



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

BEZPILOTNÍ PROSTŘEDEK PRO AEROLOGICKÁ MĚŘENÍ

UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR AEROLOGICAL MEASUREMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Knoth

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Hájek

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Letecký ústav
Student: **Adam Knoth**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenství
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Hájek**
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Bezpilotní prostředek pro aerologická měření

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Častější aerologické měření může významným způsobem přispět k přesnosti předpovědi počasí. Cílem práce je navrhnout způsob aerologického měření, který by umožnil četnější měření při zachování ostatních parametrů současně používaného způsobu sběru dat.

Cíle bakalářské práce:

- Provedte rešerši používaných aerologických sond.
- Provedte rešerši platné předpisy báze ČR s důrazem na aerologické měření.
- Na základě provedených rešerši navrhnete způsob aerologického měření, který umožní četnější měření.
- Porovnejte klasické aerologické měření s Vámi navrženým způsobem.

Seznam doporučené literatury:

RAYMER, D. Aircraft design: a conceptual approach. 3. print. Washington: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1989. ISBN 09-304-0351-7.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Hlavným výstupom tejto bakalárskej práce je návrh aerologického merania, ktoré umožní častejšie merania. Prvá časť práce je rešeršná, kde sú spomenuté typy rádiosond a legislatívne predpisy pre ich vypúšťanie. V druhej časti je navrhnutý spôsob aerologického merania, ktorý je porovnaný s klasickým meraním.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Meteorologický balón, rádiosonda, aerologické meranie, návrh merania

ABSTRACT

The main output of this bachelor thesis is the design of aerological measurement, which will allow more frequent measurements. The first part of thesis - a search - mentions the types of radio probes and related legislation for their discharge. The second part proposes a method of aerological measurement, which is compared with classical measurement.

KEYWORDS

Meteorological balloon, radiosonde, aerological measurement, proposed measurement

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

KNOTH, Adam. *Bezpilotní prostředek pro aerologická měření* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140287>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Tomáš Hájek.



ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Tomáša Hájka a s použitím informačných zdrojov uvedených v zozname.

V Brne dňa 19. mája 2022

.....

Adam Knoth



POĎAKOVANIE

Rád by som sa poďakoval vedúcemu bakalárskej práce Ing. Tomášovi Hájkovi za priebežné usmernenie, cenné rady a ochotu pri konzultáciách. Taktiež si vážim a ďakujem rodine a kamarátom za neúnavnú podporu počas celého štúdia.

OBSAH

Úvod	11
1 História merania meteorologických veličín.....	12
1.1 Teplovzdušné a vodíkové balóny	12
1.2 Šarkany	12
1.3 Meteorologický balón	13
1.4 Začiatok používania rádiosond	14
2 Meteorologický balón a padák	15
3 Rádiosondy	17
3.1 Komponenty dnešných rádiosond.....	18
3.1.1 Teplotný senzor	19
3.1.2 Snímač na meranie vlhkosti.....	21
3.1.3 Meranie geopotenciálnej výšky	22
3.1.4 Meranie tlaku.....	22
3.1.5 Meranie smeru a rýchlosti vetra	24
3.1.6 Meranie ozónu	24
4 Typy rádiosond	26
4.1 Rádiosondy Vaisala	26
4.1.1 RS41-SGP.....	26
4.1.2 RS41-D	27
4.1.3 Ozónová rádiosonda	28
4.2 Systém AUTOSONDE	28
4.3 Rádiosondy graw	30
4.3.1 DFM-17	30
4.3.2 DFM-09	31
5 Predpisy pre meteorologické balóny.....	32
5.1 Všeobecné pravidlá prevádzkovania.....	32
6 Návrh riešenia pre častejšie merania.....	33
6.1 Ročné finančné náklady pre klasické aerologické merania	33
6.1.1 Mesačné finančné náklady.....	34
6.1.2 Ročné finančné náklady.....	35
6.2 Ročné finančné náklady pre navrhovaný model zberu dát	36
6.2.1 Dohl'adávanie setov	36
6.2.2 Obmieňanie setov	37
6.2.3 vyčíslenie predpokladanej ceny	39
6.3 Porovnanie	41
7 Konceptný návrh vypúšťacieho ventilu	42
7.1 Obal vypúšťacieho ventilu.....	42
7.2 Princíp fungovania ventilu.....	43

Záver	45
Zoznam použitej literatúry	46
Zoznam obrázkov.....	49
Zoznam tabuliek.....	50

ÚVOD

Od nepamäti ľudí fascinovala obloha. Deje, ktoré sa na nej odohrávali, si nie vždy vedeli poriadne vysvetliť. Odpoveď hľadali za hranicami fyziky. Prečo prší, prečo niekedy pri daždi vznikajú blesky, je silný vietor alebo je obdobie sucha? Dnes už vieme, že týmito javmi sa zaoberá meteorológia.

Meteorológia je jednou z nevyhnutných vied, pri ktorej získavame informácie o počasí. Predpoveď počasia je neodmysliteľnou súčasťou každodenného života či už z osobného alebo profesionálneho hľadiska. Na základe predpovede si kladieme menej dôležité otázky čo si dnes obliecť alebo dôležité otázky či je vhodné zožať úrodu alebo ešte chvíľu počkať.

Na zodpovedanie týchto otázok meteorologické ústavy po celom svete vykonávajú každodenne rôzne merania, aby vedeli namodelovať predpoveď počasia. Avšak ako to v reálnom svete býva, počet meraní sa musí prispôbiť dovolenému finančnému programu, ktorý bol na tieto merania vytvorený. Všeobecným cieľom je spresniť a zlepšiť výsledky modelovania predpovede počasia. Jednou z možností je zvýšiť frekvenciu merania.

Táto bakalárska práca sa zaoberá zbieraním dát pomocou meteorologického balónu a rádiosondy. Cieľom tejto práce je oboznámiť čitateľa s históriou vývoja aerologického merania, aktuálnych rádiosondách a ich klasickým vypúšťaním a meraním pri daných právnych obmedzeniach a navrhnúť spôsob merania, ktorý by umožnil častejšie merania.

1 HISTÓRIA MERANIA METEOROLOGICKÝCH VELIČÍN

Spôsob merania jednotlivých veličín nebol jednotný a postupom času sa menil a vylepšoval. Rôzne prístupy zbierania údajov mali svoje výhody ale aj nevýhody. Začiatky merania začali pomocou balónov a šarkanov, ktoré niesli jednoduché prístroje na meranie zvyčajne jednej veličiny, ako napríklad teploty. Po zdokonalení systémov merania a vypúšťania sa v dnešnej dobe využívajú rádiosondy a meteorologické balóny. [1]

1.1 TEPLOVZDUŠNÉ A VODÍKOVÉ BALÓNY

V 18. storočí sa vo Francúzsku na výskum atmosféry používali teplovzdušné a vodíkové balóny. Tieto balóny museli mať na palube obsluhu, ktorá riadila balón a zabezpečovala merania. Pre zber dát sa využívali barometre, termometre a iné nástroje. V dnešnej dobe sa takéto balóny používajú skôr na rekreačné lety ako na výskum atmosféry. Hlavným dôvodom opustenia od tejto metódy bola náročnosť pozorovania a zberu dát. Lety boli limitované vhodným počasím. Pri vysokých nadmorských výškach tlak a množstvo kyslíka klesal, čo sa v tej dobe podpísalo aj na úmrtí pracovníkov, keďže prevencia a technológie ešte neboli až tak vyvinuté. Pre tieto nedostatky sa muselo vyvinúť lepšie, spoľahlivejšie riešenie, ktoré by malo zabezpečiť frekventovanejšie merania, jednoduchšiu a bezpečnejšiu obsluhu. [1]



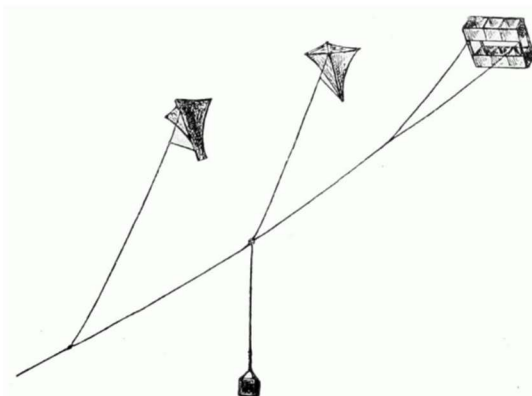
Obr.1 Prvotné pozorovacie balóny [27]

1.2 ŠARKANY

Meranie meteorologických veličín pomocou šarkanov sa datuje už okolo roku 1749 v Európe, kde ku sérii šarkanov boli pripevnené termometre. Spolu bolo pripevnených šesť šarkanov, ktoré boli rozostúpené v tandeme v určitých intervaloch na hlavné lano. Termometre boli pripevnené k nosnému lanu pomocou tlejúcich tenkých drievok rôznych dĺžok, ktoré umožnili odpojenie termometra od lana v rozdielnych časových intervaloch. Tie po prehorení oddelili lano od sondy, a tá spadla na zem, kde sa rýchlo musela odčítať hodnota teploty. Takýto postup pri zbere dát bol náročný a pre dnešné požiadavky nepresný.

Začiatkom 19. storočia boli zriadené stanice pre pozorovanie, prevádzkovanie a odčítanie hodnôt pomocou šarkanov. Postupom času vypúšťali šarkany nielen s termometrami, ale aj s anemometrami, termografmi a meteorografmi, ktoré sami vedeli zapisovať údaje.

