Rozdíl MOR v závislosti na čase	70
Graf 6 - Nárůst odchylky MOR oproti kalibračnímu faktoru.....	70
Graf 8 - Nárůst kontaminace s týdenní údržbou FS11P	71
Graf 7 - Nárůst odchylky MOR s týdenní údržbou FS11P.....	71
Graf 9 - Rozdíl MOR v závislosti na míře kontaminace	72
Graf 10 – Závislost kalibrační odchylky na teplotě.....	72
Graf 11 – Závislost kalibrační odchylky na vlhkosti.....	73
Graf 12 – Rozdíl MOR v závislosti na vlhkosti	73

ÚVOD

Počasi je jedním z nejvíce diskutovaných témat ve společnosti, a to z dobrého důvodu. Má zásadní vliv na každodenní život lidí, nejen pokud jde o plánování běžných aktivit, jako je cesta do práce a zpět, ale také významně ovlivňuje určité profese, například stavebnictví nebo letectví. Počasí ovlivňuje i náš osobní život a volný čas, protože plány na venkovní aktivity často závisí na aktuálních povětrnostních podmínkách. Tento významný dopad počasí na různé aspekty lidského života činí téma meteorologie stále aktuálním a diskutovaným.

Meteorologie je vědecká disciplína, která zkoumá atmosféru Země, její složení, procesy a jevy, které se v ní odehrávají. Zaměřuje se na studium atmosférických prvků, které charakterizují aktuální stav počasí v určitém místě a čase a analyzuje různé jevy, jako jsou mlha, déšť, bouřky či optické jevy. Meteorologii můžeme dále dělit na několik odvětví, a to na fyzikální, dynamickou a synoptickou meteorologii, klimatologii a hydrometeorologii. Z aplikované meteorologie stojí za zmínku vojenská, letecká, silniční, námořní, radarová, družicová meteorologie a agrometeorologie. Meteorologové využívají pokročilé technologie, jako jsou meteorologické stanice, radiolokátory, satelity a superpočítače, aby analyzovali a předpovídali vývoj počasí a klimatu.

V rámci této práce je pro měření meteorologických jevů využit systém AWOS, který meteorologické službě poskytuje aktuální a nepřetržité informace o stavu počasí. Poskytuje data týkající se teploty, vlhkosti, tlaku, směru a rychlosti větru, výšce oblačnosti, a především také dohlednosti, která je pro tuto bakalářskou práci primární.

Dohlednost, přesněji meteorologická optická dohlednost (MOR), je kriticky důležitá zejména v letecké dopravě, kde může významně ovlivnit podmínky pro vzlet či přistání letadel. Jakákoli nepřesnost v měření může mít přímý dopad na bezpečnost letového provozu. Meteorologické senzory pro měření dohlednosti, konkrétně zařízení FS11P, jsou vystaveny různým vlivům okolního prostředí. Negativní vliv na proces měření mají zejména teplotní změny, vlhkost a látky znečišťující ovzduší, které se usazují na optických komponentech měřících zařízení. Proto je pravidelná údržba a kalibrace těchto zařízení nezbytná.

Cílem této bakalářské práce je proto ověřit stanovené postupy a časové intervaly údržby doporučené výrobcem pro meteorologické zařízení FS11P používaného k měření dohlednosti. Výrobce definoval konkrétní časové lhůty a prodlevy pro kontrolu a údržbu optických a elektronických komponentů. Tyto časové lhůty budou podrobeny analýze v experimentální

části práce. Experiment bude proveden na dvou identických zařízeních umístěných na opačných koncích vzletové a přistávací dráhy letiště. Jedno zařízení bude pravidelně podrobováno doporučeným údržbovým postupům, zatímco druhé zařízení zůstane bez údržby, s výjimkou pravidelného sledování jeho stavu. Data o teplotě, vlhkosti a atmosférickém tlaku budou rovněž shromažďována, aby bylo možné vyhodnotit vliv environmentálních faktorů na přesnost měření.

Výsledkem této práce bude vyhodnocení, zda doporučené postupy údržby a kalibrace skutečně zajišťují maximální přesnost měření dohlednosti, nebo zda je potřeba tyto postupy upravit. Získané poznatky mohou sloužit k optimalizaci pravidelnosti údržby zařízení a k vytvoření doporučeného kalibračního cyklu pro technické oddělení a uživatele meteorologických stanic. Výstupy této práce mohou přispět k vyšší kvalitě meteorologických dat, která je klíčová pro bezpečnost a efektivitu letecké dopravy, a má také široký dopad na další oblasti lidské činnosti, které jsou ovlivněny počasím.

TEORETICKÁ ČÁST

1. Meteorologické zabezpečení

V souladu s evropskou a národní legislativou pro poskytování letových navigačních služeb se zřizuje na každém letišti v České republice nepřetržitě plnohodnotné meteorologické zabezpečení s cílem neustále udržovat bezpečnost letového provozu a snižovat rizika spojená s náhlými změnami počasí. Zejména se to týká mlhy, sněžení a bouřkové činnosti.

Pro meteorologické zabezpečení jsou zpravidla dedikovány 2 pracoviště s místní působností, a to Meteorologická služebna (funkce letecký meteorolog-synoptik) a Meteorologická stanice (funkce letecký meteorolog-pozorovatel), která mohou být provozována nepřetržitě s obsluhou, částečně s obsluhou anebo v AUTO módu (bez obsluhy).

Letecký meteorolog-synoptik je odpovědný za poskytování vlastních leteckých předpovědních a výstražných meteorologických služeb a předávání dalších produktů a informací ve prospěch orgánů letových navigačních služeb, posádek letadel, pilotů, pilotů operátorů bezpilotních prostředků a ostatních oprávněných uživatelů těchto služeb v rámci daného letiště. Výstupním meteorologickým produktem je pak letištní meteorologická předpověď TAF (kódovaná meteorologická zpráva pro dané letiště).

Letecký meteorolog-pozorovatel LMSt je odpovědný za poskytování vlastních leteckých služeb leteckého meteorologického pozorování a předávání produktů a informací ve prospěch orgánů letových navigačních služeb, posádek letadel a ostatních oprávněných uživatelů těchto služeb v rámci daného letiště. Výstupním meteorologickým produktem je pak meteorologická zpráva METAR/SPECI (kódovaná, pravidelná/nepravidelná meteorologická zpráva o aktuálním počasí na letišti). [16]

1.1. Meteorologická zpráva METAR

Meteorologická zpráva METAR je standardizovaný kód používaný v leteckém meteorologickém zpravodajství pro pravidelná hlášení o aktuálním stavu počasí na letištích. Název vychází z francouzského „Message d'observation météorologique régulière pour l'aviation“, což znamená „pravidelná letecká meteorologická zpráva“. Tato zpráva obsahuje základní informace o meteorologických jevech, jako je přízemní vítr, meteorologická optická dohlednost, výška spodní základny oblačnosti a stav pokrytí oblačnosti, teplota okolního

vzduchu, rosny bod, atmosférický tlak a význačné meteorologické jevy v okolí letiště. METAR se vydává pravidelně každou půlhodinu.

Tabulka 1 – Tvorba zprávy METAR; vzor [1]

Na letišti Pardubice byly dne 8. 7. k termínu 13.00 hod ZULU zpozorovány následující meteorologické podmínky:
Vítr: 240°; 9 m.s ⁻¹
Dohlednost: ve všech směrech 15 km
Stav počasí: /
Oblačnost: 8/8 Sc 1700 m AGL
Teploty: T = + 17,2 °C, Td = + 16,8 °C
QNH: 1013,7 hPa
METAR LKPD 081300 24018KT CAVOK 17/17 Q1013 NOSIG RMK BLU BLU

V případě výrazných změn počasí, které by mohly ovlivnit bezpečnost leteckého provozu, se vydává nepravidelná zpráva označovaná jako SPECI. Tato meteorologická zpráva se vydává v případě náhlé změny meteorologických jevů podle specifických kritérií. [1]

Tabulka 2 – Tvorba zprávy SPECI; vzor [1]

Na letišti Praha-Kbely byly dne 21. 11. k termínu 14.13 hod ZULU pozorovány náhlé změny meteorologických podmínek:
vítr: 090°; 8 m.s ⁻¹ s nárazy 15 m.s ⁻¹
dohlednost: převládající 8,5 km, na sever 10 km
stav počasí: slabá sněhová přeháňka
oblačnost: 2/8 St fra 250 m, 5/8 St 450 m, 7/8 Sc 950 m AGL
teploty: T = + 20,8 °C, Td = + 19,5 °C
QNH: 1002,4 hPa
SPECI LKKB 211413 09016G30KT 8000 -SHSN FEW008 BKN015 BKN031 21/20 Q1002 RMK WHT

2. Systém AWOS

Automatizovaný meteorologický pozorovací systém AWOS (Airport Weather Observing System) je letištním meteorologickým pozemním zabezpečením a je určen k měření, sběru, kalkulaci a distribuci meteorologických dat, zpráv a informací pro zabezpečení řízení letového provozu. AWOS je vybaven vnějšími meteorologickými senzory, přístroji a zařízeními, nainstalovanými v referenčních místech v rámci perimetru daného letiště umožňující měření základních jevů, kterými jsou teplota okolního vzduchu, relativní vlhkost, atmosférický tlak, rychlost a směr přízemního větru, meteorologická optická dohlednost, výška spodní základny oblačnosti a její pokrytí a aktuální stav počasí. Tyto měřené hodnoty meteorologických jevů z jednotlivých senzorů jsou zasílány do centrální datové jednotky (CDU – Central Data Unit), kde jsou validovány, průměrovány, kalkulovány a distribuovány v rámci systému AWOS aplikačně programovým vybavením Avimet (APV). Systém AWOS následně automatizovaně poskytuje výstupní hodnoty pozorovateli letecké meteorologické stanice (LMSt) k jejich validaci, z čehož jsou následně generovány zprávy METAR a SPECI, které jsou dále distribuovány orgánům řízení letového provozu a případně dalším uživatelům. Systém AWOS umožňuje stálé a přesné sledování měnících se například povětrnostních podmínek v reálném čase, což je kritické zejména během vzletů a přistání, kdy mohou mít nepříznivé podmínky přímý vliv na bezpečnost letového provozu.

Systém AWOS je provozován v souladu s mezinárodními standardy a doporučeními organizací ICAO (International Civil Aviation Organization) a WMO (World Meteorological Organization). Díky tomu je zajištěna kompatibilita a konzistence měření na celosvětové úrovni, což umožňuje efektivní sdílení dat mezi letišti a meteorologickými centry. Systém je vybaven zdvojenými komunikačními linkami (metalické a rádiové spojení), záložní energetickou sítí a vnitřními akumulátory, což zajišťuje nepřerušovaný provoz i při výpadku hlavní infrastruktury.

APV Avimet je bazální součástí systému AWOS, která umožňuje zpracování, distribuci a zobrazení. Software poskytuje intuitivní a uživatelsky přívětivé rozhraní, které umožňuje operátorům, meteorologům a technickému personálu sledovat aktuální stav počasí a okamžitě reagovat na změny atmosférických podmínek. Avimet podporuje automatickou diagnostiku připojených senzorů, čímž se minimalizuje potřeba manuální údržby a zvyšuje se přesnost měření. Jednou z hlavních funkcí APV Avimet je automatizované zpracování dat

ze senzorů, jakými jsou zařízení FS11P, CL31, WMT700, HMP155 a PTB330. Software dokáže v reálném čase monitorovat stav těchto zařízení a upozornit operátory na nutnost provedení údržby. Díky této automatizaci je zajištěna vysoká spolehlivost a přesnost měřených dat a vytváření meteorologických zpráv a informací.

Jednou z nejvýznamnějších součástí APV Avimet je modul WeatherView, který poskytuje grafický přehled o aktuálních meteorologických podmínkách. Tento modul zobrazuje data v podobě grafů, časových řad a schematických přehledů, což operátorům umožňuje snadno sledovat vývoj klíčových parametrů, tzn. teplotu a vlhkost vzduchu, tlak, vítr, dohlednost a množství a výšku oblačnosti. WeatherView podporuje také zobrazení historických dat, což umožňuje analyzovat změny počasí v čase a provádět trendové analýzy. [2]

2.1. Meteorologické jevy a periférie systému AWOS

Meteorologické jevy představují projevy atmosférických procesů, které popisují stav a dynamiku atmosféry v daném čase a místě. *„Tyto jevy jsou pozorovány na meteorologických stanicích a v jejich okolí s výjimkou oblaků. Patří k nim především meteory, jako jsou např. mlha, déšť, bouřka, sněhová pokrývka, zákal a duha, a dále jiné jevy, např. nárazovitý vítr, dohlednost apod.“* [3]

„Oproti tomu meteorologické prvky jsou fyzikální charakteristikou stavu atmosféry, např. teplota, vlhkost a tlak vzduchu nebo atm. jev, např. výskyt oblaků, mlhy, srážek, bouřek apod. Soubor meteorologických prvků v určitém místě a čase charakterizuje počasí.“ [3]

Mezi základní měřené meteorologické jevy a prvky systému AWOS patří teplota a vlhkost vzduchu, tlak, rychlost a směr větru, dohlednost, výška a množství oblačnosti a výskyt tuhých či kapalných srážek. Tyto veličiny tvoří základní informace pro pozorování a předpověď počasí, čímž jsou nepostradatelné nejen pro leteckou dopravu, ale i pro širokou škálu dalších odvětví, která jsou ovlivněna atmosférickými podmínkami. Pro přesné a spolehlivé měření těchto veličin využívá systém AWOS definovanou síť senzorů, přístrojů a zařízení, které tvoří jeho periférie. Objektivita a míra přesnosti je dána typem jednotlivých periférií.

2.1.1. Teplota a vlhkost vzduchu

Teplota je jedním ze základních meteorologických prvků, který vyjadřuje míru tepla ve vzduchu. Základní jednotkou v soustavě SI je Kelvin (K), v evropské meteorologii se nejčastěji používá Celsiova stupnice (°C). K měření teploty vzduchu se využívají teploměry, které musí být chráněny před přímým slunečním zářením, ale zároveň musí být v dobrém tepelném kontaktu s okolním vzduchem, proto se umisťují do tzv. Stevensovy meteorologické budky či radiačního štítu.



Obrázek 1 – Radiační štít [Foto Autor]

Tyto ochrany jsou navrženy tak, aby umožnily proudění vzduchu a zároveň chránily teploměr před přímým slunečním zářením. Aby teplo nepřitahovaly, tak jsou vždy v bílé barvě. Mimo systém se pro měření maximální a aktuální teploty používá rtuťový teploměr a pro minimální teplotu pak lihový teploměr. Tyto „skleněné“ teploměry slouží v dnešní době především pro pravidelná kontrolní a degradační měření. V rámci systému AWOS se používají elektronické teploměry, které jsou umístěny převážně v radiačních krytech. Tyto elektronické teploměry díky automatizaci sběru a zpracování dat poskytují kontinuální záznam teploty vzduchu v čase s vysokou přesností a nabízejí možnost snadného zpracování dat. Kromě teploty vzduchu ve standardní výšce 2 metry nad zemským povrchem se také měří přízemní

teplota, která je důležitá zejména pro dopravu a zemědělství. Tato teplota se měří ve výšce 5 centimetrů nad povrchem země. Pro klimatologické využití se dále měří teplota půdy, a to v hloubce -5, -10, -20, -50 a -100 centimetrů pod povrchem.