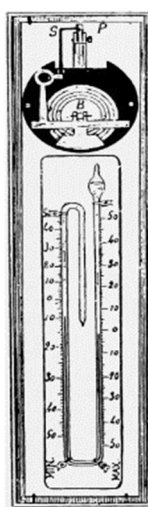
Napriek pokroku v zaznamenávaní dát šarkany neboli schopné dosiahnuť výšku (priemerná dosiahnuteľná výška boli 3 km), ktoré dokážu dosiahnuť dnešné balóny kvôli ich pripevneniu lanom na zem. Neoptimálne boli aj kvôli premenlivým vetrom (hlavne kvôli hlavnému princípu fungovania šarkana), ktoré mohli skresľovať merania. [1] [2]



Obr.2 Ukážka troch rôznych typov meteorologických šarkanov v tandeme nosiaci meteograf [2]

1.3 METEOROLOGICKÝ BALÓN

V roku 1892 vo Francúzsku Gustave Hermite spolu s Georgom Besaçunom použili namiesto šarkana balón. Ten dokázal vyniesť termometer a barometer, ktorý vedel zaznamenať minimálnu hodnotu. Balón mal výhodu v dosiahnutí vyššej výšky (cca 10km), avšak odčítanie dát trvalo podobne dlho a nebolo možné ich použiť na okamžitú predpoveď. Dáta mohli byť nedostupné, ak sa balón po páde nenašiel. Každodenné používanie meteorologických balónov zaviedol Léon Teisserenc de Bort v Observatoire de météorologie de Trappes v roku 1898. [1] [3]



Obr.3 Termometer a barometer vypustený v roku 1892. [3]

1.4 ZAČIATOK POUŽÍVANIA RÁDIOSOND

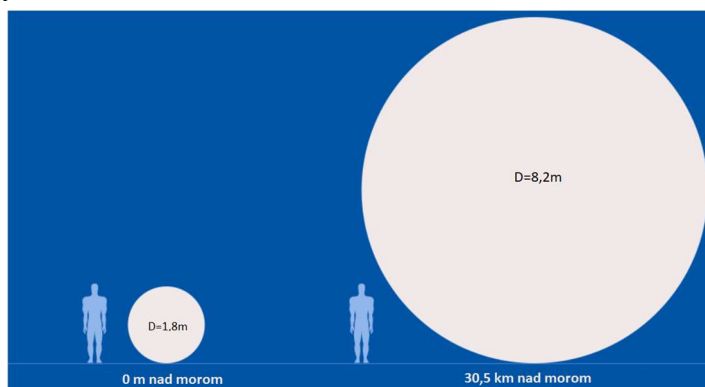
Rádiosondy, ktoré nahradili termohydrografy vyvinuli v roku 1927 Robert Bureau a Pierre Idrac. Umožnili zber dát pomocou rádia na pozemnom pracovisku v reálnom čase. Dáta získané z rádiosond boli používané ako hlavné údaje na výpočet a spracovanie predpovede počasia až dovedy, pokiaľ neboli vyvinuté a dané do prevádzky meteorologické satelity. Väčší záujem o zber dát a aerológiu začal počas druhej svetovej vojny. [4]



Obr.4 Prvé rádiosondy v Trappe okolo roku 1930 [4]

2 METEOROLOGICKÝ BALÓN A PADÁK

Celá zostava na získanie dát pomocou meteorologického balóna pozostáva z piatich komponentov: balón, padák, nylonové lano, rádiosonda a odvíjač lana. Meteorologický balón slúži ako nosné a pohonné zariadenie pre sondy. Balón je vyrobený z latexu alebo neoprénu, ktorý mu dodáva potrebnú pružnosť a expanznosť. Hrúbka latexu pred naplnením balóna je cca 0.051mm. Vo výškach okolo 30km nad povrchom, tesne pred prasknutím, sa balón natiahne tak, že hrúbka balóna je 0.0025mm. Na ďalšie porovnanie naplnený balón pred vypustením, ktorý meria cca 1,8m tesne pred prasknutím má priemer až 6m. To sa deje vďaka tlaku, ktorý na balón v takých výškach pôsobí a vytlačí ho.



Obr.5 Expanzia balóna 30,5 km nad morom(text obrázku preložený z AJ)[25]

Veľkosti balónov na účel vynesenia sondy sa môžu líšiť podľa potreby. Rozdeľujú sa podľa hmotnosti balóna. Napr. balón 350g. Veľkosti môžu byť od 50g do 2000g, v meteorológii sa používajú balóny od 300-1200g. Nosnosť balóna závisí na jeho veľkosti a použitého plynu. Náklad pozostáva zo sondy, padáku a lanka, ktoré tieto komponenty s balónom spája. Nylonové lano má dĺžku od 20-60m aby izolovalo senzory rádiosondy od vodných pár a tepelnými kontamináciami spôsobené balónom. [5] [6]



Obr.6 Meteorologický balón spolu s padákom a rádiosondou [28]

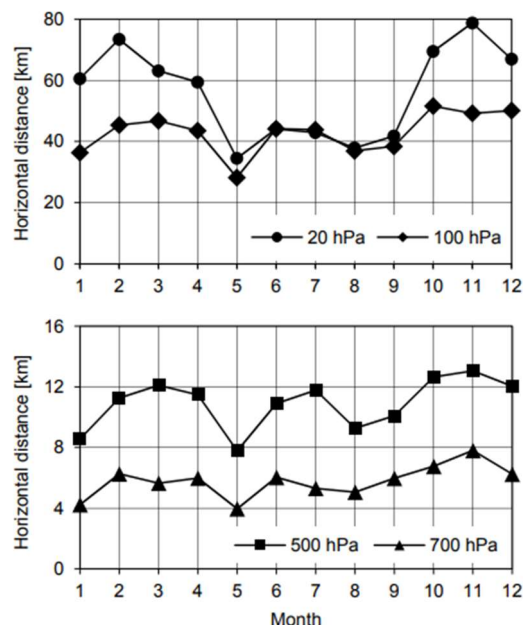
Balóny sa plnia héliom alebo vodíkom. Množstvo plynu v balóne je vypočítané tak, aby balón mal spolu so sondou stúpanie 300m min^{-1} . Padák slúži na zníženie rýchlosti po odpojení alebo prasknutí balóna vo výške presahujúcej 30km nad povrchom. So sondou ho spája osem šnúr, ktoré sú po obvode padáku rozmiestnené rovnomerne. Použitá látka váži iba približne 80g, vďaka čomu sa padák rýchlo otvorí a zaistí bezpečný a kontrolovaný dopad sondy. Rýchlosť sondy s otvoreným padákom je menej ako 35km/h. [6] [7]

SOUNDING BALLOONS SPECIFICATIONS											
SIZE (g)	MATERIAL	WEIGHT (g)	NECK LENGTH (cm)	NECK DIAMETER (cm)	HORIZONTAL DIAMETER (cm)	DIAMETER AT BURST (cm)	INFLATION FOR INSPECTION DIAMETER (cm)	FREE LIFT (g)	AVERAGE BURSTING ALTITUDE (m)	AVERAGE RATE OF ASCENT (m/min)	PAYLOAD
300	NATURAL LATEX	300-330	≥10	≤6.4	77-89	>380	≥260	810	18000	≥340	550g
350		350-390	≥10	≤6.4	83-95	>410	≥270	825	20000	≥340	
400		400-440	≥10	≤6.4	90-101	>450	≥280	875	21000	≥340	
500		500-550	≥10	≤6.4	108-121	>500	≥380	905	25000	≥340	
600		600-650	≥10	≤6.4	121-140	>580	≥400	1120	26000	≥340	
750		750-800	≥11	≤6.4	137-162	>650	≥450	1220	28000	≥340	
800		800-850	≥11	≤6.4	140-162	>680	≥470	1220	29000	≥340	
1000		1000-1100	≥11	≤7,7	153-172	>750	≥500	1310	31000	≥340	
1200		1200-1300	≥11	≤8,3	172-191	>850	≥550	2240	32000	≥340	
1600		1600-1700	≥13	≤8,3	190-210	>1050	≥600	2400	36000	≥340	
2000	2000-2100	≥13	≤8,3	195-220	>1100	≥600	2500	38000	≥340		

Minimum Ordering Quantities: 500pcs/ Size

Obr.7 Obrázok tabuľky veľkosti meteorologických balónov a ich parametre [29]

Vzdialenosť dopadnutej rádiosondy od miesta vypustenia je v priemere 60 km.



Obr.8 Horizontálna vzdialenosť nájdených rádiosond od miesta vypustenia (Gánovce 2016/17) [34]

3 RÁDIOSONDY

Aerologická sonda, tiež nazývaná aj rádiosonda, je mobilný prístroj, ktorý meria meteorologické veličiny a posiela ich na pozemné pracovisko pomocou telemetrie. Tam sa následne údaje zozbierajú a spracujú. Tieto údaje sú zbierané spravidla dvakrát denne a sú jedny z hlavných zdrojov na výpočet a predpoveď počasia v dnešnej dobe. Dnešné sondy merajú výškové rozdiely teplôt, tlaku, vlhkosti, smeru a rýchlosti vetra do výšky cca 30km (tlak 1 hPa). Existujú aj špeciálne sondy na meranie ozónu, takzvané ozónové sondy.



Obr.9 Rádiosonda RS41 spolu s nylonovým lanom [30]

Od roku 1957 všetky meteorologické stanice zbierajú dáta v ten istý čas a to o 00.00 a 12.00 UTC. Kvôli nedostatku financií niektoré stanice zbierajú dáta len raz denne.

Krajiny, ktoré zbierajú údaje z meteorologických sond sú súčasťou organizácie World Meteorological Organization WMO (World Weather Watch), ktoré zdieľajú informácie o svojich meraniach. Krátko po tom, ako sú vykonané merania sondy v teréne, sa údaje spracujú a sprístupnia pomocou GTS (Global Telecommunications System). Formát údajov je takzvaný TEMP message. Sú to správy, ktoré sa po určitom čase alebo po ich prečítaní vymažú. Tieto správy sú posielané v univerzálnom formáte, ktoré poukazujú na meteorologické podmienky v jednotlivých výškových/tlakových pásmach. Následne tieto údaje sa spracujú v príslušnom počítačovom softvéri.