Vlhkost vzduchu je důležitým meteorologickým prvkem, který vyjadřuje obsah vodní páry ve vzduchu. Existuje několik charakteristik, které se používají k popisu vlhkosti vzduchu. Mezi ně patří absolutní vlhkost, deficit teploty rosného bodu, měrná vlhkost nebo poměrná vlhkost. Poměrná vlhkost vzduchu, často nazývaná relativní vlhkost, je nejčastěji používanou charakteristikou. Vyjadřuje poměr mezi skutečnou absolutní vlhkostí vzduchu a absolutní vlhkostí, která by byla při dané teplotě v nasyceném vzduchu. „*Je definována jako poměr skutečné hustoty vodní páry ρ_v a hustoty vodní páry ρ_{vs} ve vzduchu nasyceném vodní párou při dané teplotě. Vyjadřuje se obvykle v %, tzn. $r = \rho_v / \rho_{vs} \cdot 100 \%$.*“ [3] K měření vlhkosti vzduchu se mimo systém jako záložní či degradační postup využívají vlhkoměry, také nazývané hygrometry nebo hygrografy. Tyto přístroje pracují na principu změny fyzických vlastností materiálu, například blány nebo lidského vlasu.

V současnosti se v rámci systému AWOS využívají moderní elektronické vlhkoměry kapacitní vlhkostní čidla, například čidlo HUMICAP[®] v kombinované sondě pro měření teploty a vlhkosti Humidity and Temperature Probe HMP155 od firmy Vaisala. Tyto elektronické senzory umožňují přesné měření vlhkosti vzduchu a zaznamenávání hodnot v čase.

2.1.2. Kombinovaný senzor měření teploty a relativní vlhkosti HMP155

Systemem AWOS je využívána kombinovaná sonda HMP155 určená k měření vlhkosti a teploty vzduchu v různých meteorologických aplikacích. Princip měření vlhkosti je založen na kapacitní technologii pomocí vlhkostního čidla HUMICAP[®], který využívá tenký polymerní film citlivý na vlhkost. Tento film mění svou kapacitu v závislosti na množství absorbované vodní páry, což umožňuje přesné určení relativní vlhkosti. Měření teploty probíhá pomocí odporového platinového senzoru typu Pt100, který poskytuje vysokou přesnost a stabilitu měření. Obě čidla jsou umístěna na špičce sondy HMP155 a jsou chráněny vyměnitelným filtrem, který zabraňuje znečištění a prodlužuje životnost přístroje. HMP155 nabízí sériovou komunikaci. Díky své robustní konstrukci je tato sonda vhodná pro nepřetržité měření i v náročných podmínkách. Firma Vaisala nabízí vícero variant kombinované sondy HMP155 pro použití ve specifických podmínkách. [4]



Obrázek 2 – Kombinovaný senzor HMP155 [Foto Autor]

2.1.3. Atmosférický tlak

Atmosférický tlak, často nazývaný i barometrický tlak „je meteorologický prvek vyjadřující v daném místě atmosféry nebo na zemském povrchu statický tlak, vznikající působením síly zemské tíže na vzduchový sloupec sahající od daného místa až k horní hranici atmosféry.“ [3] Jeho význam v meteorologii spočívá v tom, že má těsnou souvislost s mnoha atmosférickými procesy. Základní jednotkou pro měření tlaku je Pascal (Pa) podle soustavy SI, avšak v meteorologii v evropských podmínkách se častěji používá hektopascal (hPa), což je násobek této základní jednotky. Případně se lze setkat s historickou jednotkou Torr, která se používá v některých státech s četnou námořní dopravou. Mimo systém se pro měření tlaku využívají kapalinové nebo deformační barometry, které dnes opět slouží už pouze ke srovnávacímu nebo degradačnímu postupu měření. K zaznamenávání průběhu tlaku v čase se používaly mikrobarografy. V dnešní době se v rámci systému AWOS opět mnohem efektivněji využívají elektronická čidla neboli digitální a analogové barometry, které měřené hodnoty elektronicky zaznamenávají. Protože hodnota tlaku je závislá na několika faktorech. Těmi může být: nadmořská výška, geografická šířka, teplota a vlhkost vzduchu. V letectví je atmosférický tlak kalkulován jako:

- a) Tlak vzduchu na stanici – „tlak vzduchu změřený na met. stanici redukovaný na teplotu rtuti 0°C a se započtenou přístrojovou opravou. Na letišti se někdy započítává ještě redukce na rozdíl výšek mezi nádobkou tlakoměru a střední výškou letiště. Tlak je označován *QFE*.“ [5]
- b) Tlak vzduchu redukovaný na hladinu moře – „tlak v hladině odpovídající střední výšce hladiny moře vypočtený z pozorovaného tlaku vzduchu na met. stanici.
 - a. Jestliže se výpočet provede podle barometrické formule, v níž se průměrná teplota vrstvy mezi stanicí a mořem určí pomocí změřené teploty vzduchu na stanici a konstantního vertikálního teplotního gradientu. Tlak je označován jako *QFF*
 - b. Jestliže se tento výpočet provede podle definičního vztahu pro mezinárodní standardní atmosféru ICAO, dostaneme tlak označováný *QNH*.“ [5]

2.1.4. Letecký barometr PTB330

Hlavním představitelem pro měření barometrického tlaku v meteorologii je elektromechanický barometr PTB330. Tento digitální přístroj využívá tlaková čidla BAROCAP[®], jejichž princip je založen na křemíkovém kapacitním senzoru pro absolutní měření atmosférického tlaku. Princip funkce je založen na změně kapacity senzoru v závislosti na aplikovaném tlaku. Čidlo BAROCAP[®] obsahuje tenkou membránu, která se deformuje pod vlivem změn tlaku, což způsobuje změnu elektrické kapacity. Tato změna je následně měřena pomocí RC oscilátoru a referenčních kondenzátorů. Přístroj vykazuje vynikající vlastnosti, například nízkou teplotní závislost, vysokou opakovatelnost a dlouhodobou stabilitu, což z něj činí dobrou volbu pro přesné meteorologické měření. Díky robustní konstrukci a odolnosti vůči mechanickým a tepelným šokům je PTB330 vhodný například v automatizovaných meteorologických stanicích nebo průmyslových prostředích. V letecké meteorologii se používají tyto barometry se třemi tlakovými senzory pro přesnost výstupních hodnot. Výstupní signál je zabezpečen pomocí sériové linky, což umožňuje flexibilní integraci do různých měřicích systémů. [4]



Obrázek 3 – Letecký barometr PTB330 [Foto Autor]

2.1.5. Přízemní vítr

„Větr obecně je pohyb vzduchu vůči zemskému povrchu s výrazně převažující horizontální složkou. Pro jeho popis užíváme vektor rychlosti větru, zkráceně vektor větru. Při měření větru rozlišujeme rychlost a směr větru. Vítr vzniká především působením horizontální složky síly tlakového gradientu, v případě gravitačního větru a konvektivních bouří rovněž horizontálními rozdíly vztlaku. Směr větru je dále určován i Coriolisovou silou a silou tření, která současně mění i jeho rychlost.“ [3]

Větrný pohyb má mnoho vlivů na život na Zemi. Například ovlivňuje teplotu těles, působí na tvorbu sněhových závějí nebo námrazy a může ovlivnit či přímo znemožnit letovou činnost.

Větrný pohyb ovlivňuje tvorbu sněhových závějí nebo námrazy, podílí se také na teplotě těles, představit si můžeme například kámen, ale i auto. Pro účely této bakalářské práce je však důležité zmínit i jeho nemalý vliv právě na přistání letounu.

„Přízemní vítr se na stanici měří v dohodnuté výšce nad zemským povrchem obvykle ve výšce 10 m, (v letectví v souladu s předpisem L3) v níž je rušivý vliv místních překážek a terénu na proudění již výrazně menší než v těsné blízkosti povrchu. Měření přízemního větru by mělo být prováděno na otevřeném prostranství v místě bez vlivu okolních překážek. Za minimální vzdálenost od překážek se považuje desetinásobek jejich výšky, doporučuje se však větší vzdálenost, zejména od překážek z převládajících směrů větru.“ [3]

V meteorologické praxi se sleduje jak směr, tak i rychlost a nárazy větru. Směr větru se určuje jako opačný směr ke směru, ve kterém vane, jednoduše řečeno směr, ze kterého vane. Rychlost větru se udává v metrech za sekundu nebo v uzlech. Pro měření větru se používají různé typy anemometrů, které lze rozdělit na mechanické a elektronické. V nedávné době byl nejčastěji používán mechanický anemometr, který měřil směr větru pomocí otočné směrovky, která se nastavuje podle směru proudnic. V současnosti se v systému AWOS používají elektronické anemometry, konkrétně ultrasonické senzory větru. V některých bazálních případech se stále používají tzv. větrné rukávy, které jsou umístěny na letištích, heliportech nebo podél silnic. Jejich použití je však pouze orientační.

2.1.6. Ultrasonický senzor měření směru a rychlosti větru WMT řady 700

Nejrozšířenějším způsobem měření tohoto jevu je přístroj WMT700 od firmy VAISALA, který využívá ultrazvukový princip měření. Tento senzor umožňuje velice přesné měření rychlosti a směru větru pomocí trojice ultrazvukových snímačů umístěných na horizontální rovině ve tvaru trojúhelníku. Každý snímač funguje zároveň jako vysílač i přijímač ultrazvukových signálů. Tato funkce umožňuje měření ve všech směrech. Uspořádání snímačů vytváří několik měřicích základen, které slouží jako referenční vzdálenosti pro výpočet větrných parametrů. Princip měření je založen na rozdílu časů, za které ultrazvukový signál přejde mezi snímači. Při bezvětří je doba přenosu signálu stejná v obou směrech. Pokud však vane vítr, dochází k ovlivnění rychlosti šíření signálu – při větru ve směru šíření se čas zkrátí, zatímco při větru proti směru šíření se prodlouží. Přístroj WMT700 měří tyto časové rozdíly a na základě nich vypočítá rychlost a směr větru. Díky absenci pohyblivých částí je WMT700 nedeterminován třením mechanických částí senzoru a nedochází k opotřebení jeho částí. Navíc může být vybaven vyhříváním, které výrazně snižuje tvorbu ledu, což zaručuje nepřetržité měření, i v náročných podmínkách. [7]



Obrázek 4 – Umístění WMT700 [Foto Autor]

2.1.7. Oblačnost

Oblačnost je výraz pro stupeň pokrytí oblohy oblaky. Někdy se také můžeme setkat s ne zcela přesným označením oblačnosti pro určitou skupinu oblaků. „*Oblak je podle definice WMO viditelná soustava nepatrných vodních kapek nebo ledových částic nebo obojího v atmosféře. Tato soustava může zároveň obsahovat i větší částice srážkové vody nebo ledu a také jiné částice pocházející např. z průmyslových exhalací, kouře nebo prachu.*“ [3] Oblačnost vzniká, když se vzduch ochladí na teplotu rosného bodu a dojde ke kondenzaci vodní páry, což často nastává při stoupání vzduchu vzhůru. Kondenzované kapky vody nebo ledové krystalky pak tvoří oblaky. Podle výšky základny se oblaky dělí na nízké (do 2 km), střední (2–6 km) a vysoké (nad 6 km). Klasifikace dále rozlišuje kupovité (cumulus) a vrstevnaté (stratus) oblaky, a také jejich složení na vodní, ledové nebo smíšené.

V České republice jsou pro detekovanou oblačnost používána tato slovní označení:

Tabulka 3 – Označení množství oblačnosti v ČR [1]

JASNO	SKORO JASNO	POLOJASNO	OBLAČNO	SKORO ZATAŽENO	ZATATŽENO
0/8	1/8–2/8	3/8–4/8	5/8–6/8	7/8	8/8

Při tvorbě zprávy METAR/SPECI se pro oblačnost však používá jiná klasifikace:

Tabulka 4 – Označení množství oblačnosti ve zprávě METAR/SPECI [1]

NCD	FEW	SCT	BKN	OVC
no cloud detected	few	scattered	broken	overcast
oblačnost nedetekována	málo oblaků	rozptýlené oblaky	téměř zataženo	zataženo
0/8	1–2/8	3–4/8	5–7/8	8/8

Výška oblačnosti se udává ve stopách [ft] nad zemí. Pro využití v oblasti meteorologického zabezpečení se k jeho detekci využívá i lidské dovednosti, a to především pro rozeznání druhu oblačnosti.

2.1.8. Ceilometr CL31

Jedním ze zástupců elektronického detektoru oblačnosti je zařízení firmy Vaisala, a to ceilometr CL31 využívající technologii LIDAR (Light Detection and Ranging) k měření výšky základny oblaků, vertikální dohlednosti a množství oblačnosti v jednotlivých vrstvách (pakliže existují). Princip funkce je založen na vysílání krátkého harmonického signálu specifické intenzity vertikálně od zemského povrchu do výšky cca 8 km. Signál procházející atmosférou je rozptylován částicemi (mlha, déšť, prach, mraky) a odražen od nich. Zpětně odražený rozptýlený signál (backscatter) je následně detekován přijímačem CL31. Časová prodleva mezi vyslaným a přijímaným signálem je použita pro výpočet (vzdálenosti) spodní výšky základny oblaků (oblačnosti). [8]

Tento konkrétní typ ceilometru CL31 je schopen detekovat až 5 vrstev oblačnosti. Současně z těchto měřených hodnot kalkuluje pokrytí oblačností (SKYCON). Ve ztížených meteorologických podmínkách, kdy je spodní výška mraků v minimálních možných měřených výškách nebo splývá s mlhou, CL 31 poskytuje data o vertikální dohlednosti, což je vlastně meteorologická optická dohlednost ve vertikálním směru. [8]



Obrázek 5 – Ceilometr CL31 [Foto Autor]

2.1.9. Meteorologická dohlednost

Dohlednost je důležitý parametr ovlivňující veškerý pohyb každodenního života, aniž by si to většina z nás vůbec uvědomovala. Hodnoty dohlednosti mohou hrát zásadní roli při různých situacích a klíčových rozhodnutích. Ovlivňuje nejen pozemskou dopravu, zejména silniční, ale také i leteckou. Především v letecké oblasti se však častěji používá anglický termín – visibility.

Podle Světové meteorologické organizace je dohlednost „největší vzdálenost, na kterou lze vidět a rozeznat černý předmět vhodných rozměrů umístěný u země, pokud je pozorován za denního světla proti obloze horizontu, nebo který je možné vidět a rozeznat v noci, pokud je umělé osvětlení na úrovni normálního denního světla. Pro letecké účely je za dohlednost považována větší z:

a) Největší vzdálenosti, na kterou je možné spolehlivě vidět a rozeznat na světlém pozadí černý předmět vhodných rozměrů umístěný u země.

b) Největší vzdálenosti, na kterou je možné spolehlivě rozeznat na neosvětleném pozadí světla o svítivosti přibližně 1 000 cd.

Tyto dvě vzdálenosti jsou odlišné v atm. podmínkách charakterizovaných stejným koeficientem zeslabení. Vzdálenost a) objektivizuje meteorologický optický dosah (MOR) a vzdálenost b) kolísá v závislosti na intenzitě osvětlení pozadí.“ [3]

V meteorologické terminologii se používá pouze pojem dohlednost a ta může mít různé druhy.

- a) **Meteorologickou** dohlednost určuje pozorovatel vlastním okem, a to ve vlastní rovině. V denní době ji určí jako největší vzdálenost, na kterou je možno spolehlivě rozeznat černý předmět o velikosti 0.5° až 5° u zemského povrchu na pozadí mlhy či oblohy. V nočních hodinách jde o největší vzdálenost, na kterou je možnost spolehlivě rozeznat stálá a určitá světla s málo proměnlivou svítivostí.
- b) **Převládající** dohlednost je ta, která se nachází na víc než polovině pozorovaného letištního prostoru.
- c) **Minimální** dohlednost má dvě pravidla. Musí být menší než 5.000 metrů a zároveň musí být alespoň o polovinu menší než převažující dohlednost.
- d) **Dráhová** dohlednost je obdobou meteorologické dohlednosti, ale je měřena danými senzory na konkrétním letišti zpravidla na úrovni prahu vzletové a přistávací dráhy.

- e) **Vertikální** dohlednost označuje vertikálu, na níž je ještě možno rozlišit tmavý předmět. Tato dohlednost se používá zejména při určování spodní základny oblačnosti, případně při mlze nebo jiných zhoršujících podmínkách, jako je například silný déšť, což zapříčiňuje nemožnost základnu určit.
- f) **Letová** dohlednost se měří z letadel za letu a označuje vzdálenost, na kterou je možné dohlédnout z kokpitu. Závisí však na tom, jakou oblačností daný letoun prolétává.
- g) **Technická** dohlednost je vzdálenost, na kterou lze dobře rozeznat světelné zdroje, důležitá je zde však i barva světla. [19]

MOR ovlivňuje všechny zúčastněné ve vzdušném prostoru, od pilotů dopravních, ultralehkých i vojenských letadel, přes parašutisty, až personál zabezpečující provoz v daném vzdušném prostoru, a to od samotné meteorologické služby, přes osvětlovače, letecké návodčí, údržbu vzletové a přistávací dráhy (VPD) až po řízení letového provozu.

Vzhledem k výše uvedenému je zřejmé, že MOR, společně s výškou základny oblačnosti CLOUDBASE je bez přístrojového vybavení velice subjektivní záležitostí při pozorování a je nutné pro bezpečnost letového provozu používat kombinaci elektronických senzorů, přístrojů a zařízení k jejich detekci, včetně případné kalkulace z těchto meteorologických jevů.

Dohlednost je často nesprávně zaměňována s viditelností, proto je důležité tyto dva pojmy od sebe rozlišovat. „*Viditelnost nezohledňuje dohlednost a určuje, zda daný předmět vidíme bez toho, jaká je dohlednost. Tato může být výborná, ale například v noci předmět neuvidíme vlivem špatné viditelnosti.*“ [19]

2.1.9.1. Jevy zhoršující dohlednost

„V meteorologické službě tak označujeme souhrn jevů v atmosféře nebo na zemském povrchu, které jsou pozorovány na meteorologických stanicích a v jejich okolí s výjimkou oblaků. Patří k nim především meteory, jako jsou např. mlha, déšť, bouřka, sněhová pokrývka, zákal a duha, a dále jiné jevy, např. nárazovitý vítr, výborná dohlednost apod. U meteorologických jevů met. pozorovatelé zaznamenávají časové údaje o jejich trvání, vzdálenost od místa pozorování a jejich intenzitu. Někteří autoři považují meteorologické jevy za meteorologické prvky v širším smyslu.“ [3]

Tabulka 5 – Jevy zhoršující dohlednost [1]

BLIŽŠÍ URČENÍ JEVU		JEV		
INTENZITA NEBO BLÍZKOST JEVU (1)	POPIS JEVU (2)	SRÁŽKY (3)	ZAKALENÍ (4)	OSTATNÍ (5)
- slabý (á,é) (bez indikátoru) mírný (á,é)	MI přízemní	DZ mrholení	BR* kouřmo	PO* dobře vyvinuté prachové/písečné víry
	BC pásy, chuchvalce	RA déšť SN sníh	FG* mlha FU* kouř	SQ* húlava
+ silný (á,é)	PR částečně pokrývající plochu	SG sněhová zrna IC* ledové jehličky (krystaly)	VA* vulkanický popel DU* rozsáhlý prach	FC* nálevkovitý oblak (tornádo/vodní smršť)
	DR nízko zvířený	PL zmrzlý déšť	SA* písek HZ* zákal	SS písečná vichřice
VC v blízkosti	BL* zvířený SH přeháňka TS* bouřka FZ namrzající	GR kroupy GS malé kroupy a/nebo sněhové/námrazové krupky UP ** neidentifikované srážky		DS prachová vichřice

2.1.10. RVR

Definice dle Českého Meteorologického slovníku říká, že je to „vzdálenost, na kterou pilot letadla nacházejícího se na ose vzletové nebo přistávací dráhy, vidí denní dráhové označení nebo návěstidla ohraničující vzletovou nebo přistávací dráhu, nebo vyznačující její osu.“ [3]

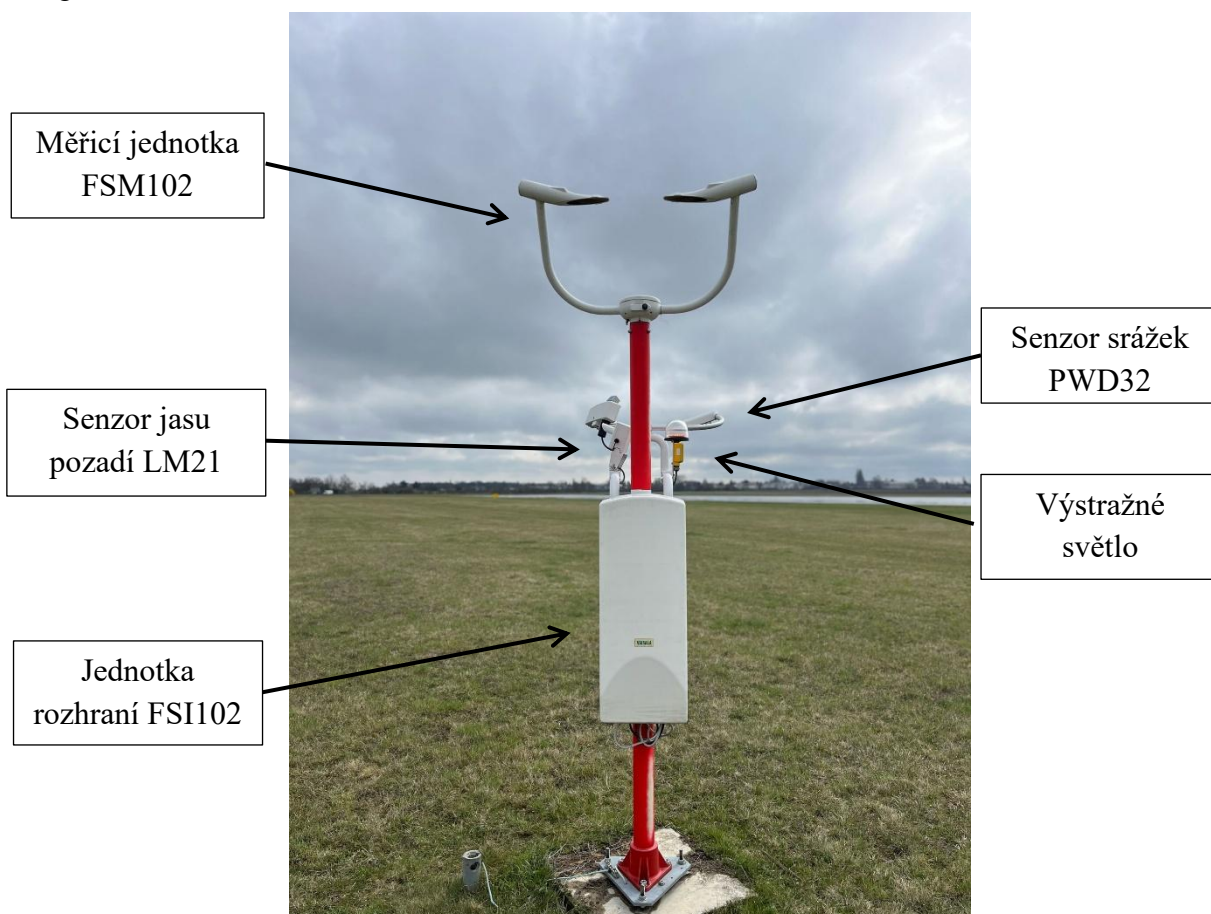
RVR nelze stanovit pozorováním nebo měřením meteorologického parametru. Jde o kalkulační hodnocení, založené na fyzikálních a biologických faktorech, jako jsou jas pozadí, osvětlení letištní dráhy a dalších provozních faktorů. Nejvýznamnější faktor je měření MOR. Pro poskytování leteckých meteorologických informací pro tento faktor se používají v současnosti 2 druhy zařízení podle způsobu měření MOR. Jedná se o Transmissiometry (metoda měření průzračnosti atmosféry) a Forwardscattermetry (metoda dopředného rozptylu světelného paprsku).



Obrázek 6 – Transmissiometr LT31 [Foto Autor]

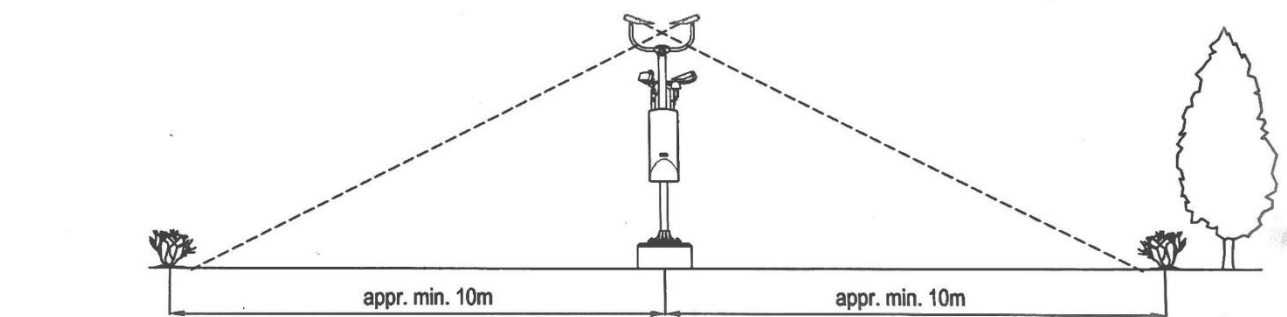
2.1.11. Forwardscattermeter FS11P

Zařízení FS11P celým názvem kombinovaný Forwardscattermeter s detektorem stavu počasí Visibility & Present Weather Sensors, je pokročilé víceúčelové zařízení navržené především pro automatické meteorologické stanice. FS11P je určen primárně k měření dohlednosti, což zajišťuje pomocí principu dopředného rozptylu světla (forward scatter), to mu umožňuje měřit meteorologický optický dosah (MOR) detekce až do 75 km. Navíc integruje funkce pro detekci aktuálního stavu počasí, včetně detekce a kvantifikace kapalných a tuhých srážek. Zařízení musí být doplněno o senzor jasu pozadí, který umožňuje měření intenzity okolního osvětlení. Tato funkce je klíčová pro aplikace, jako je určování dráhové dohlednosti (Runway Visual Range, RVR) na letištích. FS11P je navržen tak, aby poskytoval spolehlivá data i v náročných podmínkách. Je snadno integrován do meteorologických systémů, který kalkuluje RVR. Data ze zařízení tvoří také část automaticky generované meteorologické zprávy METAR, která je vyžadována Světovou meteorologickou organizací (World Meteorological Organization (WMO)). [9]



Obrázek 7 – Forwardscattermetr FS11P [Foto Autor]

Umístění senzoru FS11P by mělo splňovat podmínky vyobrazené na obrázku uvedeném níže kvůli eliminaci a narušení požadovaného rozptylu paprsku.



Obrázek 8 – Umístění zařízení FS11P [12]

2.1.11.1. Mechanické části

2.1.11.1.1. Měřicí jednotka FSM102

FSM102 obsahuje tyto klíčové komponenty potřebné pro měření dohlednosti:

- a) Vysílač FST102: Tento modul vysílá infračervené světelné impulzy, které se rozptýlí na částicích v atmosféře (např. prach, mlha, srážky). Rozptýlený signál je klíčový pro měření dohlednosti.
- b) Přijímač FSR102: Přijímač zachycuje rozptýlené světlo a převádí jej na elektrický signál, který je následně zpracován pro výpočet dohlednosti.
- c) Řídicí deska FSC102: Řídicí deska obsahuje mikroprocesor, který spravuje všechny operace měření, zpracování dat a komunikaci se zbytkem systému.

Optické části jsou navrženy tak, aby byly chráněny před nepříznivými vlivy prostředí, například zvířený prach, sníh a déšť. Kromě toho jsou optické komponenty vybaveny vyhřívacími prvky, které zajišťují jejich provozuschopnost i za nízkých teplot a zabraňují kondenzaci vlhkosti na jejich povrchu. [9]



Obrázek 9 – Vysílač a přijímač FS11P [Foto Autor]

Jednotka FSM102 je umístěna na sklápěcím trubkovém stožáru, který je vyroben z kompozitních materiálů, zejména laminátu. Laminát je použit z důvodu jeho vysoké pevnosti, ale zároveň i křehkosti. Právě jeho vlastnost křehkosti by se pozitivně odrazila v případě potencionální srážky s letounem. Dále se používá z důvodu nízké hmotnosti a odolnosti vůči korozi, jelikož je zařízení vystavené nepříznivým povětrnostním podmínkám. Sklápěcí mechanismus umožňuje snadné sklopení pro účely údržby, tudíž není nutná demontáž celé konstrukce v případě servisu zařízení.

2.1.11.1.2. Detektor stavu počasí PWD32

Senzor PWD32 je kombinované zařízení určené k určení stavu počasí a druhů srážek pomocí technologie dopředného rozptylu světla a DRD kapacitního detektoru. Princip funkce je založen na infračervených LED diodách, které vysílají světelný paprsek do prostoru měření. Část tohoto světla je rozptylována na částicích, jako jsou dešťové kapky, sněhové vločky nebo mlha. Rozptýlené světlo je detekováno přijímačem, který analyzuje změny intenzity a časování signálu, což umožňuje určení intenzity a typu srážek. Pro zvýšení přesnosti měření obsahuje senzor také kapacitní dešťové čidlo RAINCAP[®], který detekuje množství vody na měřicí plošce pomocí změn kapacitance. Tento signál doplňuje data získaná z optického měření. To umožňuje rozlišit mezi různými typy srážek, například mezi deštěm a sněhem. Díky kombinaci těchto metod je zařízení schopno přesně měřit srážky i za proměnlivých povětrnostních podmínek a poskytuje spolehlivá data pro meteorologické stanice. [9], [10]



Obrázek 10 – Vysílač, přijímač a DRD senzor PWD32
[Foto Autor]

2.1.11.1.3. Senzor jasu pozadí LM21

Senzor jasu pozadí LM21 je nezbytný pro kalkulaci RVR v rámci meteorologického systému. Princip funkce je založen na měření intenzity okolního světla pomocí PIN fotodiody, která zachycuje světlo dopadající pod úhlem 6° skrze 24 mm čočku. Spektrální odezva senzoru je zúžena pomocí zeleného filtru, aby se co nejvíce přiblížila citlivosti lidského oka. Díky tomu dostáváme přesné hodnocení jasu pozadí dráhy. Výstupní signál, který odpovídá intenzitě světla v cd/m^2 , je dále zpracován a přenášen do hlavní jednotky systému FS11P prostřednictvím datového rozhraní RS-485. Díky integrovaným vyhřívacím prvkům dokáže senzor odolávat náročným klimatickým podmínkám, jako je sníh, led nebo vnější kondenzace, a udržuje optiku čistou a bez překážek v referenčním prostoru, což umožňuje stabilní a přesná měření ve dne i v noci, která přispívají k bezpečnému provozu na letištích za různých světelných podmínek.