Obr.10 Systém MW41 pre vyhodnocovanie dát a testovanie rádiosond [31]

Existujú dva hlavné dôvody, prečo dochádza k meteorologickým meraniam pomocou rádiosond pripevnených na balónoch. Prvý dôvod je na zistenie aktuálneho stavu, ktorý je použitý na krátkodobé modely zmeny počasia. Sú to napríklad hodinové, denné ale aj týždňové predpovede.

Druhý dôvod vyplýva z výskumu atmosféry, sledovania a merania znečistenia ovzdušia, zberu dát pre letectvo alebo napríklad pre obranu. Rádiosonda je jedna z hlavných a zásadných častí komplexného systému na predpoveď a kalkulácie matematických modelov predpovedi počasia.

Výrobcovia dnešných rádiosond produkujú sondy zväčša len na jedno použitie. Tento fakt prispieva k znehodnocovaniu a znečisťovaniu životného prostredia a je finančne náročný. Taktiež sa líši spätné nájdenie dopadnutých sond. V Česku a na Slovensku sa rádiosondy pri každodennom meraní len zriedka dohľadávajú. Túto úlohu majú na starosti takzvaní sonderi (zväčša sú to rádioamatéri). V USA sa nájde a vráti okolo 18% vypustených rádiosond a vo Švajčiarsku je percentuálny podiel oveľa priaznivejší, a to viac ako 60%. Existujú aj výnimočné prípady a to ozónové sondy, kde ich dohľadanie v Česku je na úrovni okolo 99%. [6] [8]

3.1 KOMPONENTY DNEŠNÝCH RÁDIOSOND

Moderná meteorologická sonda je komplexné zariadenie, ktoré pozostáva z troch hlavných celkov. Hlavnou komponentou sú meteorologické snímače, ktoré zaznamenávajú meteorologické údaje, elektronika na spracovanie signálu (riadiaca jednotka) a vysielateľ. Údaje na zem sa vysielajú v rozmedzí od 1-6 sekúnd podľa výrobcu. Väčšina týchto súčiastok je uložená vnútri obalu. Obal pozostáva z plastového krytu, ktorý chráni súčiastky pred poškodením alebo pred vlhkosťou. Zmienené komponenty pochádzajú z rádiosond RS41.



Obr.11 Vnútro rádiosondy RS41 (vpravo) a rádiosondy RS92 [32]

Niektoré sondy disponujú aj GPS modulom, ktorý je v sonde umiestnený. Vďaka nemu je možné namerané dáta konkretizovať a spojiť s danou polohou. Všetky údaje smerujú cez anténu do stacionárneho prímača, ktorý sa nachádza na pozemnom pracovisku.

Na meteorologické účely boli na bezdrôtový prenos dát pridelené dve frekvenčné pásma a to 400-406 MHz a 1675-1700MHz. Ďalej sonda musí spĺňať požiadavky a kritéria ktoré stanovila WMO (World Meteorological Organization). [6]

Tab. 1 Požiadavky na presnosť podľa WMO [6]

	Interval	Požadovaná presnosť
Tlak	Od povrchu do 5hPa	$\pm 1hPa$
Teplota	Od povrchu do 100hPa	$\pm 0,5K$
Relatívna vlhkosť	Troposféra	$\pm 5\%(RH)$
Smer vetra	Od povrchu do 100hPa	$\pm 5^\circ$ rýchlosť vetra $< 15m/s$
Rýchlosť vetra	Od povrchu do 100hPa	$\pm 1m/s$
Geopotenciálna výška	Od povrchu do 100hPa	$\pm 1\%$ blízko blížiacemu sa povrchu

3.1.1 TEPLOTNÝ SENZOR

Na meranie a zaznamenávanie teploty sa vo všetkých modeloch RS41 využíva lineárna odporová platínová technológia. Princíp fungovania tohto senzora spočíva v platínovej doštičke, ktorá má charakteristický odpor závislý na teplote. Odpor doštičky je monitorovaný a následne je z neho prepočítaná hodnota teploty. Charakteristický odpor platiny pri 0 stupňoch Celzia je 100 Ohmov. Celú závislosť popisuje Callendar-Van Dusenová rovnica. Rovnica má dva tvary, a to pre teploty pod a nad 0 stupňov Celzia. [9] [10]

$$\text{Pre } T < 0^\circ: R_{RTD}(T) = R_0 \cdot \{1 + (A \cdot T) + (B \cdot T^2) + [(C \cdot T^3) \cdot (T - 100)]\} \quad (1)$$

$$\text{Pre } T > 0^\circ: R_{RTD}(T) = R_0 \cdot [1 + (A \cdot T) + (B \cdot T^2)] \quad (2)$$

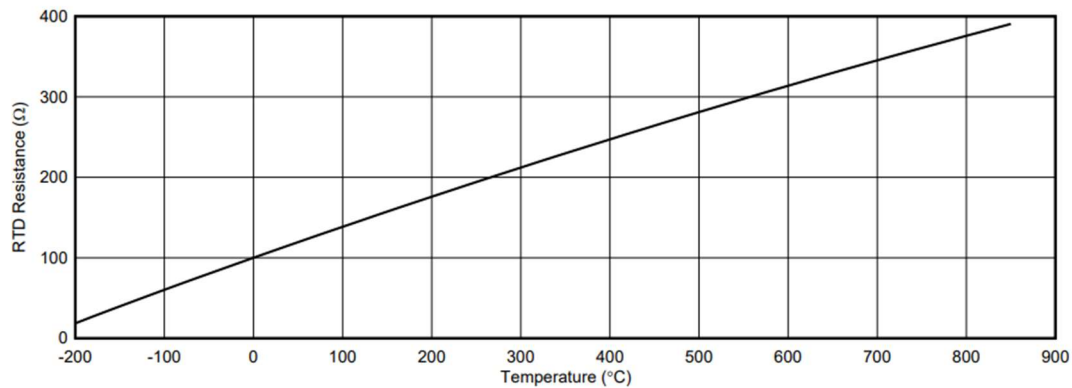
Kde:

- R_0 je odpor pri 0°
- $R_{RTD}(T)$ je odpor pri teplote T
- T je lokálna teplota

Koeficienty:

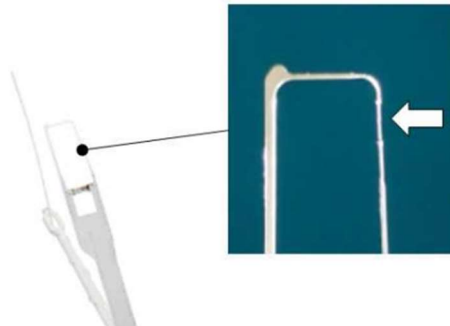
- $A = 3,9083 \times 10^{-3}$
- $B = -5,775 \times 10^{-7}$
- $C = -4,183 \times 10^{-1}$

Tieto koeficienty sú špecifické a platia pre PT100 RTD (Resistance Temperature Detectors) (platina s odporom 100 Ohmov pri 0°). [9]



Obr.12 Zmena odporu PT100 od -200°C do 800°C [9]

Vďaka pokročilej technológii, malej veľkosti, ktorá z veľkej časti eliminuje chybu v dôsledku solárnej radiácie rádiosonda poskytuje veľmi presné údaje. Senzor má tiež účinnú ochranu proti ochladzovaniu v dôsledku odparovania pri prechádzaní oblakmi. [10]



Obr.13 Teplotný senzor na rádiosonde RS41 [33]

Presnosť merania teplotným senzorm pre rádiosondy RS41 sú uvedené v tabuľke 2.

Tab.2 Teplotný senzor [11]

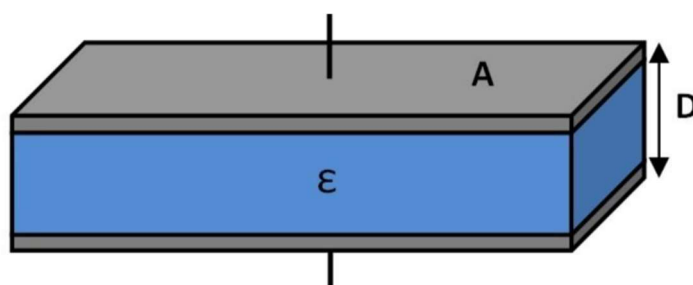
Teplotný senzor	
Typ	Platinový rezistor
Merací rozsah	+60°C do - 90°C
Rozlíšenie	0,01°C
Doba odozvy	0,5 s
Stabilita(1 rok/3 roky)	< 0,05°C/0,1°C
Presnosť	
Opakovateľnosť v kalibrácií	0,1°C
Kombinovaná neistota po pozemnej	0,2°C
Kombinovaná neistota pri meraní 0-16 km	0,3°C
Kombinovaná neistota pri meraní nad 16 km	0,4°C
Reprodukovateľnosť sondovania	
1080-100 hPa	0,15°C
100-3 hPa	0,30°C

3.1.2 SNÍMAČ NA MERANIE VLNKOSTI

Vlhkosť je meraná pomocou kondenzátora, ktorý umožňuje presné merania. Senzor je prispôsobený na atmosférické merania. Na vysunutej časti (obr.13), kde je uložený teplotný senzor a senzor na meranie vlhkosti je pridaný aj rezistor. Rezistor vytvára teplo, vďaka čomu senzory nezamrznú a zabezpečia dôkladné a presné merania. [11]

Súčiastka, ktorá umožňuje meranie vlhkosti je kondenzátor. Kondenzátor sa skladá z 3 hlavných častí:

- Katóda
- Anóda
- Dielektrikum



Obr.14 Kondenzátor [12]

Mierou schopnosti ukladať náboj je kapacitancia, ktorá závisí na vzdialenosti medzi elektródami, dielektriku a plochou medzi elektródami. Jediný premenlivý člen je zmena permitivity, ktorá je ovplyvnená zmenami vlhkosti v izolačnom materiáli.