[11]



Obrázek 11 – Senzor jasu pozadí LM21
[Foto Autor]

2.1.11.1.4. Jednotka rozhraní FSI102

Jednotka zajišťuje napájení a komunikační funkce. Je běžně umístěna na stožáru vedle měřicí jednotky a skládá se z těchto komponentů:

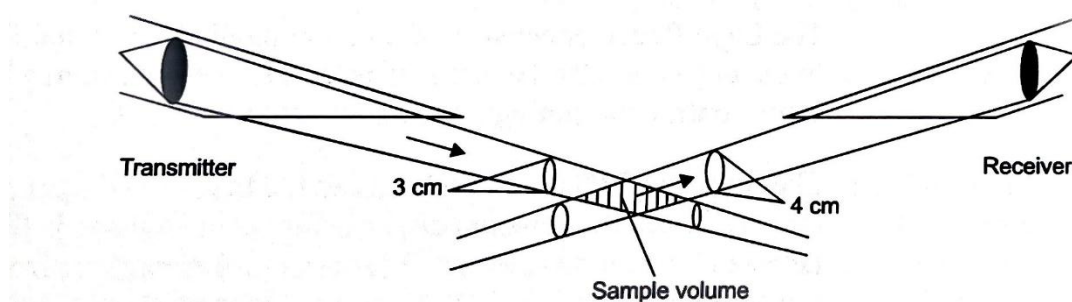
- a) Napájecí zdroj FSP103: Tento zdroj poskytuje stabilní napětí pro všechny komponenty systému, včetně vyhřívání optických částí.
- b) Komunikační rozhraní FSC202: Řídicí deska pro komunikaci spravuje přenos dat mezi senzorem a externími systémy přes sériové linky RS-232 a RS-485. Dále umožňuje připojení volitelných zařízení, jako je senzor jasu pozadí nebo výstražné světlo.
- c) Záložní baterie FSB101: Zajišťuje nepřetržitý provoz senzoru při výpadku napájení po dobu nejméně 30 minut.

System lze dále rozšířit o volitelné komponenty, jmenovitě například senzor jasu pozadí LM21 nebo srážkový senzor PWD32 (u modelu FS11P), které rozšiřují schopnosti zařízení pro přesnější měření a monitoring meteorologických podmínek.

Pro upřesnění, dohlednost v systému FS11P měří měřicí jednotka FSM102, která využívá dopředný rozptyl světelného paprsku. Senzor PWD32 je doplňkový a rozšiřuje schopnosti systému o detekci srážek. Poskytuje informaci o intenzitě a druhu srážek, dohlednost však neměří. [9]

2.1.11.2. Princip měření dohlednosti

Měření dohlednosti zařízením FS11P je založeno na principu dopředného rozptylu paprsku světla (forward scatter). Vysílač v senzoru emituje krátké infračervené světelné impulzy, které procházejí atmosférou a interagují s částicemi viz. výše. Tyto částice způsobují rozptyl světla pod různými úhly. Přijímač senzoru, umístěný pod pevným úhlem vůči vysílači, detekuje specifickou část rozptýleného světla. Tento signál je následně zesílen a filtrován, aby se odstranily nežádoucí šumy. Poté je signál převeden na digitální hodnotu, kterou mikroprocesor senzoru analyzuje a vypočítá koeficient útlumu, to nadále vede k určení meteorologického optického dosahu (MOR). Tento způsob měření je citlivý na změny v koncentraci částic ve vzduchu, což umožňuje senzoru přesně měřit dohlednost i v dynamických a nepříznivých podmínkách.



Obrázek 12 – Měřicí dispozice FS11P [12]

2.1.11.3. Výpočet MOR

Software v zařízení FS11P zajišťuje kompletní zpracování dat získaných při měření dohlednosti a srážek. Klíčovým parametrem, který zařízení měří, je meteorologický optický dosah (MOR). Jedná se o veličinu definující, jak daleko je možné vidět objekt při sníženém kontrastu způsobeném atmosférickými podmínkami. Výpočet MOR vychází z koeficientu útlumu světla (σ), který určuje, jak intenzivně je světlo rozptýleno a absorbováno částicemi v atmosféře.

Výpočet MOR probíhá podle vzorce:

$$\text{MOR} = - \ln 0.05/\sigma = 3/\sigma$$

- MOR je meteorologický optický dosah v metrech,
- σ je koeficient útlumu světla v atmosféře, vyjádřený v jednotkách per metr (m^{-1}). [13], [12]

Tento vzorec vychází z předpokladu, že při dohlednosti MOR je kontrast pozorovaného objektu snížen na 5 % jeho původní hodnoty. Software zařízení kontinuálně vyhodnocuje intenzitu rozptýleného světla a na základě změn v detekovaných signálech vypočítává aktuální hodnotu koeficientu útlumu σ . Výsledná hodnota MOR je následně interpretována jako měřítko dohlednosti za aktuálních podmínek. Zařízení FS11P je navíc vybaveno funkcí pro analýzu špiček v optických signálech, která umožňuje detekovat srážky. Srážky jako déšť nebo sníh mají jiný vliv na rozptyl světla než aerosolové částice v atmosféře a software proto tyto dva typy signálů rozlišuje.

2.1.11.4. Vlivy okolního prostředí na měření dohlednosti

a) Vliv srážek a vlhkosti

Srážky a vlhkost mohou částečně ovlivnit přesnost měření dohlednosti, jelikož přítomnost kapek deště, mlhy nebo sněhových vloček v atmosféře zvyšuje rozptyl světla, který je senzorem detekován. U zařízení FS11P, který kromě dohlednosti měří i srážky pomocí senzoru PWD32, je možné oddělit vliv srážek od celkového měření. Kapky deště či sněhu rozptylují světlo jiným způsobem než aerosolové částice v atmosféře, což umožňuje zařízení přesněji vyhodnotit dohlednost i během srážkových událostí. Vysoká relativní vlhkost může také způsobit zamlžení optických částí, ale senzory tento stav kompenzují pomocí vyhřívání, aby nedošlo ke zkreslení měření. Proto je podstatné, aby byly optické komponenty čisté a suché. Zařízení je pro uživatele vybaveno systémem pro sledování znečištění optiky.

b) Teplotní vlivy a vyhřívání optických komponentů

Teplota hraje významnou roli při měření dohlednosti, protože extrémní teploty mohou ovlivnit výkon optických komponentů senzoru. V chladných podmínkách může docházet k tvorbě námrazy nebo kondenzaci na povrchu vysílače a přijímače. To může zapříčinit zkreslení měření. Aby byla zajištěna přesnost a spolehlivost měření, je zařízení FS11P vybaveno vyhřívacími prvky, které udržují optiku v optimální provozní teplotě. Vyhřívání zabraňuje kondenzaci a námraze na čočkách a udržuje průzračnost optických cest. Tyto vyhřívací funkce jsou automaticky řízeny na základě naměřených teplot, díky čemuž zařízení funguje spolehlivě i v extrémních povětrnostních podmínkách, jako jsou sníh nebo ledové bouře.

c) Vliv znečištění optiky

Znečištění optických komponentů může výrazně ovlivnit přesnost měření dohlednosti. Prach, voda, sníh nebo jiné nečistoty na povrchu optiky mohou zkreslit rozptyl světla a způsobit nesprávné měření. Zařízení FS11P proto obsahuje systém pro monitorování čistoty optických prvků, který dokáže detekovat znečištění a upozornit na potřebu údržby. Navíc jsou optické komponenty vybaveny vyhřívacími prvky, které zabraňují kondenzaci vlhkosti a tvorbě námrazy. Pravidelná údržba a čištění optických částí jsou zásadní pro zachování přesnosti měření a správného fungování senzoru v různých meteorologických podmínkách.

2.1.11.5. Kalibrace a údržba

Pro zajištění přesných a spolehlivých měření je u zařízení FS11P nutná pravidelná kalibrace a údržba. Kalibrace je klíčová pro zachování přesnosti měření dohlednosti (MOR) a srážek, protože vlivem času, teplotních změn a prostředí může docházet k odchylkám v sensorových údajích. Doporučuje se kalibraci provádět přibližně jednou ročně nebo podle provozních podmínek zařízení. K samotné kalibraci se používají speciální kalibrační soupravy dodávané výrobcem, jako je souprava FSA11, která zahrnuje nástroje pro údržbu a tzv. „mléčná“ opálová skla (calibration diffusers). Opálová skla se používají pro simulaci rozptýleného světla a přesné nastavení senzorů, aby byly schopné měřit dohlednost podle standardních referenčních hodnot. Proces kalibrace zahrnuje prvně řádné vyčištění všech komponentů a kontrolu všech stavů udávaným statusem zařízení. Dále kontrolu výkonu vysílače a přesnosti přijímače s využitím mléčných skel, která rozptylují světlo kontrolovaným způsobem přesně dle jejich stanovené hodnoty. Software zařízení umožňuje spuštění kalibračních režimů a ověřování naměřených hodnot v porovnání s referenčními daty. Samotná kalibrace probíhá automaticky do tří minut. Výsledek může mít maximální odchylku do 3 %, ale v tomto stavu už se doporučuje přenastavení optických senzorů na danou hodnotu mléčných skel a synchronizovat tak systém do vyhovujících podmínek. Optické senzory mají v gesci většinou technická oddělení, zatímco zbytek přístrojů zmíněných výše se kalibrují v metrologických laboratořích za specifických podmínek.



Obrázek 13 – FS11P s opálovými skly [Foto Autor]

3. Metrologické zabezpečení

Metrologie, která je často zaměňovaná s meteorologií, je věda o měření různých fyzikálních veličin a standardizaci měřených jednotek a hraje klíčovou roli v moderní společnosti, kde přesná a spolehlivá měření jsou nezbytná pro vědu, průmysl i každodenní život. Od kontroly kvality výrobků po vědecké experimenty poskytuje metrologie základy pro srovnávání, standardizaci a kalibraci měřicích přístrojů a systémů. Jednou z oblastí, kde má metrologie významný dopad, je letecká metrologie, kde přesná měření parametrů, jako je dohlednost, výška, rychlost a směr větru, teplota a tlak, přímo ovlivňují bezpečnost letového provozu.

V letectví je měření dohlednosti na letištích jednou z priorit pro řízení letového provozu, zejména při vzletech a přistáních za snížené dohlednosti (lety IFR). Nepřesná data mohou vést k chybným rozhodnutím a ohrozit bezpečnost leteckého provozu. Proto se kalibrace všech senzorů, přístrojů a zařízení musí provádět pravidelně, aby byla zajištěna jejich přesnost a spolehlivost. V praxi to znamená udržování veškerých těchto přístrojů ve stavu odpovídajícím přísným mezinárodním standardům. Letiště a letecké společnosti jsou totiž povinny dodržovat metrologické normy, aby byla zajištěna bezpečnost cestujících a efektivita letového provozu. Metrologie tak přispívá k optimalizaci leteckých operací tím, že poskytuje přesná a spolehlivá data, která jsou základem rozhodovacích procesů v letectví.

3.1. Metrologické standardy a kalibrace

Metrologické jednotky a standardy jsou základem přesného a jednotného měření. Mezinárodní soustava jednotek (SI) poskytuje univerzální rámec, který zajišťuje jednotnost měření po celém světě. Jednotky, jako metr, kilogram či sekunda, jsou definovány s vysokou přesností umožňující tak sdílení a porovnání výsledků napříč obory. Nezastupitelnou roli zde hrají etalony různých úrovní, které slouží jako referenční standardy pro ověření přesnosti měřicích přístrojů. Národní etalony, udržované Českým metrologickým institutem, jsou zpravidla navázány na mezinárodní etalony, což zajišťuje globální srovnatelnost měření.

Tabulka 6 – Mezinárodní soustava jednotek SI [21]

Základní veličina	Značka	Základní jednotka	Značka
Délka	d	metr	m
Hmotnost	m	kilogram	kg
Čas	t	sekunda	s
Elektrický proud	I	ampér	A
Termodynamická teplota	T	kelvin	K
Látkové množství	n	mol	mol
Svítivost	l	kandela	cd

Pravidelná kalibrace měřicích přístrojů je nezbytná pro zachování přesnosti a spolehlivosti. Kalibrační lhůta je doba, po kterou přístroj vykazuje parametry udávané výrobcem. Její délku může uživatel přejmout od výrobce nebo si ji určí sám v závislosti na úsudku zjištěném při opakovaných kalibracích. Přístroje vystavené náročným podmínkám mohou vyžadovat častější kalibraci. Dodržování metrologických standardů a kalibrace jsou klíčové zejména v oblastech jako meteorologie a letectví, kde přesnost měření přímo ovlivňuje bezpečnost a spolehlivost provozu.

3.2. Kalibrace

„Kalibrace je činnost, která za specifikovaných podmínek v prvním kroku stanoví vztah mezi hodnotami veličiny s nejistotami měření poskytnutými etalony a odpovídajícími indikacemi s přidruženými nejistotami měření a ve druhém kroku použije tyto informace ke stanovení vztahu pro získání výsledku měření z indikace. Kalibrace určuje metrologické charakteristiky přístroje, systému nebo referenčního materiálu. Obvykle se toho dosahuje přímým porovnáním s etalony nebo certifikovanými referenčními materiály. Vystavuje se kalibrační list (ve většině případech) a kalibrované měřidlo se opatřuje štítkem.“ [14]

Kalibrace se provádí v pravidelných intervalech nebo při podezření, že přístroj vykazuje odchylky od normy. Výstupem kalibrace je kalibrační list a kalibrační štítek, který potvrzuje, že přístroj byl zkalibrován, případně najustován tak, aby odpovídal požadovaným hodnotám třídy přesnosti. Kalibrace je nezbytná pro udržení konzistentní přesnosti měření, a tím zajištění spolehlivosti přístrojů v průběhu času. Pravidelná kalibrace je klíčová zejména u přístrojů, které jsou vystaveny proměnlivým podmínkám, což může ovlivnit jejich stabilitu. Tyto kalibrace probíhají v metrologických laboratořích nebo akreditovaných metrologických střediscích, které podléhají akreditačním procesům dle definice Zákona o metrologii č. 505/1990 sb., včetně pozdějších znění a příslušných prováděcích vyhlášek. [17]

Každá metrologická laboratoř kalibruje dle schválených kalibračních postupů. Tyto postupy obsahují, jak daný druh přístroje kalibrovat. Nejprve se udělá vnější prohlídka přístroje, zdali není poškozen. Poté se provede tzv. zkouška funkčnosti, kde se prověří, že je přístroj funkční a zobrazuje všechny hodnoty, které má zobrazovat. Poté se určí nejistoty, které nám budou do kalibrace vstupovat. Přístroj ponecháme minimálně 24 hodin teplotně ustálit na okolní teplotu, ve které budeme měřit. Následně se provede samotné porovnání s etalony či referenčními prostředky. V návaznosti na metrologické zvyklosti je doporučeno kalibrovat minimálně v 5 rovnoměrně rozložených bodech v celém rozsahu měření přístroje. Na závěr se provede matematické vyhodnocení naměřených hodnot a velikost nejistoty, které přístroj ovlivňují a vydá se kalibrační list. Na základě těchto výsledků se vydá prohlášení o shodě či neshodě s technickými parametry, které udává výrobce.

Tabulka 7 – Doporučené lhůty kalibrace

Senzor	Platnost
HMP155	2 roky
PTB330	1 rok
WMT700	2 roky
CL31	1 rok
FS11P	1 rok

3.2.1. Kalibrace HMP155

U této kombinované sondy se kalibruje teplota a relativní vlhkost. Při kalibraci vlhkosti se nejprve kontroluje odchylka vlhkosti při 10 % r.v. a při 90 % r.v. Pokud je senzor HUMICAP® 180R starší 2 let, vymění se za nový (výrobce doporučuje po 1 roce). Pokud není, veličina se najustuje na správné uvedené hodnoty a poté se zkalibruje. Přičemž se kalibrační body rozloží rovnoměrně tak, aby obsahovaly minimální i maximální hodnotu, kterou může přístroj měřit. Doporučuje se ideálně v 6 bodech. Při kalibraci teploty postupujeme obdobně. Změříme minimální a maximální teplotu, a pokud jsou odchylky větší, než udává výrobce, teploměr najustujeme. Poté provedeme kalibraci v doporučeném počtu 5 rovnoměrně rozložených bodů, přičemž měříme minimální a maximální teplotu a 0 °C.

3.2.2. Kalibrace PTB330

Senzor slouží k měření barometrického tlaku vzduchu. Před kalibrací tlaku nejprve nastavíme maximální hodnotu tlaku 1100 hPa a necháme ji 3 minuty na maximální hodnotě. Poté postupně snižujeme tlak až do minimální hodnoty tlaku 500 hPa a opět necháme 3 minuty ustálit. V obou mezích sledujeme, jestli je hodnota na čidlech konstantní a výrazně nekolísá měřená hodnota. Pokud jsou odchylky udávané výrobcem v mezích, je vše v pořádku. Následně tlak vyrovnáme na aktuální hodnotu okolí též na 3 minuty. Pokud jsou odchylky větší, tlakoměr najustujeme a proces opakujeme. Poté zahájíme kalibraci. Počet kalibračních doporučených bodů je alespoň 5, přičemž by měly obsahovat minimální i maximální hodnotu, kterou může přístroj měřit.

3.2.3. Kalibrace WMT700

Daný senzor slouží k měření rychlosti a směru proudění vzduchu. Před zahájením kalibrace provedeme kontrolu souososti všech 3 ultrazvukových čidel, kde ve stojanu dodávaném výrobcem ověříme, zdali čidla nejsou vůči sobě vyosená. Totéž provedeme i po kalibraci. Senzor umístíme do měřeného prostoru za etalon tak, aby byl co nejméně ovlivňován turbulencí v úplavu za etalonovým snímačem a zároveň co nejmenší turbulencí měřeného prostoru. Pokud je etalon bezkontaktní (laserový měřič), odpadá první podmínka umístění. Poté provedeme kalibraci opět v 5 bodech, kde povinné body jsou minimální a maximální rychlost proudění.

3.3. Nejistota měření

„Nejistota měření je parametr vztahující se k výsledku měření, který charakterizuje rozptýlení hodnot, které je možné přiřadit k měřené veličině.“ [14]

Nejistota měření vyjadřuje, jak moc se naměřené hodnoty mohou lišit od skutečné hodnoty. Ovlivňují ji nejen samotné měřicí přístroje, ale i použité konstanty a korekce. Její určení vychází ze statistiky, která odhaduje pravděpodobný rozptyl hodnot a šanci, že skutečná hodnota spadá do určitého intervalu.

3.4. Chyby měření

a) Absolutní chyba

a. Absolutní chyba Δ přibližného čísla a je rovna absolutní hodnotě rozdílu přesného čísla A a přibližného čísla a $\Delta = |A - a|$

b. Je třeba rozlišovat dva případy:

i. Známe-li číslo A , vypočítáme absolutní chybu Δ snadno podle vzorce výše.

ii. Číslo A neznáme, což nastává nejčastěji. V takovém případě je vhodné zavést místo neznámé teoretické absolutní chyby Δ její odhad.

b) Relativní chyba

a. Relativní chyba δ přibližného čísla a je poměr mezi absolutní chybou Δ a absolutní hodnotou příslušného přesného čísla $\delta = \Delta / |A|$ [15]

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V praktické části této práce budeme po dobu jednoho roku v období od března 2024 do března 2025 sbírat data ze dvou zařízení FS11P, která budou umístěna ve stejných meteorologických podmínkách na vybraném letišti v České republice. Jedno ze zařízení bude pravidelně udržováno a čištěno podle doporučení výrobce (tři měsíce), zatímco druhé bude ponecháno prvně zcela bez údržby, aby se na něm mohlo akumulovat znečištění a následně bude interval upraven dle průběžných výsledků dat. Měření bude prováděno za MOR vyšší než 10 km a za stavu bez srážek či atmosférických jevů. Během tohoto měření budou také sbírána data o teplotě a vlhkosti a bude sledováno, zda tyto faktory ovlivňují měření dohlednosti v souladu s informacemi uváděnými výrobcem.

Cílem experimentu je analyzovat, jak znečištění optických komponentů ovlivňuje kvalitu měření dohlednosti a celkovou spolehlivost zařízení. Zvláštní pozornost bude věnována tomu, zda pravidelná kalibrace jednou ročně postačuje pro zajištění přesných měření i v podmínkách, kdy je zařízení vystaveno dlouhodobému znečištění. Výsledky budou použity k vyhodnocení, zda je doporučená frekvence údržby a kalibrace dostatečná, nebo zda je potřeba upravit časový interval údržby a kalibrace pro udržení optimální kvality měření jak uživatelem, tak příslušným technikem.

4. Údržba a kalibrace FS11P

4.1. Postup údržby FS11P dle výrobce

Jediným úkolem periodické údržby je čištění oken a krytů senzoru. Senzor dohlednosti FS11P je schopen kompenzovat přiměřený rozsah znečištění okna. Pokud je však okno nadměrně znečištěno, je nutno jej vyčistit. Okna a kryty musí být čištěny nejméně jednou za šest měsíců nebo i častěji, v závislosti na provozních podmínkách (například je-li senzor umístěn v blízkosti prašné silnice). V letištních podmínkách by se mělo čištění provádět **každé tři měsíce**. [12]

Postup údržby započneme opatrným očištěním okna měkkým hadříkem, který nepouští nitky, namočeným do mírného mycího roztoku. Postupujeme opatrně, abychom nepoškrábali povrch okna. Okna by měla rychle oschnout, což jen svědčí o tom, že vyhřívání okna pracuje správně. Pomocí baterky nahlédneme do krytů optiky a vizuálně zkontrolujeme, jestli je okno čisté. Kontrolujeme také, jestli na povrchu krytů a optiky není zkondenzovaná voda, usazený led nebo snůh. Po pečlivém očištění povrchu optiky zkontrolujeme ve stavové zprávě, jestli jsou hodnoty WINDOW CONT přijímače i vysílače blízké nule.

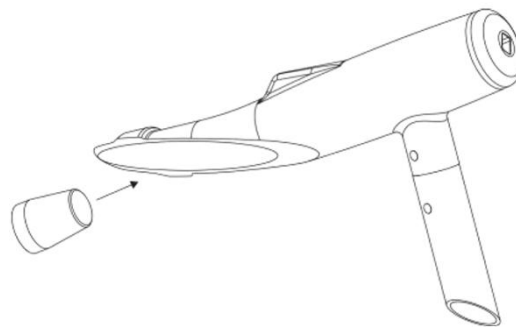
4.2. Kalibrace FS11P dle výrobce

Senzory běžně není nutno kalibrovat, pokud nebyly vyměněny některé desky obvodů nebo se nezobrazily výstrahy nebo alarmy. Kontrolu kalibrace provádíme pomocí kalibračních souprav FSA11 každý rok. Jestliže byla při kontrole kalibrace zjištěna změna menší +3 % není nutno provádět novou kalibraci, protože tato změna je v rámci rozsahu opakovatelnosti kalibrace. Kalibrace měření dohlednosti by se měla provádět při dohlednosti vyšší než 500 m a neměly by se vyskytovat žádné srážky. Kalibrace se kontroluje a seřizuje pomocí kalibrační soupravy FSA11 skládající se ze zaslepujících krytek optiky přijímače a vysílače a dvou neprůhledných skleněných destiček se známými parametry rozptylu (opálová skla). Kalibrace dohlednosti se provádí kontrolou dohlednosti ve dvou bodech:

- a) v bodu signálu nulového rozptylu – po nasazení zaslepujících krytek
- b) v bodu signálu velmi vysokého rozptylu – použitím neprůhledných destiček u optiky přijímače a vysílače. Dohlednost odpovídající signálu získaného při kalibrování pomocí neprůhledných skleněných destiček je asi 3 až 4 metry. Pokud se tato kalibrační souprava použije při srážkách, bude chyba úměrná ploše destiček pokryté kapičkami.

Kalibrace:

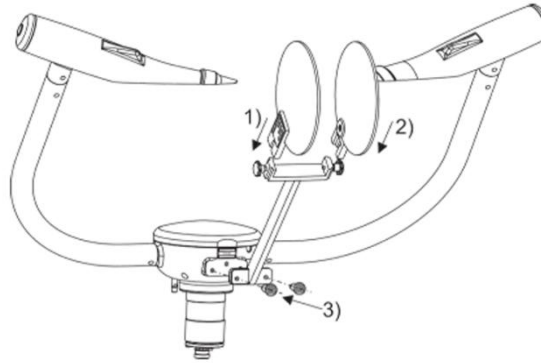
- 1) Zkontrolujeme status zařízení
- 2) Očistíme okna a zaslepíme optickou trasu
- 3) Pro zaslepení měřicí trasy nasadíme na optiku přijímače a vysílače zaslepující krytky (nulový rozptyl)



Obrázek 14 – Kalibrace se zaslepujícími krytkami [9]

- 4) Výsledná zaslepená hodnota nulového rozptylu musí být maximálně **0.0001**, viz. obrázek číslo 16, příkaz calibrate check

- 5) Zkontrolujeme stav kalibračních opálových skel
- 6) Nasadíme opálová skla s daným kalibračním faktorem (velmi vysoký rozptyl). Z optiky vysílače a přijímače odstraňte zaslepující krytky



Obrázek 15 – Kalibrace s opálovými skly [9]

- 7) Odstoupíme od senzoru, abychom uvolnili optickou trasu měření a započneme porovnání oproti kalibračnímu faktoru
- 8) Hodnota získaná z kontroly musí být blízká kalibračnímu faktoru na opálových sklech (použitý kalibrační faktor je 0.5979 viz. obrázek číslo 16, příkaz calibrate visibility 0.5979)
 - a. Je-li rozdíl hodnot větší než 3 %, je nutné hodnotu kalibračního faktoru do zařízení propsat, aby nadále nezkrášlovalo poskytované hodnoty
 - b. Je-li rozdíl hodnot menší než 3 %, rozptyl světelného paprsku je v rozsahu splňujících hodnot [12]

4.3. Postup údržby FS11P uživatelem

Postup údržby prováděné uživatelem se shodoval s postupem doporučeným od výrobce. Jediný rozdíl byl v časovém intervalu na jednom ze zařízení, u kterého byl interval buď prodloužen nebo zkrácen, aby mohlo být sledováno znečištění a zkrácení výpočtu hodnot udávající MOR. Během celé doby trvání experimentální části bakalářské práce byly na obou zařízeních sbírána data aktuální hodnoty dohlednosti, znečištění, výkonu LED diody, teploty, vlhkosti a množství přírodních překážek v referenčním prostoru.

4.4. Kalibrace FS11P uživatelem

Kalibrace uživatelem nebyla prováděna. Probíhal pouze sběr statusu a hodnot rozptylu paprsku v porovnání s kalibračním faktorem opálových skel.

```
0> status
FS11P SYSTEM STATUS: OK

Measurement unit: OK
Working hours:      3 Years 4 Months 20 Days 02:06:28
Receiver:
  window cont:      0 backscatter:  1
  DC saturation:    15 offset:      -0.15
Transmitter:
  window cont:      0 backscatter:  2
  intensity:        154
Contamination compensation: ON
Temperatures (unit C):
  surface: 28.9 CPU: 31.8 RX: 35.0 TX: 36.8 hood RX: 30.3 hood TX: 29.1
Voltages:
  +12V: 11.3 -12V:-11.5 VB: 12.6 VR:  6.7
Heater status:
  hood TX: AOFF, hood RX: AOFF, dew: AOFF

Interface unit: OK
Working hours:      3 Years 4 Months 20 Days 04:06:34
Temperatures (unit C):
  CPU: 33.4, external: /////
Humidity: ////
Press any key to continue
Voltages:
  +12V: 12.1 +12Vout: 11.9 PVin:  20.9 V5I: OFF

Background luminance sensor: OK
  window cont:      0
  contamination compensation: ON
  backscatter:      1
  CPU: 34.9 hood: 30.6
  heater status: hood: ON, dew: *ON
  V5iso: ON

PWD STATUS
VAISALA PWD32 V 2.08  2015-08-07 SN:K4340006 ID STRING: 0

SIGNAL      0.17 OFFSET  147.78 DRIFT      0.12
REC. BACKSCATTER 679 CHANGE  31
TR. BACKSCATTER  -1.1 CHANGE  0.1
LEDI  0.2 AMBL  -1.8
VBB  12.5 P12  11.4 M12  -11.3
TS   28.9 FS TS  28.8
  TB   31
TDRD  30  27 DRD   833 816 DRY   826.7
HOOD HEATERS OFF
Press any key to continue
HARDWARE :
  OK|

0> level 1
Operating level set to: 1
1> calibrate check
..... 0.000000
1> calibrate check
..... 0.592018
1> calibrate visibility 0.5979
Visibility calibration
..... DONE
```

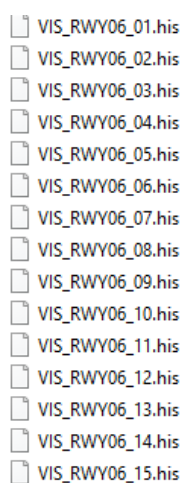
Obrázek 16 – Status a kalibrace FS11P [Obrázek Autor]

5. Zpracování dat

5.1. Příprava dat pro zpracování

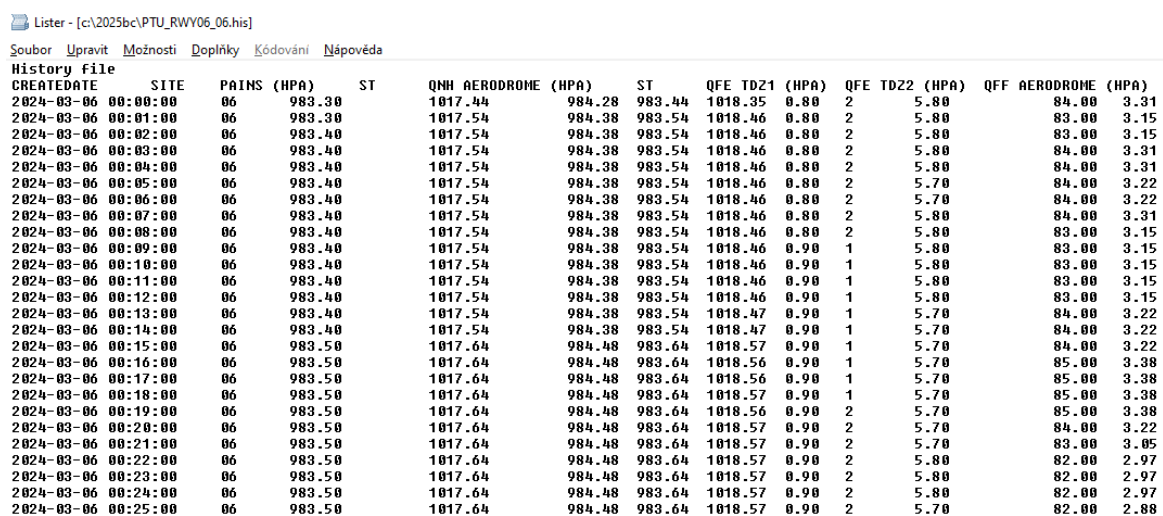
Vzhledem k velkému množství datových souborů, ze kterých byly pro potřeby práce vybírány informace pro další zpracování, byla vytvořena utilita pro automatickou extrakci dat a jejich případnou vizualizaci a export.