Vzorec na výpočet kapacitancie:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{D} \quad (3)$$

Kde:

- C je kapacitancia
- A je plocha
- D je vzájomná vzdialenosť dvoch elektród
- ε_0 je permitivita vákua
- ε_r je relatívna permitivit

[12]

Presnosť merania vlhkosti pomocou kondenzátora v rádiosonde RS41 sú uvedené v tabuľke 3.

Tab.3 Senzor vlhkosti [11]

Senzor vlhkosti	
Typ	Tenkostenný kondenzátor
Merací rozsah	0 do 100% RH
Rozlíšenie	0,1% RH
Čas odozvy	
6m/s, 1000 hPa, +20°C	< 0,3 s
6m/s, 1000 hPa, -40°C	< 10s
Presnosť	
Opakovateľnosť v kalibrácii	2% RH
Kombinovaná neistota po pozemnej príprave	3% RH
Kombinovaná neistota pri meraní	4% RH
Reprodukovateľnosť pri meraní	2% RH

3.1.3 MERANIE GEOPOTENCIÁLNEJ VÝŠKY

Rádiosondy ktoré majú nainštalovaný GPS, dokážu určovať geopotenciálnu výšku práve z tohto zariadenia.

Tab.4 Špecifikácie merania geopotenciálnej výšky [11]

Merací prístroj	GPS
Merací rozsah	od povrchu do 40 000 m
Rozlíšenie	0,1 gpm
Presnosť	
Kombinovaná neistota pri meraní	10,0 gpm
Reprodukovateľnosť pri meraní	6,0 gpm

3.1.4 MERANIE TLAKU

Tlak sa meria pomocou GPS Táto technika merania si vyžaduje mať na pozemnom pracovisku senzor tlaku. Tento senzor kalibruje všetky pozorovania v tlakovom profile. Je veľmi dôležité použiť správne nastavený a kalibrovaný snímač na tieto merania. Taktiež ako kalibrácia tlakového snímača je dôležitá aj jeho výška a výška GPS antény, ktorá je na pozemnom pracovisku.

Hustota vzduchu pozdĺž dráhy letu sa mení podľa teploty a vlhkosti. Rádiosonda meria zmenu tlaku medzi meracími bodmi práve pomocou rozdielu a zmien teploty a vlhkosti. Vertikálna poloha a vzdialenosť medzi meracími bodmi je získaná taktiež z GPS.

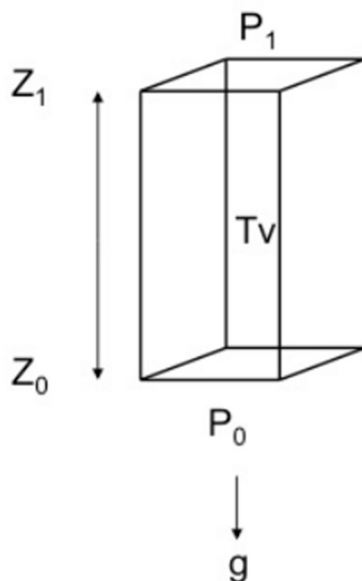
Veľkosť zmeny tlaku sa dá odvodiť z hydrostatickej rovnice a zákone ideálneho plynu:

$$\frac{\Delta P}{P} = - \frac{g \cdot \Delta Z}{R_a \cdot T_v} \quad (4)$$

Kde:

- ΔP = zmena tlaku
- P = tlak
- g = gravitačné zrýchlenie
- ΔZ = zmena geopotenciálnej výšky
- R_a = plynová konštanta pre suchý vzduch
- T_v = virtuálna teplota

Virtuálna teplota vlhkého vzduchu je teplota, ktorú by mal mať suchý vzduch aby mal taký istý tlak a hustotu ako vlhký vzduch. [13] [11]



Obr.15 Výpočet atmosférického tlaku
[13]

Tab.5 Špecifikácie merania tlaku [11]

Merací prístroj	GPS
Merací rozsah	od povrchu do 3 hPa
Rozlíšenie	0,01 hPa
Presnosť	
Kombinovaná neistota pri meraní	
> 100 hPa	1,0 hPa
100 – 10 hPa	0,3 hPa
< 10 hPa	0,04 hPa
Reprodukovateľnosť pri meraní	
> 100 hPa	0,5 hPa
100 – 10 hPa	0,2 hPa
< 10 hPa	0,04 hPa

3.1.5 MERANIE SMERU A RÝCHLOSTI VETRA

GPS systém umožňuje taktiež meranie rýchlosti a smeru vetra.

Tab.6 Špecifikácie merania rýchlosti a smeru vetra [11]

Rýchlosť vetra	
Neistota merania rýchlosti	0,15 m/s
Rozlíšenie	0,1 m/s
Maximálna nameraná rýchlosť	160 m/s

Smer vetra	
Neistota merania rýchlosti	2°
Rozlíšenie	0,1°
Smerový rozsah	0 do 360°

3.1.6 MERANIE OZÓNU

Celý systém na meranie ozónu sa skladá z viac častí:

- kostra
- motorček
- senzor
- vlastná elektronika
- nádrž s jodidom draselným

Snímač ozónu použitý v ozónovej sonde je založený na princípe chemických reakcií. Pozostáva z koncentračnej bunky, ktorá je rozdelená na dve časti a je spojená iónovým mostom. V každej časti sa nachádza platínová elektróda, ktorý slúži ako anóda a katóda. V bunkách je roztok jodidu draselného rozdielnych koncentrácií pre katódu a anódu. Bunka je vyrobená z polytetrafluóretylénu. Iónový most spája dve bunky, ktorý slúži ako iónová dráha a spomaľuje miešanie katódové a anódové elektrolyty, čím sa zachová ich koncentrácia. Hnacie elektromotorické napätie pre bunku je odvodené od rozdielov v koncentráciách jodidu draselného prítomných v dvoch bunkách.

Chemická reakcia sa spustí hneď ako ozón(vo vzduchu) prúdi do katódového roztoku. Vzniknutá reakcia je jodid-jódová redoxná reakcia. Prúd môže byť meraný keď je prepínač S zapnutý. R je zaťažovací odpor obvodu.

Platinové elektródy sú chemicky inertné, a nezúčastňujú sa chemických reakcií. Elektrochemické reakcie prebiehajú na medznej vrstve elektród. Akonáhle vzduch obsahujúci O₃ prebubláva cez katódový roztok, prebieha celková reakcia:



Pri reakcii vzniká jód (I_2), vďaka čomu sa koncentrácia začne zvyšovať. Ak je obvod uzatvorený, tak následne prebehne reakcia v bunke s katódou a anódou:

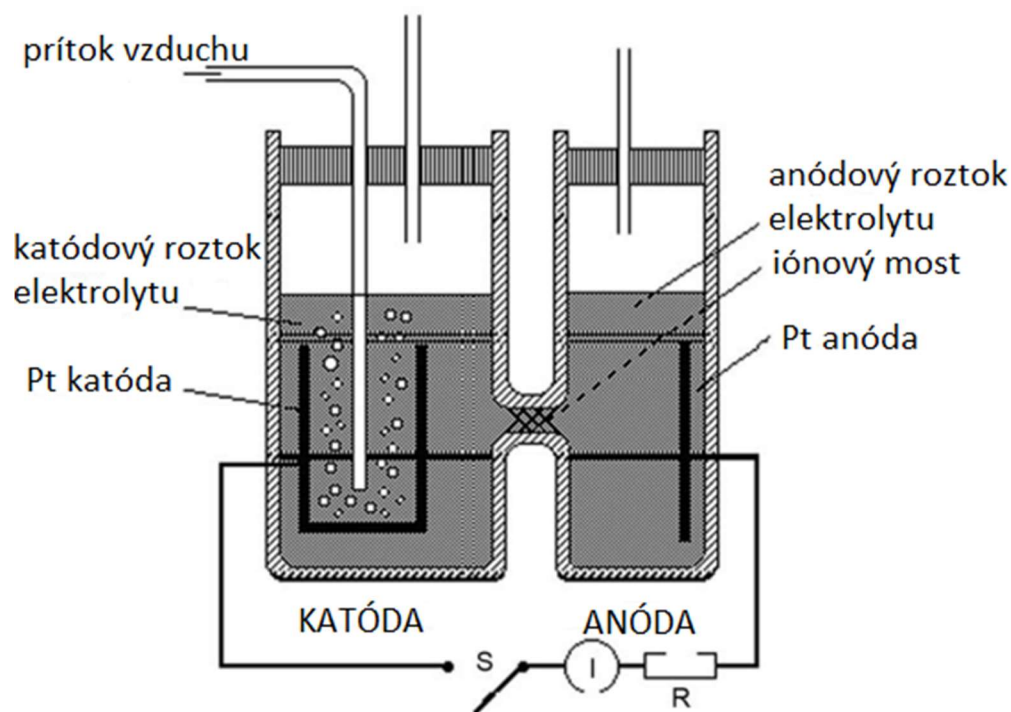
S katódou:



S anódou:



Na základe týchto reakcií je zhrnutý záver. **Jedna molekula O_3 spôsobí prúd o veľkosti dvoch elektrónov.** [14]



Obr.16 Schematické zobrazenie buniek s roztokom(text obrázku preložený z AJ) [14]

4 TYPY RÁDIOSOND

Hlavnou odlišnosťou rádiosond je ich schopnosť a vybavenosť merať rôzne veličiny, hmotnosť a veľkosť. V dnešnej dobe jednou z vedúcich firiem na výrobu rádiosond je firma Vaisala. Jej rádiosondy sú používané po celom svete. V Českej republike sa taktiež používajú modely od tejto firmy. Stanica Praha- Libuš na merania používa sondu RS41, ktorá má veľa variant a prevedení. [15] [16]

4.1 RÁDIOSONDY VAISALA

Značka Vaisala pôsobí na trhu od roku 1936 a je lídrom v poveternostnom, enviromentálnom a priemyselnom meraní. Pre meteorologické účely disponuje modernými rádiosondami RS41, ktoré môžu mať rôzne konfigurácie:

- RS41-SG
- RS41-SGP
- RS41-SGM
- RS41-D

Tieto typy rádiosond sú najnovšie modely firmy Vaisala. [16] [17]

4.1.1 RS41-SGP

Meteorologická rádiosonda typu RS41-SGP zaisťuje meranie hodnôt teploty, vlhkosti a atmosférického tlaku voľnej atmosféry v meracom cykle 1s po dobu minimálne 240 minút. Odosielanie dát zabezpečuje úzkopásmový rádiový vysielateľ v pásme 400,15-406,00 MHz. Použitá frekvencia vysielateľa je užívateľsky nastaviteľná pri príprave rádiosondy na použitie v rozsahu 400,16 až 405,99 MHz. Stabilita frekvencie vysielateľa je v rozsahu ± 2 kHz. Výkon vysielateľa je minimálne 60 mW. Rádiosonda je vybavená aspoň 48 kanálovým prijímačom GPS a frekvenciou 1575.42 MHz, kódovanie LI C/A pre výpočet rýchlosti a smeru vetra. Pohotovostná hmotnosť rádiosondy je maximálne 115 g. Systém upevnenia sondy k nosnému balónu s postupným automatickým odvíjaním prípojného lanka ,rýchlosťou maximálne 0,35 m/s, do dĺžky najmenej 30 m je súčasťou rádiosondy. Rádiosonda je vybavená systémom optickej indikácie prevádzkových stavov.