Datový záznam je organizován jako textové soubory. Záznam z každého zařízení je rozložen do více souborů (není to jeden dlouhý). Záznam čítá desítky souborů a ruční zpracování může být náročné a také se může vyskytnout chyba vlivem působení lidského faktoru.



Obrázek 17 – Soubory tvořící jeden záznam [Obrázek Autor]

Data vně souboru jsou textová a organizovaná do sloupců s použitím tabulátoru jako oddělovače.



File Explorer window showing a list of files and a preview of a data file. The preview shows a table with columns: CREATEDATE, SITE, PAINS (HPA), ST, QNH AERODROME (HPA), ST, QFE TD21 (HPA), QFE TD22 (HPA), QFF AERODROME (HPA).

CREATEDATE	SITE	PAINS (HPA)	ST	QNH AERODROME (HPA)	ST	QFE TD21 (HPA)	QFE TD22 (HPA)	QFF AERODROME (HPA)			
2024-03-06 00:00:00	06	983.30	1017.44	984.28	983.44	1018.35	0.80	2	5.80	84.00	3.31
2024-03-06 00:01:00	06	983.30	1017.54	984.38	983.54	1018.46	0.80	2	5.80	83.00	3.15
2024-03-06 00:02:00	06	983.40	1017.54	984.38	983.54	1018.46	0.80	2	5.80	83.00	3.15
2024-03-06 00:03:00	06	983.40	1017.54	984.38	983.54	1018.46	0.80	2	5.80	84.00	3.31
2024-03-06 00:04:00	06	983.40	1017.54	984.38	983.54	1018.46	0.80	2	5.80	84.00	3.31
2024-03-06 00:05:00	06	983.40	1017.54	984.38	983.54	1018.46	0.80	2	5.70	84.00	3.22
2024-03-06 00:06:00	06	983.40	1017.54	984.38	983.54	1018.46	0.80	2	5.70	84.00	3.22
2024-03-06 00:07:00	06	983.40	1017.54	984.38	983.54	1018.46	0.80	2	5.80	84.00	3.31
2024-03-06 00:08:00	06	983.40	1017.54	984.38	983.54	1018.46	0.80	2	5.80	83.00	3.15
2024-03-06 00:09:00	06	983.40	1017.54	984.38	983.54	1018.46	0.90	1	5.80	83.00	3.15
2024-03-06 00:10:00	06	983.40	1017.54	984.38	983.54	1018.46	0.90	1	5.80	83.00	3.15
2024-03-06 00:11:00	06	983.40	1017.54	984.38	983.54	1018.46	0.90	1	5.80	83.00	3.15
2024-03-06 00:12:00	06	983.40	1017.54	984.38	983.54	1018.46	0.90	1	5.80	83.00	3.15
2024-03-06 00:13:00	06	983.40	1017.54	984.38	983.54	1018.47	0.90	1	5.70	84.00	3.22
2024-03-06 00:14:00	06	983.40	1017.54	984.38	983.54	1018.47	0.90	1	5.70	84.00	3.22
2024-03-06 00:15:00	06	983.50	1017.64	984.48	983.64	1018.57	0.90	1	5.70	84.00	3.22
2024-03-06 00:16:00	06	983.50	1017.64	984.48	983.64	1018.56	0.90	1	5.70	85.00	3.38
2024-03-06 00:17:00	06	983.50	1017.64	984.48	983.64	1018.56	0.90	1	5.70	85.00	3.38
2024-03-06 00:18:00	06	983.50	1017.64	984.48	983.64	1018.57	0.90	1	5.70	85.00	3.38
2024-03-06 00:19:00	06	983.50	1017.64	984.48	983.64	1018.56	0.90	2	5.70	85.00	3.38
2024-03-06 00:20:00	06	983.50	1017.64	984.48	983.64	1018.57	0.90	2	5.70	84.00	3.22
2024-03-06 00:21:00	06	983.50	1017.64	984.48	983.64	1018.57	0.90	2	5.70	83.00	3.05
2024-03-06 00:22:00	06	983.50	1017.64	984.48	983.64	1018.57	0.90	2	5.80	82.00	2.97
2024-03-06 00:23:00	06	983.50	1017.64	984.48	983.64	1018.57	0.90	2	5.80	82.00	2.97
2024-03-06 00:24:00	06	983.50	1017.64	984.48	983.64	1018.57	0.90	2	5.80	82.00	2.97
2024-03-06 00:25:00	06	983.50	1017.64	984.48	983.64	1018.57	0.90	2	5.70	82.00	2.88

Obrázek 18 – Náhled do datového souboru PTU (nekompletní) [Obrázek Autor]

5.2. Tvorba programu

Pro zjednodušení procesu byla tedy napsána aplikace, která agreguje vybrané soubory do jednoho celku. Program byl napsán v C#.

Data jsou držena v datových kontejnerech:

```
List<DateTime> cas = new List<DateTime>();
List<double> tlaky = new List<double>();
List<double> teploty = new List<double>();
List<double> vlhkosti = new List<double>();
```

Obrázek 19 – Definice datových typů [Obrázek Autor]

Program používá objekt openFileDialog, který nám umožní vybrat soubory. Všechny načteme a v cyklu uložíme do datových kontejnerů:

```
openFileDialog1.InitialDirectory = "C:\\\\";
if(openFileDialog1.ShowDialog() != DialogResult.OK)
{
    return;
}
string[] filePath = openFileDialog1.FileNames;
for (int i = 0; i < filePath.Length; i++)
{
    string[] lines = File.ReadAllLines(filePath[i]);
    for (int j = 2; j < lines.Length; j++)
    {
        string[] parts = lines[j].Replace(" ", "").Split(new char[] { '\t' }, StringSplitOptions.RemoveEmptyEntries);
        if (parts.Length > 0)
        {
            cas.Add(new DateTime(int.Parse(parts[0].Substring(0, 4)), int.Parse(parts[0].Substring(5, 2)), int.Parse(p
            tlaky.Add(double.Parse(parts[2].Replace('.', ',')));
            teploty.Add(double.Parse(parts[9].Replace('.', ',')));
            vlhkosti.Add(double.Parse(parts[10].Replace('.', ',')));
        }
    }
}
```

Obrázek 20 – Načtení souborů a parsování dat [Obrázek Autor]

Program zahrnuje také vykreslení do grafů:

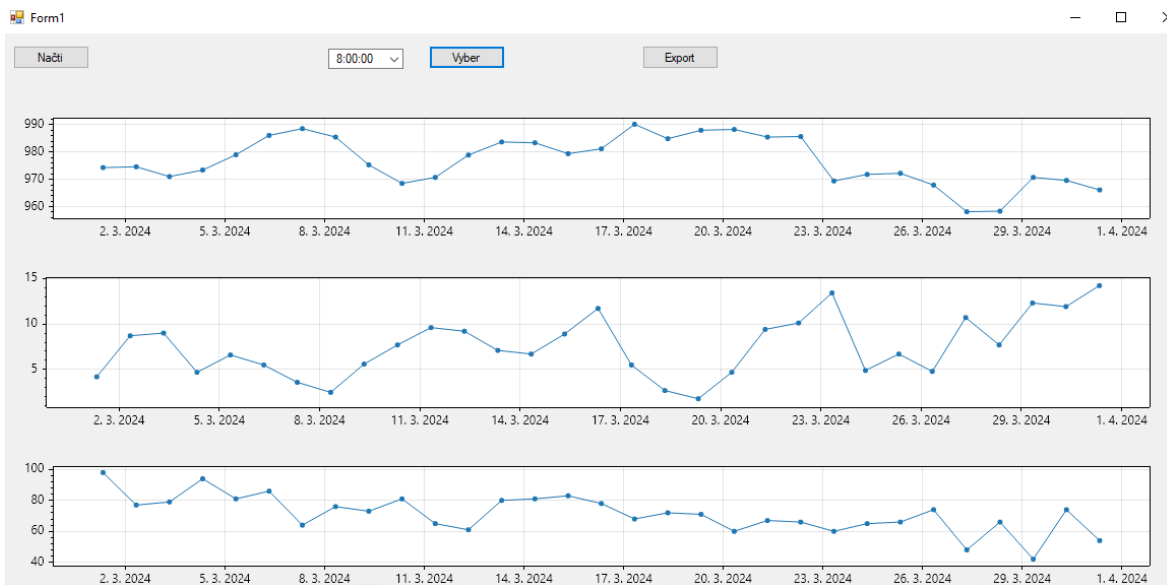
```
formsPlot1.Plot.Clear();
formsPlot2.Plot.Clear();
formsPlot3.Plot.Clear();
formsPlot1.Plot.Add.Scatter(cas, tlaky);
formsPlot2.Plot.Add.Scatter(cas, teploty);
formsPlot3.Plot.Add.Scatter(cas, vlhkosti);
formsPlot1.Plot.Axes.DateTimeTicksBottom();
formsPlot2.Plot.Axes.DateTimeTicksBottom();
formsPlot3.Plot.Axes.DateTimeTicksBottom();
formsPlot1.Plot.Axes.AutoScale();
formsPlot1.Refresh();
formsPlot2.Plot.Axes.AutoScale();
formsPlot2.Refresh();
formsPlot3.Plot.Axes.AutoScale();
```

Obrázek 21 – Vykreslení do grafů obstarávají knihovny Scott Plot [Foto Autor]

Program dokáže agregovat všechny soubory do jednoho celku, kde je možné data zředit pomocí požadované filtrace na den a čas, který je pro grafické znázornění požadován. Názorná ukázka Výběru dat PTU za celý měsíc březen viz obrázek číslo 22 a výběr dat PTU za měsíc březen pouze v čase 8:00 UTC:



Obrázek 22 – Graf s kompletními daty za březen 2024 [Obrázek Autor]



Obrázek 23 – Redukovaná data za březen 2024 pouze v 8:00 UTC [Obrázek Autor]

Filtrace je tvořena následujícím cyklem:

```

for (int i = 0; i < cas.Count; i++)
{
    if ((cas[i].Hour==dateTimePicker1.Value.Hour) &&
        (cas[i].Minute == dateTimePicker1.Value.Minute))
    {
        fcas.Add(cas[i]);
        ftlaky.Add(tlaky[i]);
        fteploty.Add(teploty[i]);
        fvlhkosti.Add(vlhkosti[i]);
    }
}

```

Obrázek 24 – Výběrový cyklus [Obrázek Autor]

Poslední krok je export a uložení do souboru:

```

using (StreamWriter sw = new StreamWriter(saveFileDialog1.FileName))
{
    for (int i = 0; i < fcas.Count; i++)
    {
        sw.WriteLine(fcas[i].ToString("yyyy-MM-dd HH:mm:ss") + "\t" + ftlaky[i].ToString("F2") + "\t" + fteploty[i].ToString("F2"))
    }
}

```

Obrázek 25– Uložení do souboru [Obrázek Autor]

Datum	Kontamir	Kalibrace	Ledka	Teplota	Tlak	Vlhkost	Dohlednc	Překážky	pozn.	Factor proti 24
04.03.2024										0,00
11.03.2024	0	0,5979	154	9,7	971,78	68	45 003			100,00
18.03.2024	0	0,5982	154	3,2	985,88	73	38 352			100,05
25.03.2024	0	0,5998	154	6,4	972,88	68	54002			100,32
01.04.2024	2	0,6021	154	13,4	962,58	64	39 079			100,70
08.04.2024	2	0,6095	154	17,5	981,38	71	40 798			101,94
15.04.2024	2	0,6008	154	9,6	978,48	71	51 624			100,49
22.04.2024	3	0,6165	155	3,7	988,08	69	54 396	1	pavučina	103,11
29.04.2024	3	0,6098	155	16,5	988,38	62	30 198			101,99
06.05.2024	3	0,6121	155	13,2	976,88	90	18 583			102,37
13.05.2024	3	0,6087	155	15,6	985,28	49	49 140			101,81
20.05.2024	5	0,6238	155	18,4	979,88	64	62 000	1	pavučina	104,33
27.05.2024	3	0,6187	155	20,4	985,88	63	48 320			103,48
03.06.2024	3	0,6154	155	15	983,68	83	34 245			102,93
10.06.2024	5	0,6201	156	16,2	973,38	56	30 332	1		103,71
17.06.2024	4	0,6263	156	21	981,88	61	53876			104,75
24.06.2024	4	0,6198	156	20,4	987,88	59	55865			103,66
01.07.2024	4	0,6234	156	19,1	980,48	74	51825			104,26
08.07.2024	4	0,6201	156	20,8	986,58	66	24852			103,71
15.07.2024	5	0,6289	156	25	982,28	53	62725			105,18
22.07.2024	5	0,6269	157	23,9	980,98	68	42319			104,85
29.07.2024	7	0,6402	157	19,6	992,28	58	///			107,07
05.08.2024	7	0,6714	157	17,2	982,88	71	///			112,29
12.08.2024	7	0,6598	157	21,7	984,88	65	///	1	vosy	110,35
19.08.2024	7	0,6472	158	14,9	982,88	///	///			108,25
26.08.2024	7	0,6598	158	16	990,48	90	///			110,35

Obrázek 26 – Náhled do již exportovaných dat v Excelu [Obrázek Autor]

6. Výsledky

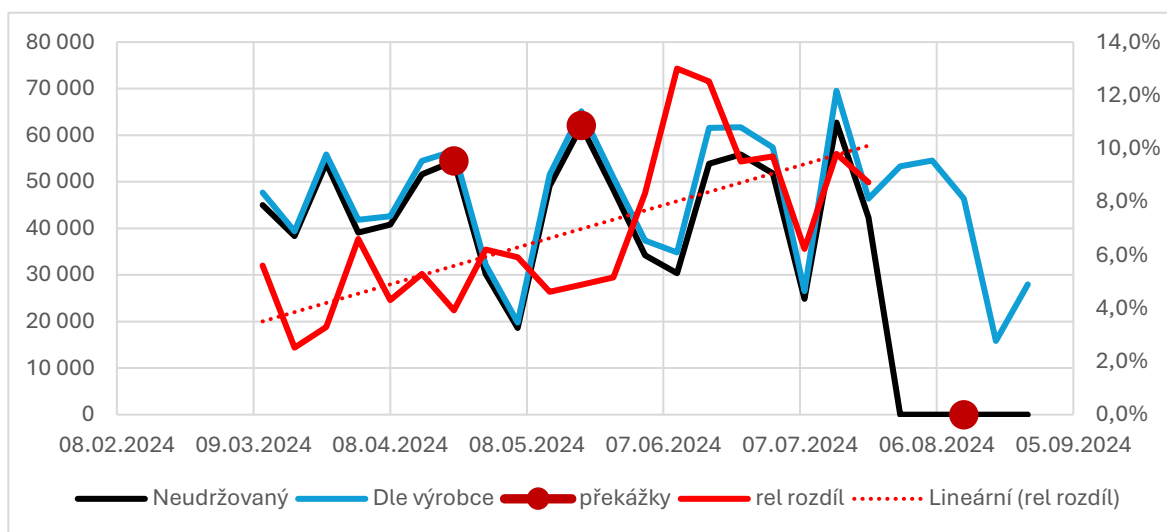
Grafy znázorňují nasbíraná data z měření, které probíhalo od začátku března 2024 do konce března 2025. V tomto období se porovnávaly dvě zařízení FS11P. Jedno bylo udržováno dle doporučení výrobce (3 měsíce), druhé mělo proměnné intervaly údržby, a to následovně:

- 1) v první polovině měřeného roku ponecháno zcela bez údržby
- 2) v druhé polovině měřeného roku zpřísněn interval na údržbu jednou týdně

V grafech jsou znázorněné převážně odchylky od kalibračního faktoru (dále také odchylka) viz. strana číslo 50, bod číslo 8)

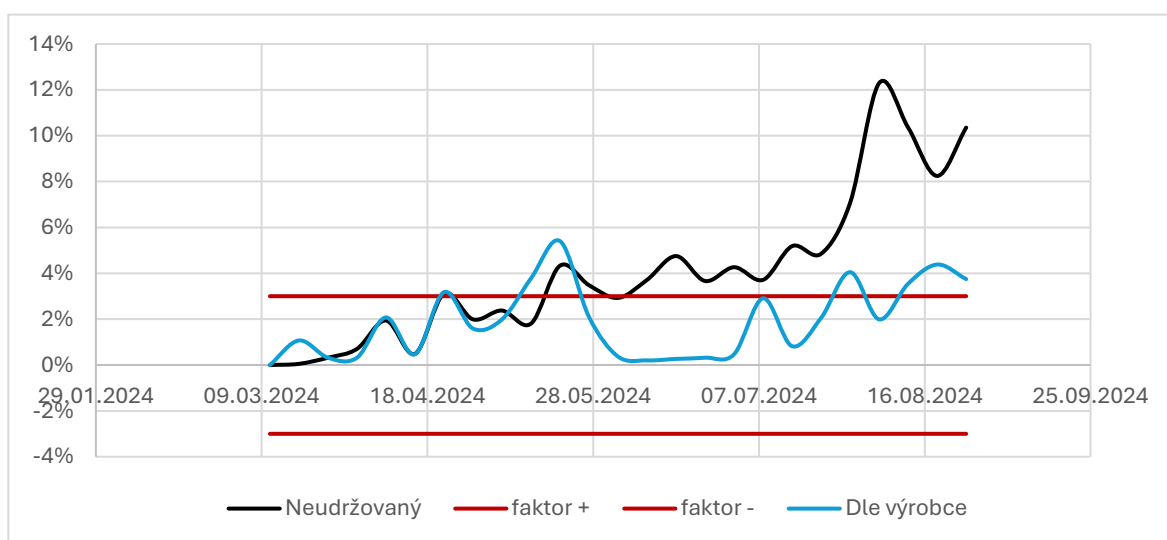
6.1.Data za první polovinu měřeného roku

Graf 1 - Rozdíl MOR v závislosti na čase



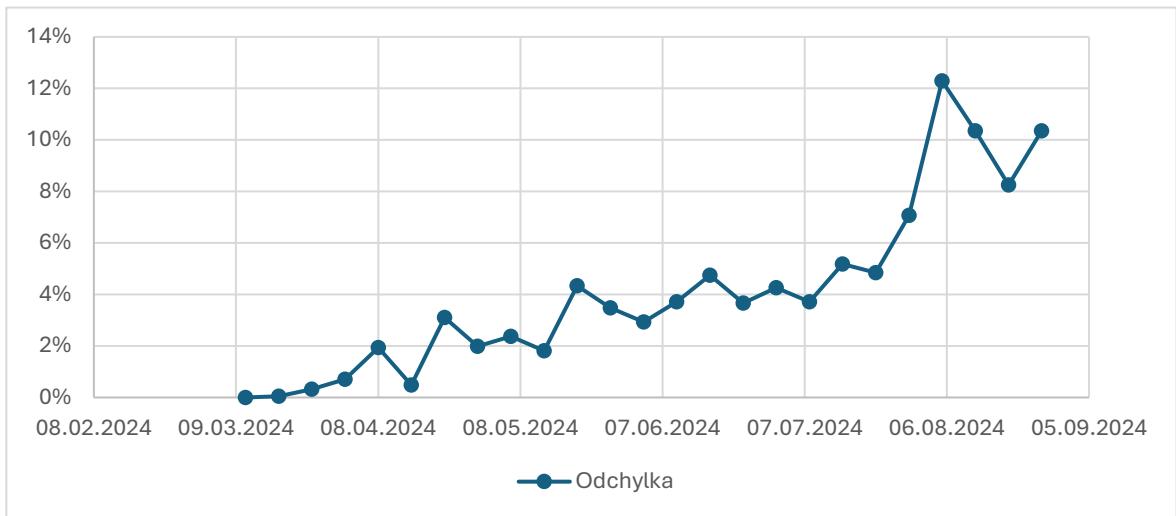
V grafu číslo 1 je znázorněn rozdíl mezi dohlednostmi v čase mezi neudržovaným zařízením a udržovaným zařízením dle časového doporučení od výrobce (3 měsíce). Trend nám znázorňuje narůstající rozdíl dohlednosti z důvody narůstající kontaminace na neudržovaném ze zařízení.

Graf 2 - Nárůst odchylky MOR oproti kalibračnímu faktoru

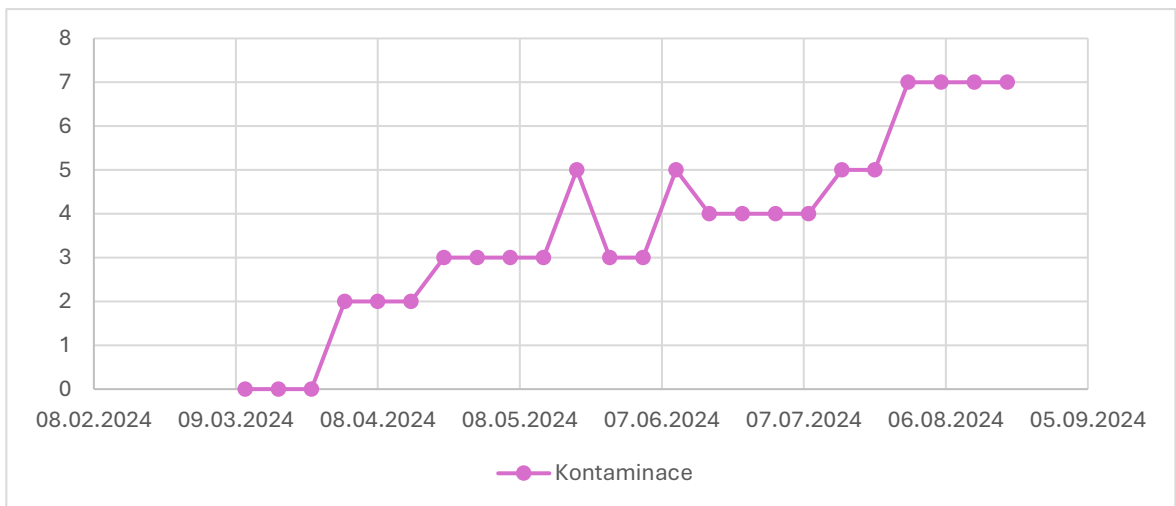


V grafu číslo 4 lze vidět, že neudržované i udržované zařízení dle výrobce překročí hranici povolené odchylky od kalibračního faktoru zhruba po dvou až třech měsících provozu.

Graf 3 - Nárůst odchyly MOR u neudržovaného FS11P



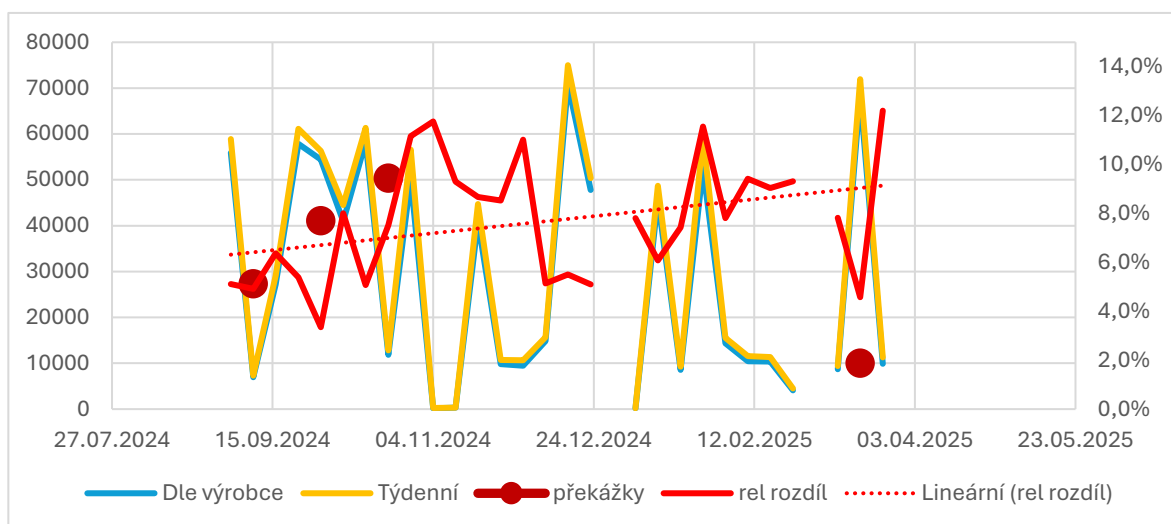
Graf 4 - Nárůst kontaminace u neudržovaného FS11P



Ze znázorněných výsledků v grafu číslo 3 a 4 je patrné, že kalibrační odchylka se zvyšuje s hodnotou kontaminace, přestože ji je samotné zařízení schopno detekovat. Hranici povolené odchyly překročí neudržované zařízení již zhruba po dvou měsících v provozu.

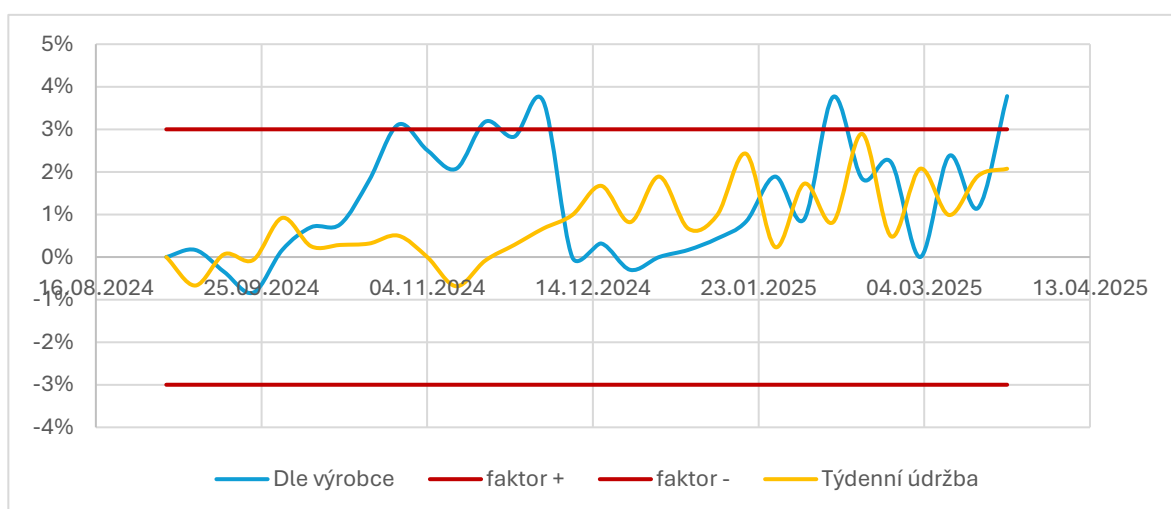
6.2.Data za druhou polovinu měřeného roku

Graf 5 - Rozdíl MOR v závislosti na čase



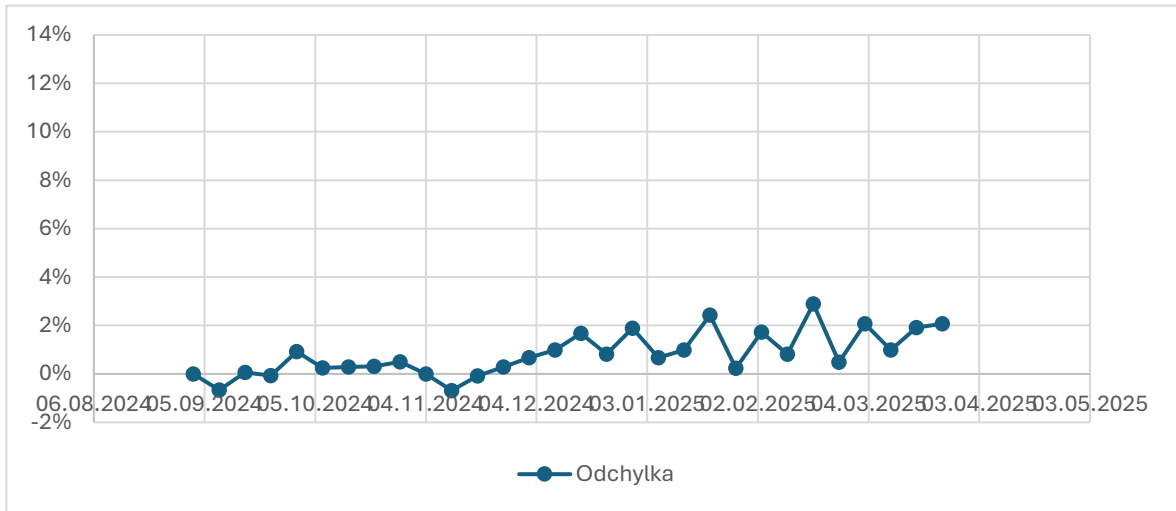
V grafu číslo 5 je znázorněn rozdíl mezi dohlednostmi v čase mezi zařízením FS11P udržovaným dle časového doporučení od výrobce a zařízením, které mělo týdenní interval údržby. Trend nám znázorňuje narůstající rozdíl dohlednosti z důvodu narůstající kontaminace na zařízení udržovaném dle doporučení výrobce. Trend však nemá tak prudký sklon, jak je znázorněn na grafu číslo 1.

Graf 6 - Nárůst odchylky MOR oproti kalibračnímu faktoru

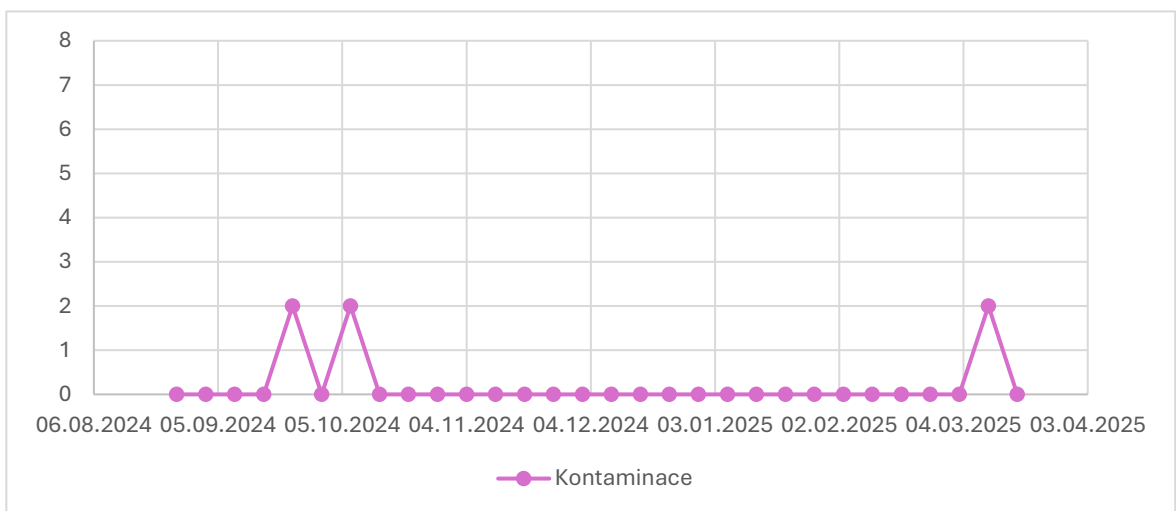


V grafu číslo 6 vidíme, že při týdenní údržbě se zařízení po celou dobu nevychýlilo mimo povolenou odchylku kalibračního faktoru na rozdíl od údržby doporučené výrobcem, kde zařízení překročilo hranici povolené odchylky již zhruba po dvou měsících.