Požiadavky na senzor merania teploty:

- Rozsah merania: +60 °C až -90 °C
- Presnosť merania 0,1 °C
- Rozlíšenie 0,01 °C
- Zotrvačnosť snímača menej ako 1 s

Požiadavky na senzor merania vlhkosti:

- Rozsah merania 0 až 100 % RH
- Presnosť merania 2 %
- Rozlíšenie 0,1 % RH
- Zotrvačnosť snímača menej ako 10 s

Požiadavky na senzor merania tlaku:

- Rozsah merania až do 3 hPa
- Presnosť 0,04 hPa pri kalkulácii tlaku pomocou GPS; 0,3 hPa pri použití tlakového senzora v rozmedzí 100-3 hPa
- Rozlíšenie 0,01 hPa

Požiadavky na meranie rýchlosti a smeru vetra:

- Výpočtom z polohy GPS
- Presnosť merania rýchlosti vetra 0,15 m/s, rozlíšenie 0,1 m/s
- Meranie rýchlosti vetra v rozsahu 0 až 160 m/s
- Meranie smeru vetra v rozsahu 0° až 360° s presnosťou 2°
- Rozlíšenie 0,1°

4.1.2 RS41-D

Meteorologická radiosonda typu RS-41D zaisťuje meranie hodnôt teploty, atmosférického tlaku a vlhkosti voľnej atmosféry v meracom cykle 1s po dobu minimálne 120 minút. Ich odosielanie zabezpečuje úzkopásmový rádiový vysielateľ v pásme 1668,4 až 1690,00 MHz s moduláciou GFSK. Použitá frekvencia vysielateľa je užívateľsky nastaviteľná pri príprave radiosondy na použitie v rozsahu 1668,6 až 1689,8 MHz. Výkon vysielateľa zaisťuje rádiový dosah minimálne 150 km. Pohotovostná hmotnosť radiosondy je maximálne 115 g. Systém upevnenia sondy k nosnému balónu s postupným automatickým odvíjaním prípojného lanka ,rýchlosťou maximálne 0,35 m/s, do dĺžky najmenej 30 m je súčasťou radiosondy. Radiosonda je vybavená systémom optickej indikácie prevádzkových stavov. Radiosonda spĺňa vojenské štandardy použitia MIL-STD-810G.

Požiadavky na senzor merania teploty:

- Rozsah merania: +60 °C až -90 °C
- Presnosť merania 0,1 °C
- Rozlíšenie 0,01 °C
- Zotrvačnosť snímača menej ako 1 s

Požiadavky na senzor merania vlhkosti:

- Rozsah merania 0 až 100 % RH
- Presnosť merania 2 %
- Rozlíšenie 0,1 % RH
- Zotrvačnosť snímača menej ako 10 s

Požiadavky na senzor merania tlaku:

- Rozsah merania až do 3 hPa
- Presnosť 0,04 hPa pri kalkulácii tlaku pomocou GPS; 0,3 hPa pri použití tlakového senzora v rozmedzí 100-3 hPa
- Rozlíšenie 0,01 hPa

Požiadavky na meranie rýchlosti a smeru vetra:

- Výpočtom z anténneho systému rádioteodolitu RT20

[18]

4.1.3 OZÓNOVÁ RÁDIOSONDA

Tieto rádiosondy sa na prvý pohľad od klasických sond líšia hlavne svojou veľkosťou. Dajú sa rozdeliť na dve časti. Prvá časť je klasická rádiosonda ako napr.(RS41-SGP) a druhá časť pozostáva z polystyrénového boxu, kde je umiestnený snímač na meranie ozónu v atmosfére. V boxe je umiestnená taktiež vlastná elektronika a vlastný zdroj. Celková dĺžka merania je obmedzená na 2-3 h. Stav ozónu je možné merať do výšky 40km alebo 3hPa. Pri páde sonda dosahuje počiatočnú rýchlosť až 50 m/s. Túto rýchlosť spôsobuje vyššia hmotnosť celej sondy, ktorá váži okolo 600g. Kvôli väčšej váhe tieto rádiosondy pri zostupe používajú na brzdenie padák. [19] [14]



Obr.17 Ozónová rádiosonda [14]

4.2 SYSTÉM AUTOSONDE

Prevádzka meteorologických staníc, manuálne ovládanie a vypúšťanie rádiosond vo vzdialených a odľahlých miestach je náročné a drahé. Spoločnosť Vaisala disponuje nie len rádiosondami ale aj autonómnym riešením pre ich vypúšťanie a zber dát práve pre takéto miesta. Jej názov je Autosonde® AS41. Táto autonómna meteorologická stanica využíva na sondáž rádiosondu RS41 verzie(RS41-SPG alebo RS41-SG), ktorá sa vyznačuje výbornou presnosťou údajov a pokročilými snímačmi teploty vlhkosti.

Stanica je navrhnutá tak, aby poskytovala nepretržité dáta aj v tých najdrsnejších podmienkach a na najodľahlejších miestach. Plne automatizované merania znamenajú, že nie je potrebný osobný zber údajov. To šetrí peniaze a čas, viac ako 1 800 hodín každý rok v porovnaní s ručne ovládanou sondážnou stanicou.

Samostatný chod umožňuje otočný zásobník, ktorý dokáže uschovať až 24 pripravených rádiosond s balónmi. Celá stanica môže bez zásahu človeka byť v prevádzke pred doplnením až 4 týždne. Stanica sa vizuálne delí na 2 časti, a to na kontajnerovú miestnosť s parametrami 7,8m x 3,3m x 5,1m a na kužeľovitú časť s priemerom 2m na vypúšťanie sondy s balónom. Miestnosť slúži hlavne na uskladnenie a prípravu balónov a sond. Do úložných priestorov sa zmestí až 60 predpripravených rádiosond. Pri meraniach 2x denne tieto zásoby vydržia až 4 mesiace. Tento systém je určený pre balóny od 200-1200g plnené héliom alebo vodíkom. Stlačený plyn je umiestnený mimo hlavnej budovy v tlakových nádobách. [20] [21]



Obr.19 Rotačný zásobník [21]



Obr.18 AUTOSONDE AS41 [21]

4.3 RÁDIOSONDY GRAW

Ďalším výrobcem rádiosond je firma Graw. Firma Graw sa zaoberá a vyrába meteorologické nástroje okolo 80 rokov. V ponuke má rádiosondy:

- DFM-17
- DFM-9
- PS-15

[22] [23]

4.3.1 DFM-17

Rádiosonda DFM-17 je jedna z najmenších a najľahších sond na trhu. Bola navrhnutá na presné meranie teploty, tlaku, vlhkosti, smeru a rýchlosti vetra. Je ideálna na denné merania. [24]

Tab.7 Technické parametre rádiosondy DFM-17 [24]

Hmotnosť	63g, pripravená na štart
Veľkosť	90 x 67 x 44 mm
Napájanie	2 x Lítiové batérie CR123A, vymeniteľné
Životnosť batérie	> 240 min
Hľadanie vetra	GNSS (GPS/GLONASS/BEIDOU)
Doba odozvy	Jeden celý data set za sekundu
Šírka pásma	< 12 kHz
Frekvenčný rozsah	400-405,99 MHz
Modulácia	GFSK
Výstupný výkon telemetrie	< 100 mW
Oprava chýb telemetrie	Intervalové/OVSF
Teplotné rozlíšenie	0,01°C
Teplotná presnosť	< 0,2°C
Rozlíšenie vlhkosti	0,1 %rH
Neistota vlhkosti	< 4 %rH
Neistota tlaku > 100 hPa	< 1 hPa
Neistota tlaku 100 – 10 hPa	< 0,2 hPa
Neistota tlaku < 10 hPa	< 0,04 hPa
Neistota geopotenciálnej výšky	< 8 m
Neistota rýchlosti vetra	< 0,1 m/s



Obr.20 Rádiosonda DFM-17 [24]

4.3.2 DFM-09

Táto rádiosonda sa tiež vyznačuje malou hmotnosťou a veľkosťou. Ide o jednu z najpoužívanejších rádiosond na denné merania. [25]

Tab.8 Technické parametre rádiosondy DFM-09 [25]

Hmotnosť	< 100g, pripravená na štart
Veľkosť	200 x 42 x 60 mm
Napájanie	Lítiová batéria
Životnosť batérie	> 140 min
Hľadanie vetra	GPS(48 kanálov)
Doba odozvy	Jeden celý data set za sekundu
Šírka pásma	< 10 kHz
Frekvenčný rozsah	400-406 MHz
Frekvenčná odchylka	± 3 kHz
Modulácia	FSK
Výstupný výkon telemetrie	100 mW, typické
Oprava chýb telemetrie	Intervalové/OVSF
Možnosti hľadania vetra	C/A kód GPS
Teplotné rozlíšenie	0,1°C
Teplotná presnosť	< 0,2°C
Rozlíšenie vlhkosti	1 %rH
Neistota vlhkosti	< 4 %rH
Presnosť merania tlaku	< 0,3 hPa
Presnosť geopotenciálnej výšky	< 10 m
Presnosť rýchlosti vetra	< 0,2 m/s
Presnosť horizontálnej pozície	< 5 m



Obr.21 Rádiosonda DFM-09 [25]

5 PREDPISY PRE METEOROLOGICKÉ BALÓNY

Voľné balóny, kde sa radia aj tie meteorologické, majú taktiež právne obmedzenia. Predpis L2-pravidlá lietania upravuje taktiež prevádzkovanie bezpilotných lietadiel, konkrétnejšie Dodatok 5 sa špecializuje na voľné balóny bez pilota so záťažou. Prevádzkovanie voľných balónov bez pilota, ktoré sa klasifikujú podľa bodu 1, písmenami a) až c) a prevádzka uviazaných balónov bez pilota na palube sa riadi v súlade s ust.3.1.12 Hlavy 3 a Doplnkom R. Meteorologický balón s rádiosondou sa klasifikuje ako ľahký balón. [26]

5.1 VŠEOBECNÉ PRAVIDLÁ PREVÁDZKOVANIA

Na vypustenie meteorologického balóna je potrebné príslušné oprávnenie vydané štátom. Ak je dôvodný predpoklad, že balón v dôsledku vetra bude zanesený na vzdušný priestor iného štátu, musí mať na to oprávnenie, ktoré bolo získané pred vypustením balóna. Pre meteorologické balóny kde je tento predpoklad vysoký sa dá zriadiť aj pre sériu letov. Voľný balón bez pilota musí mať také opatrenia aby pri náraze balóna alebo časti nákladu na zem nepredstavoval ohrozenie a nebezpečenstvo pre osoby alebo majetok. Doplnok R upravuje podmienky pre prevádzku balónov bez pilota na palube. Balón bez pilota nemôže prepravovať nebezpečné látky alebo zariadenia, ktoré by mohli spôsobiť škodu na majetku alebo všeobecné ohrozenie. [26]

CHARAKTERISTIKY		HMOTNOSŤ ZÁTĚŽE (kilogramy)					
		1	2	3	4	5	6 a více
LANO nebo JINÉ ZAVĚŠENÍ		TĚŽKÝ					
230 Newtonů nebo VÍCE							
ZÁTĚŽ JEDNOTLIVÉHO BALENÍ	PLOŠNÉ ZATÍŽENÍ vyšší než 13 g/cm ²	TĚŽKÝ					
VÝPOČET PLOŠNÉHO ZATÍŽENÍ	PLOŠNÉ ZATÍŽENÍ nižší než 13 g/cm ²						
Hmotnost (g)	Plocha nejmenšího povrchu (cm ²)	LEHKÝ		TĚŽKÝ			
CELKOVÁ HMOTNOST (Jestliže se zavěšení nebo plošné zatížení nebo hmotnost jednotlivých zátěží neuvádí samostatně)		LEHKÝ		STŘEDNÍ			

Obr.22 Klasifikácia voľných balónov bez pilota na palube [26]

6 NÁVRH RIEŠENIA PRE ČASTEJŠIE MERANIA

Navrhované riešenia sa dajú rozdeliť do viacerých kategórií. Z hľadiska cenového, z hľadiska frekvencie meraní a z hľadiska či dnešný systém zberu dát pomocou meteorologického balóna bude optimalizovaný alebo sa vyvinie úplne nový systém.

V poslednom čase sa začalo využívať na rôzne operácie väčšie množstvo dronov (UAV). Pre meteorologické využitie by sa samotné snímače vedeli pripevniť ku samotnému dronu, ktorý by bol vnesený buď pomocou balóna, alebo pomocou vlastnej pohonnej jednotky. Jednou z najvýraznejších výhod dronov by bola možnosť návratu na domovskú stanicu a nemuselo by tak dochádzať k dohľadávaniu. Tomuto spôsobu zberu dát som sa v mojej bakalárskej práci nevenoval, keďže osobným cieľom bolo nájsť a navrhnúť také riešenie, ktoré by bolo čo najmenej finančne náročné a hlavne by sa dalo uplatniť čo v najkratšom čase. Návrh konštrukcie dronu a návrh systému, ktorý by zberal presné dáta a dostal dron naspäť na určenú lokalitu, by predĺžilo a predražilo investičné náklady a čas, za ktorý by bol celý koncept pripravený na nasadenie do meteorologických staníc. Druhou mojou podmienkou bola jednoduchá príprava, pri ktorej by nemusela prebiehať rozsiahla rekvalifikácia a naučenie procesu by netrvalo dlho.

Hlavná časť môjho návrhu sa bude zaoberať cenovo výhodnejšiemu riešeniu zberu dát pomocou meteorologických balónov a rádiosond.

Zmena by nastala v ich prevádzkovaní a zbieraní. Cieľom je zastaviť jednorazové vypúšťanie a nahradiť ho systémom, ktorý by sa po nameraní termodynamických parametrov vrátil na zem a bol by z väčšej časti opakovateľne používaný. K tomuto výsledku je potrebné na meranie použiť sondy, ktoré by garantovali presný výsledok po opakovanom vypustení do stratosféry. Taktiež je potrebné uchovať meteorologický balón na viac ako jedno použitie tým, že balón v kritickej výške pri kritickom tlaku nepraskne, ale postupne sfúkne a vráti sa spolu s rádiosondou na zem. O sfúknutie balóna sa postará ventil, ktorý bude pripevnený na hrdle balóna. Týmto spôsobom by sa na ďalšie vypustenie sond nemusel používať nový balón a rádiosonda, čo by znížilo náklady, a tým by prispelo k väčšiemu počtu meraní pri menších finančných investíciách. Pri návrate a opakovanému použitiu balóna tak nedochádza k znečisťovaniu okolitého prostredia, ktoré vznikajú pri prasknutí a nedohľadanej rádiosonde.

6.1 ROČNÉ FINANČNÉ NÁKLADY PRE KLASICKÉ AEROLOGICKÉ MERANIA

Cena meracieho systému (rádiosonda, padák, balón, laná) závisí od zmluvy, výrobcu a množstva. Na porovnanie návrhu a terajšieho klasického spôsobu merania budú použité modelové ceny, ktoré sa pohybujú v rozmedzí skutočných cien. K nákladom treba pripočítať aj čas, ktorý je potrebný na prípravu vypustenia rádiosondy.

Predpoklady:

- každá časť setu je použiteľná iba raz,
- po nameraní a dopadu rádiosondy sa sonda nedohľadáva,
- účinnosť systému je 100%,
- frekvencia meranie je 2x denne.

Tab.9 Modelové ceny jednotlivých komponentov

	cena v Kč
meteorologický balón (800g)	1200
rádiosonda RS41-SG	4000
platený čas na prípravu	47
náplň balóna	300
cena za jeden let(set)	5547

6.1.1 MESAČNÉ FINANČNÉ NÁKLADY

Pri mesačných finančných nákladoch suma závisí od počtu dní v danom mesiaci. Rovnica na výpočet mesačných nákladov:

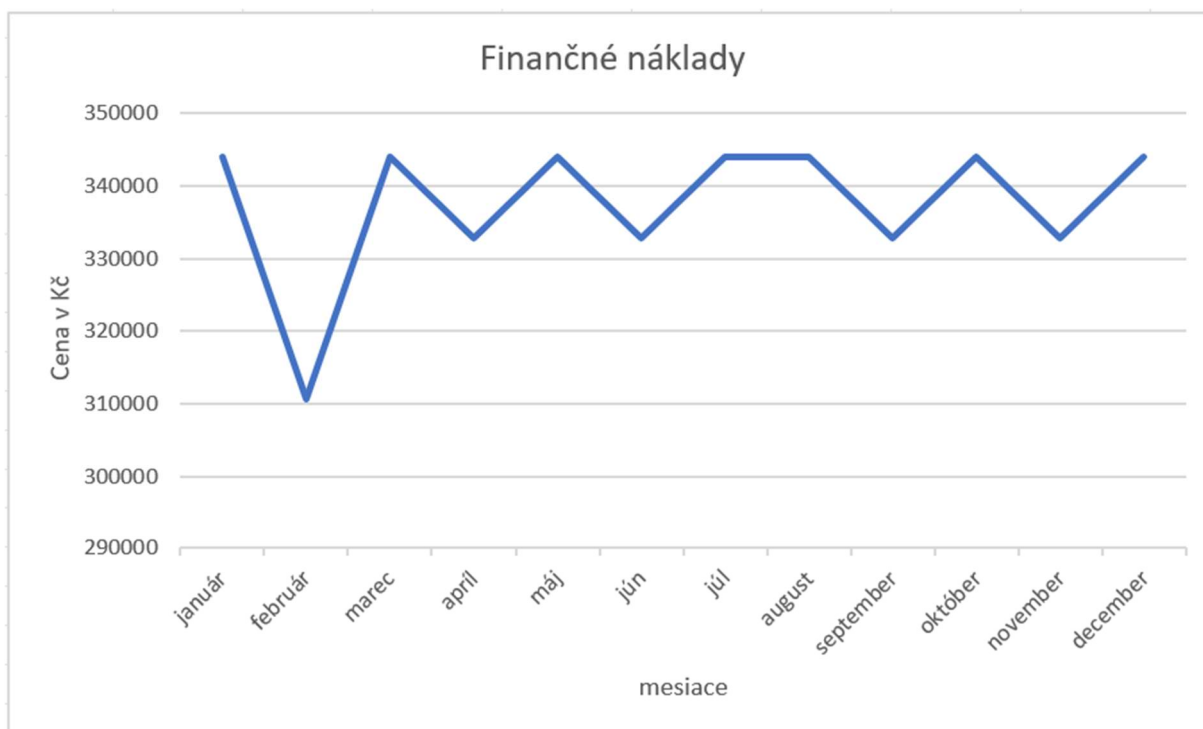
$$cena_{mesiac} = cena_{setu} \cdot frekvencia\ merania\ za\ deň \cdot počet\ dní\ v\ mesiaci \quad (8)$$

Kde:

- cena setu = 5547Kč,
- frekvencia merania = 2x denne,

Tab.10 Mesačné finančné náklady pre klasické aerologické meranie

mesiac	Kč
január	343914
február	310632
marec	343914
apríl	332820
máj	343914
jún	332820
júl	343914
august	343914
september	332820
október	343914
november	332820
december	343914



Obr.23 Finančné náklady pre klasické aerologické meranie

6.1.2 ROČNÉ FINANČNÉ NÁKLADY

Ročné finančné náklady pri každodennom meraní boli počítané podľa rovnice:

$$cena_{rok} = cena_{setu} \cdot frekvencia\ merania \cdot počet\ dní\ v\ roku \quad (9)$$

Kde:

- cena setu = 5547Kč,
- frekvencia merania = 2x denne,
- počet dní v roku= 365.