Graf 7 - Nárůst odchylky MOR s týdenní údržbou FS11P



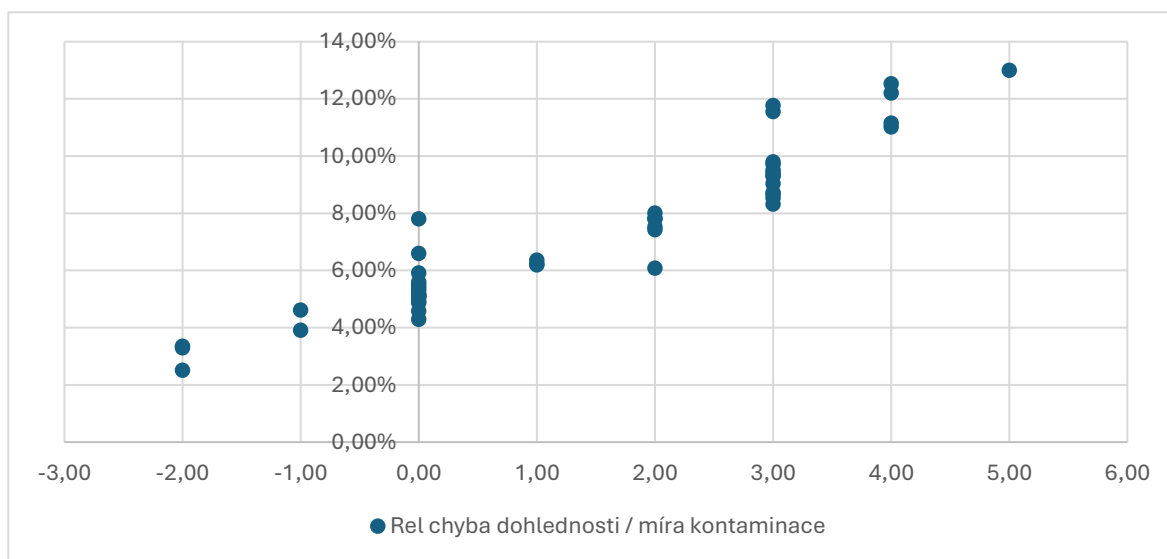
Graf 8 - Nárůst kontaminace s týdenní údržbou FS11P



Graf číslo 7 a 8 ukazuje, že zařízení během druhé poloviny měřeného roku nepřekročilo povolenou kalibrační odchylku, což je dáno pravidelnou týdenní údržbou, a tím nenarůstající kontaminací v referenčním prostoru.

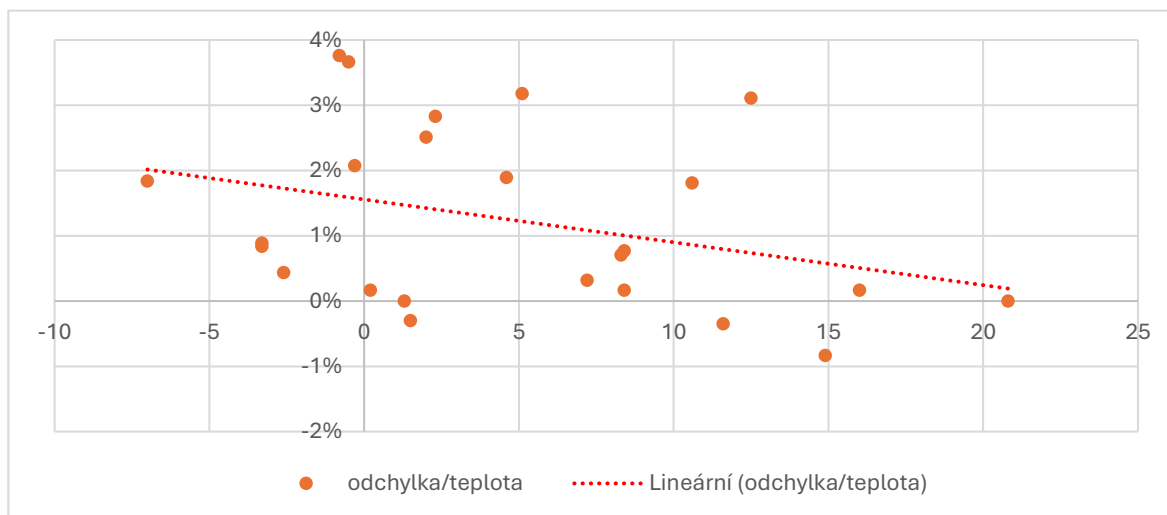
6.3.Data za celý měřený rok

Graf 9 - Rozdíl MOR v závislosti na míře kontaminace



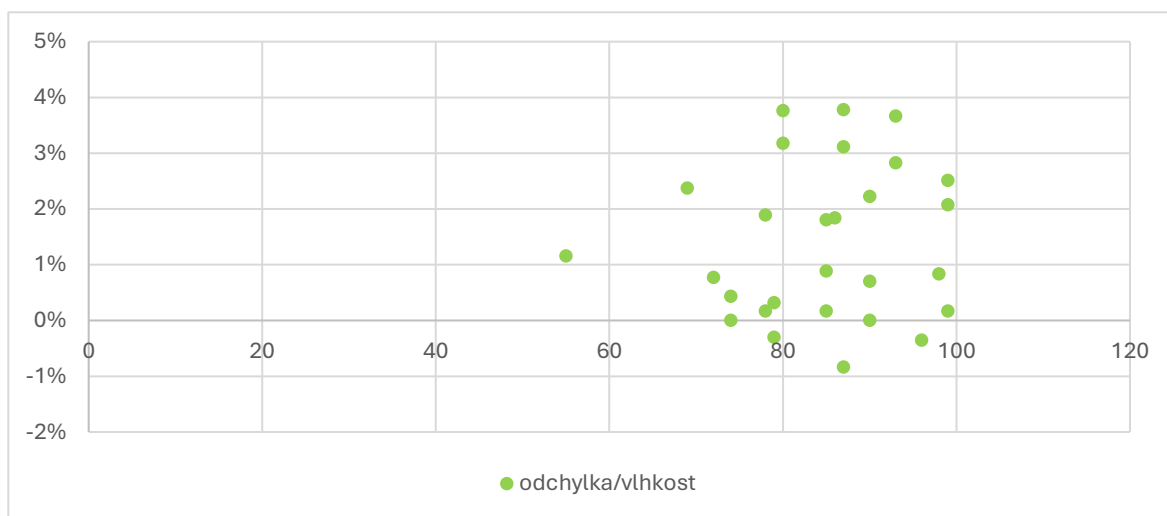
Z grafu číslo 9 lze vyčíst závislost rozdílu MOR na rozdílu kontaminace jednotlivých zařízení FS11P.

Graf 10 - Závislost kalibrační odchylky na teplotě



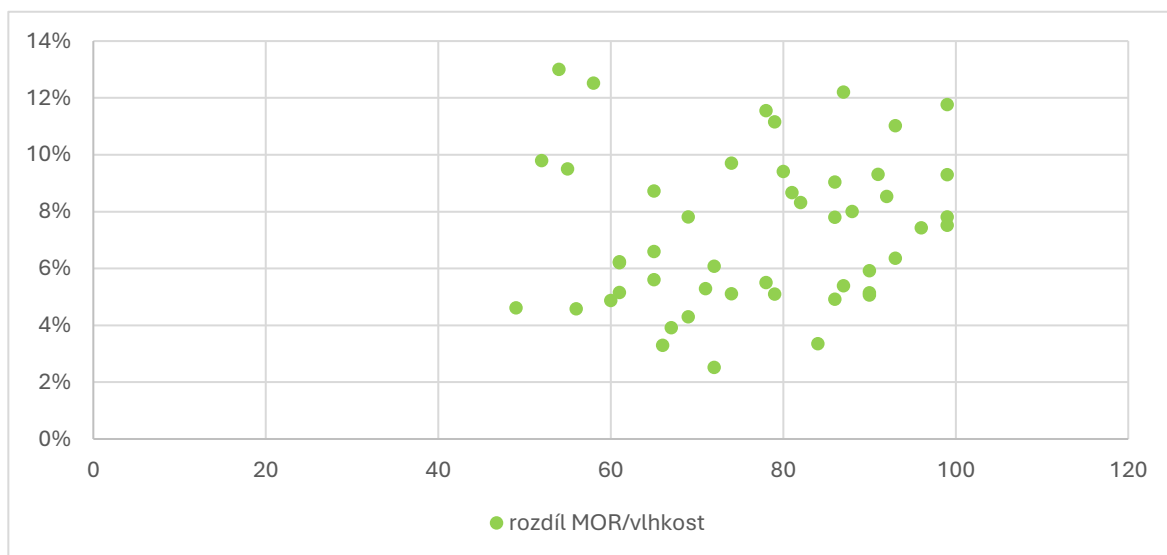
Z vyplynulých dat znázorněných v grafu číslo 10 je možné, že kalibrační odchylka je závislá i na teplotě, a to způsobem, že s klesající teplotou se zvyšuje kalibrační odchylka. Pro tvrzení je však nedostatek dat.

Graf 11 - Závislost kalibrační odchytky na vlhkosti



Z dat v grafu číslo 11 nevyplývá, že by byla kalibrační odchytka závislá na vlhkosti. Pro tvrzení je však nedostatek dat.

Graf 12 - Rozdíl MOR v závislosti na vlhkosti



Z dat v grafu číslo 12 nevyplývá, že by byl rozdíl MOR závislý na vlhkosti. Pro tvrzení je však nedostatek dat.

ZÁVĚR

V této bakalářské práci byly ověřovány doporučení výrobce týkající se intervalu prediktivní údržby a nápravné kalibrace zařízení FS11P měřící MOR v oblasti leteckého provozu.

V první polovině měřeného roku byly porovnávány data ze zařízení, které bylo ponecháno bez údržby a ze zařízení, které bylo udržováno dle doporučení výrobce. Po šesti měsících měření jsme však zjistili, že dle povolené kalibrační odchylky nevyhovuje ani jeden vybraný interval, a tak jsme pro druhou polovinu měřeného roku upravily interval údržby.

V druhé polovině měřeného roku byly porovnávány data ze zařízení, které bylo udržováno dle doporučení výrobce a ze zařízení, které bylo udržované s týdenním intervalem. Výsledky nám ukázaly, že zařízení, které bylo udržováno dle výrobce překročilo povolenou odchylku kalibračního faktoru již zhruba po dvou měsících provozu, zatím co zařízení, které bylo udržováno každý týden povolenou kalibrační odchylku nepřekročilo za celou druhou polovinu měřícího roku.

Z těchto výsledků vyplývá, že je nutné zkrátit doporučený interval údržby tak, aby bylo zařízení po celou dobu provozu v požadovaném rozsahu kalibračního faktoru z důvodu přesnosti výpočtu MOR a bezpečnosti letového provozu.

Doplňujícím zjištěním tohoto měření bylo, že u zařízení bez údržby je rychlejší nárůst hodnoty intensity u LED diody[mV], a je tak uměle zkrácena životnost zařízení jako celku.

Dále vyplynulo to, že největší nárůst kontaminace a tvorba přírodních překážek v podobě pylu, pavučin atd. je na jaře a podzim, a z toho důvodu by měl být interval údržby v těchto obdobích taktéž zkrácen.

Na základě závěru této bakalářské práce byla technickým oddělením vytvořena interní směrnice pro údržbu zařízení uživatelem, která doporučuje zkrácené intervaly údržby.

LITERATURA

- [1] PANČENKO, Milan, 2013. *Encyklopedie Hydrometeorologického zabezpečení. Letecké meteorologické zprávy METAR a SPECI*. Dobruška: Ministerstvo obrany České republiky, Hydrometeorologická služba AČR.
- [2] VAISALA, 2016. *Vaisala AviMet[®] Automated Weather Observing System*. [User's guide]. Helsinki, Finland.
- [3] Elektronický meteorologický slovník, 2017. Online. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz/>. [citováno 2025-04-12].
- [4] VAISALA, 2012. *Vaisala Barocap[®] Digital Barometer PTB330*. [User's guide]. Helsinki. Finland.
- [5] Ministerstvo životního prostředí ČR, 1993. *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. Brno. ISBN 80-85368-45-5.
- [6] VAISALA, 2018. *Vlhkostní a teplotní sonda Vaisala HUMICAP[®] HMP155*. [User's guide]. Překlad Habersberger Jiří.
- [7] VAISALA, 2017. *Vaisala WINDCAP[®] Ultrasonic Wind Sensor Series WMT700*. [User's guide]. Helsinki, Finland.
- [8] VAISALA, 2015. *Vaisala Ceilometer CL31*. [User's guide]. Helsinki, Finland.
- [9] VAISALA, 2013. *Present Weather Sensor FS11P*. [User's guide]. Helsinki, Finland.
- [10] VAISALA, 2015. *Vaisala Present Weather Detector PWD22/52*. [User's guide]. Helsinki, Finland.

- [11] VAISALA, 2002. *Background Luminance Sensor LM21*. [User's guide]. Helsinki, Finland.
- [12] VAISALA, 2016. *AVIMET® AWOS Delivery Documentation, Volume 2 of 5*. [User's guide]. Helsinki, Finland.
- [13] Internation Civil Aviation Organization, 2000. *Manual of Runway Visual Range Observing and Reporting Practises*. [pdf]. 2. edition. Montreal, Quebec. Doc 9328-AN/908.
- [14] Český metrologický institut, 2016. Online. Dostupné z: <https://cmi.gov.cz/>. [citováno 2025-03-10].
- [15] BOŘÍK, Milan, 2024. *Zdroje chyb. Absolutní a relativní chyba*. [poznámky k přednášce]. Online. Dostupné z: <https://mat.fsv.cvut.cz/aznm/predn5.pdf>. [citováno 2025-03-26].
- [16] Evropská Unie, 2017. *Prováděcí nařízení Komise (EU) 2017/373 ze dne 1. března 2017*. Online. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2017.062.01.0001.01.CES&toc=OJ:L:2017:062:TOC. [citováno 2025-04-26].
- [17] Česká republika, 1990. *Zákon o metrologii č. 505/1990 Sb.* Online. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1990-505>. [citováno 2025-04-01].
- [18] LIPINA, Pavel; ŽIDEK, Dušan; KAIN, Ivan, 2014. *Návod pro pozorovatele automatizovaných meteorologických stanic. Metodický předpis ČHMÚ č. 13a*. 2. vyd. Praha: ČHMÚ. ISBN 978-80-87577-34-9.
- [19] METEO AKTUALITY. *Heslo: Dohlednost*. Online. Dostupné z: <https://www.pocasimeteoaktuality.cz/>. [citováno 2025-04-05].

[20] PETŘKOVSKÁ, Lenka; ČEPOVÁ, Lenka, 2012. *Metrologie a řízení kvality*. [Učební text]. Online. 1. vydání. Fakulta strojní VŠB-TUO. Dostupné z: https://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Metrologie_a_rizeni_kvality.pdf. [Datum poslední návštěvy 2025-04-05].

[21] VAISALA, 2025. Online. Dostupné z: <https://www.vaisala.com/en>. [Datum poslední návštěvy 2025-04-13].