Výsledné celkové náklady za ročné obdobie pri vypúšťaní 2x denne počas 365 dní vyjdú na **4 049 310Kč**.

Táto cena reflektuje 100% účinnosť merania. Je predpokladané, že nebude dochádzať k opakovanému meraniu v dôsledku chýb sond, predčasnemu prasknutiu balóna a podobne. Taktiež je to najnižšia možná cena pre tento model klasického aerologického merania.

6.2 ROČNÉ FINANČNÉ NÁKLADY PRE NAVRHOVANÝ MODEL ZBERU DÁT

Pri tomto modeli sa predpokladá taká cena rádi sondy, ktorá zvládne opakované merania. Bude použitý latexový balón. Pre najkonzervatívnejší výsledok na porovnanie cien bude používaná čiastočná účinnosť menšia ako 100%.

Celkové vybavenie pre vonkajšie meteorologické meranie:

- Meteorologický balón
- Rádi sonda spolu s odvíjacím mechanizmom a lanom
- Ventil na vypustenie plynu v balóne
- Pri vyššej hmotnosti bude použitý padák (neuvažovaný)

Predpoklady:

- každá časť setu sa bude dať použiť znova,
- po dopadnutí rádi sondy sa sonda dohľadá,
- frekvencia merania bude 2x denne,
- účinnosť systému bude menšia ako 100%.

Pre zabezpečenie funkčnosti tohto navrhovaného cenového modelu budú použité nasledovné obmedzenia:

- rádi sonda s opakovateľným použitím zabezpečí presné merania na 4 výstupy,
- latexový balón vydrží 2 výstupy, t. j. môže byť použitý opakovane raz.

Tab.11 Modelové ceny jednotlivých komponentov

	Cena v Kč
meteorologický balón(800g)	1200
znovu použiteľná rádi sonda	6000
ventil na vypustenie plynu v balóne	300
platený čas na prípravu	50
náplň balóna	350
cena za 1 let(set)	7900

Pri reálnych podmienkach sa stáva, že sa celý set nepodarí dohľadať alebo bude z iných dôvodov nepoužiteľný. Preto ako ďalšie opatrenie každý mesiac sa predpokladá **dokúpenie 10 setov** ako rezervu.

6.2.1 DOHĽADÁVANIE SETOV

Na rozdiel od klasickej prevádzky vypúšťania rádi sond sa v tomto modeli budú sondy s balónmi dohľadávať. Dohľadávanie nesie so sebou ďalšie finančné náklady a potrebný čas.

Predpoklady:

- vyhradený čas na dohľadávanie bude 1 pracovný deň (8h),
- mzda je 140 Kč/h,
- dohľadávanie sa realizuje 2x týždenne (s rozostupmi 2 -3 dni),
- do dohľadávania budú zapojení dvaja pracovníci.

Rádus priemernej vzdialenosti dopadnutých rádi sond sa pohybuje okolo 60 km. Na dopravu k miestu dopadu budú použité služobné automobily.

Predpoklady:

- vzdialenosť prejdená za deň je 270km,
- cena nafty je 45 Kč,
- spotreba vozidla je 6,5 l/100km.

Cena za jeden deň dohľadávania sa určí vzťahom:

$$cena_{deň} = n \cdot m \cdot x + \frac{v}{100} \cdot s \cdot c \quad (10)$$

Kde:

- n = počet pracovníkov=2
- m =mzda=140 Kč/h
- x =počet odpracovaných hodín=8
- v =prejdená vzdialenosť=270 km
- s =spotreba nafty na 100 km=6,5 l
- c =cena nafty=45 Kč

Výsledná cena za deň dohľadávania je **3030 Kč**.

Ďalšia možnosť získania setov naspäť je pomocou dobrovoľníkov, ktorým by bola za nájdenie a odovzdanie setu odovzdaná finančná odmena s vopred určenou sumou. Po dohľadaní a vrátení setu na stanicu bude set prekontrolovaný a pripravený na ďalšie použitie.

6.2.2 OBMIEŇANIE SETOV

Jeden z hlavných princípov fungovania tejto metódy sú znovu použiteľné sety. Tieto sety sa po vrátení na meteorologickú stanicu pripravujú na ďalšie použitie. Pre týždenné plynulé fungovanie tohto systému s dohľadávaním každé 2-3 dni je potrebné použiť spolu 10 setov.

Legenda:

- (A-J)-jednotlivé znovu použiteľné sety
- B-výmena meteorologických balónov danej dvojice setov
- S-výmena znovu použiteľných rádi sond danej dvojice setov

Pondelok	Utorok	Streda	Štvrtok	Piatok	Sobota	Nedeľa
Dohľadavanie 1 Prvotná kúpa	2 Prvotná kúpa	3 Prvotná kúpa	Dohľadavanie 4 Prvotná kúpa	5	6	7 Prvotná kúpa
I,J	A,B	C,D	E,F	A,B	C,D	G,H
Dohľadavanie 8	9 B	10 B	Dohľadavanie 11	12	13	14
I,J	A,B	C,D	E,F	A,B	C,D	G,H
Dohľadavanie 15 B	16 B,S	17 B,S	Dohľadavanie 18 B	19	20	21 B
I,J	A,B	C,D	E,F	A,B	C,D	G,H
Dohľadavanie 22	23 B	24 B	Dohľadavanie 25	26	27	28
I,J	A,B	C,D	E,F	A,B	C,D	G,H
Dohľadavanie 29 B,S	30 B,S	31 B,S				
I,J	A,B	C,D				

Obr.24 Plán cyklov, výmien, kúp setov, balónov a rádiosond pre január

Každý deň, okrem dní, kedy boli zrealizované prvotné kúpy, sú do výpočtu celkovej prevádzkovej ceny za mesiac pripočítané mzdy za čas, ktorý je potrebný na prípravu sondy a plniaci plyn. Tieto ceny pri prvotných kúpach sú už zohľadnené. Na výpočet ceny za január je použitý vzorec:

$$c_{Jan} = z + n_1 \cdot c_1 + n_2 \cdot c_2 + n_3 \cdot c_3 + n_4 \cdot c_4 + 2 \cdot \left\{ (n_d - pk) \cdot c_5 + (n_d - pk) \cdot \frac{m}{2,8} \right\} \quad (11)$$

Kde:

- z = potrebný nákup na obchod (cena 10 setov, A-J)
- n_1 = počet dohľadovacích dní
- c_1 = cena za dohľadavania za deň
- n_2 = počet kusov setov ako rezerva
- c_2 = cena setu
- n_3 = počet výmen znovu použiteľných rádiosond
- c_3 = cena znovu použiteľnej rádiosondy
- n_4 = počet výmen meteorologických balónov
- c_4 = cena meteorologického balóna
- n_d = počet dní v mesiaci
- c_5 = cena za plniaci plyn/náplň balóna
- m = mzda
- pk = počet dní, kedy bola prvotná kúpa

Pre mesiace, kde nie je potrebný nákup na obchod (prvotná kúpa setov) sa cena vypočíta rovnakým spôsobom okrem pripočítania týchto nákladov.

$$c_{feb} = n_1 \cdot c_1 + n_2 \cdot c_2 + n_3 \cdot c_3 + n_4 \cdot c_4 + 2 \cdot \left\{ n_d \cdot c_5 + n_d \cdot \frac{m}{2,8} \right\} \quad (12)$$

Pondelok	Utorok	Streda	Štvrtok	Piatok	Sobota	Nedeľa
			Dohľadavanie S	1	2	3
			E,F	A,B	C,D	G,H
Dohľadavanie	5	6	Dohľadavanie	8	9	10
	B	B				
I,J	A,B	C,D	E,F	A,B	C,D	G,H
Dohľadavanie	12	13	Dohľadavanie	15	16	17
B	B,S	B,S	B			B
I,J	A,B	C,D	E,F	A,B	C,D	G,H
Dohľadavanie	19	20	Dohľadavanie	22	23	24
	B	B				
I,J	A,B	C,D	E,F	A,B	C,D	G,H
Dohľadavanie	26	27	28			
B,S	B,S	B,S				
I,J	A,B	C,D				

Obr.25 Plán cyklov, obmien setov a balónov pre február

6.2.3 VYČÍSLENIE PREDPOKLADANEJ CENY

Pri mesačnom a ročnom vyčíslení ceny budú reflektované:

- obmedzenia znovu použiteľnej rádiosondy,
- obmedzenia znovu používania balónov,
- rezerva 10 setov,
- obmieňanie setov,
- mzda za čas strávený prípravou,
- dopĺňanie dohľadaných setov plniacim plynom,
- dohľadavanie.

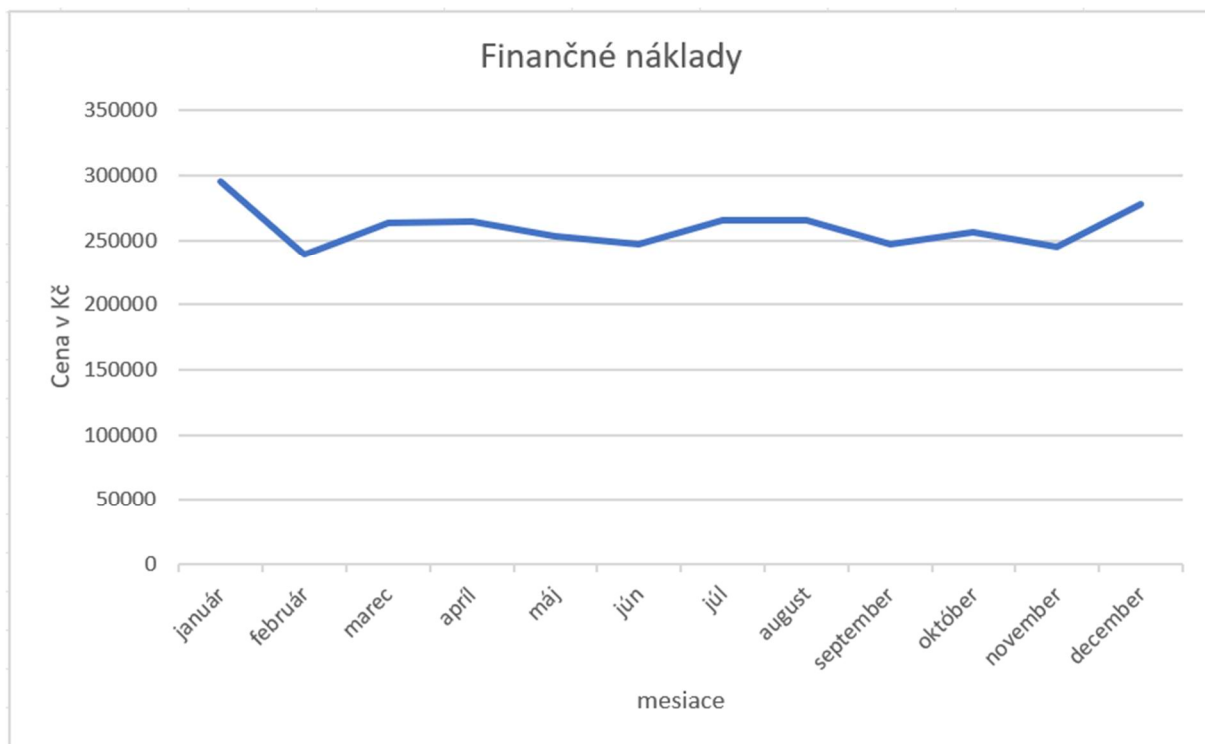
Výpočet predpokladanej ceny za rok sa vypočíta vzťahom:

$$cena_{rok(návrh)} = \sum_{i=1}^{12} mesiac_i \quad (13)$$

Tab.12 Mesačné finančné náklady pre navrhované aerologické meranie

mesiac	Kč
január	294870
február	238440
marec	263070
apríl	264670
máj	253470
jún	247240
júl	265470
august	265470
september	247240
október	256500
november	244840
december	277470

Ročné finančné náklady pre navrhované aerologické meranie vyjdú na **3 118 750 Kč**.



Obr.26 Finančné náklady pre navrhované aerologické meranie

6.3 POROVNANIE

Pri porovnaní klasického a navrhovaného modelu zber dát pomocou aerologických sond musia byť vnímané nasledujúce fakty:

- Výsledná cena pre klasické aerologické meranie je pre 100% účinnosť merania, t.j. najnižšia možná cena.
- Výsledná cena pre navrhovaný model zberu dát obsahuje aj čiastku, ktorá korešponduje s každomesačnou kúpou 10 setov ako rezervy, t.j. pri 100% účinnosti by cena bola nižšia.

Tab.13 Výsledné ceny za rok a cenový rozdiel

	Cena v Kč za rok
klasické aerologické meranie	4 049 310
navrhované aerologické meranie	3 118 750
cenový rozdiel	930 560

Navrhovaný model zberu dát vyjde s danými parametrami a špecifikáciami o **930 560 Kč** lacnejšie ako klasické aerologické meranie, čo je v prepočte **22,9%**.

Pri predpoklade financovania navrhovaného modelu zberu dát klasickým aerologickým meraním(4 049 310 Kč),by navrhované meranie mohlo namiesto 12 mesiacov fungovať **15,5 mesiaca**.

7 KONCEPČNÝ NÁVRH VYPÚŠŤACIEHO VENTILU

Pre návrat balóna na zem v nepoškodenom stave je potrebné nájsť riešenie, ktoré dokáže vypustiť náplň balóna pred prasknutím. Navrhovaná súčiastka je pre latexový balón veľkosti 800. Pre iné veľkosti latexových balónov by sa návrh menil podľa potreby. Základné parametre balóna (800) je priemer hrdla 3 cm a dĺžka hrdla 12 cm.

Požiadavky:

- jednoduché ovládanie
- malá hmotnosť
- jednoduchá výroba
- cenovo dostupné
- čisto mechanický systém

Ventil sa skladá z 3 hlavných častí:

- obal
- tesniaci krúžok
- vnútorná zarážka

7.1 OBAL VYPÚŠŤACIEHO VENTILU

Obal pozostáva z dutého valca, ktorý sa na hornej časti rozširuje a kopíruje tvar balóna. Táto modifikácia slúži na prípadne rozloženie koncentrácie napätia, ktoré môže pôsobiť na latexový balón v danom mieste a prispieť ku skoršiemu, nekontrolovateľnému prasknutiu. V strede sa nachádza upínacia časť, ku ktorej sa pripevnia lanká, ktoré spájajú balón so sondou, poprípade padákom. V spodnej časti sa nachádza ventil, ktorý zaisťuje vypustenie obsahu balóna pred jeho prasknutím. Výrezy v spodnej časti obalu slúžia na zaistenie lepšej elasticity pri vyberaní a vkladaní samotného ventilu do obalu.



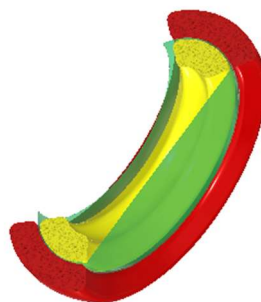
Obr.27 Vonkajšia časť ventilu

7.2 PRINCÍP FUNGOVANIA VENTILU

Samotný ventil sa skladá z dvoch častí. Z tesniaceho krúžku, ktorý zapadne a vloží sa do vonkajšieho obalu a vnútornej zarážky. Ventil je skonštruovaný tak, aby bol jednoduchý na obsluhu a rýchlu manipuláciu. Celý princíp spočíva v tom, že medzi tesniaci krúžok a vnútornú zarážku sa vloží blana v tvare kruhu, ktorá bude mať elastické a plastické vlastnosti horšie ako samotný latexový balón (v našom prípade to môže byť vyrezaný kruh z latexového balónu, ktorý má tenšiu hrúbku steny).

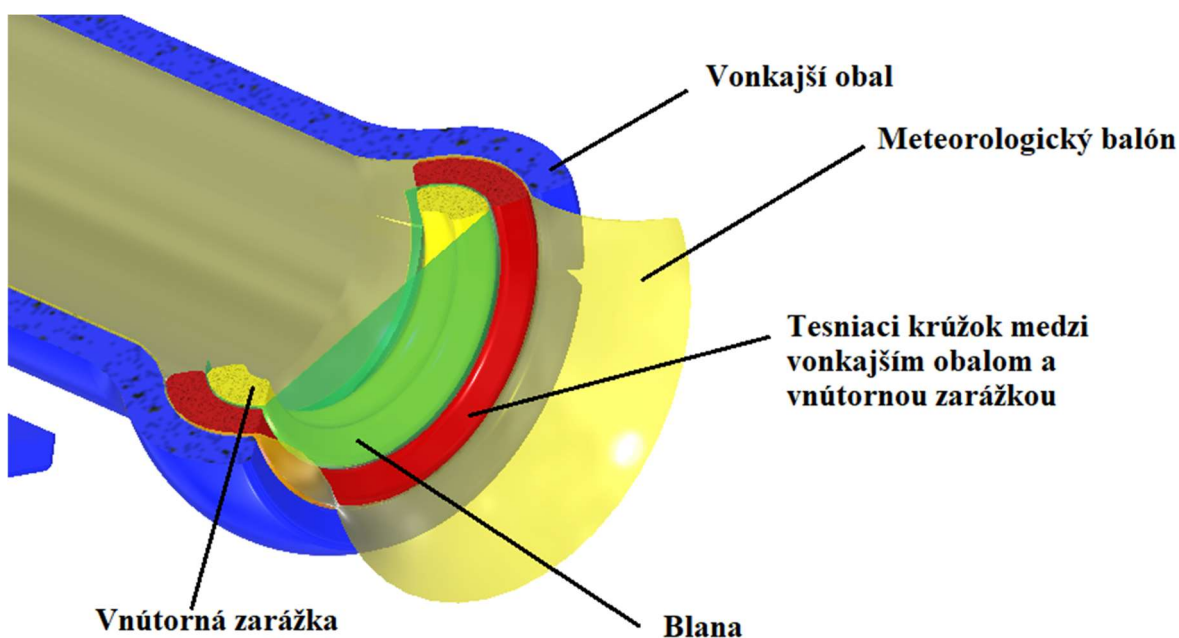


Obr.29 Ventil s pripevnenou blanou



Obr.28 Rez ventilu s pripevnenou blanou

Pri kritickej výške pri kritickom tlaku najskôr praskne ventilová blana a nie samotný balón. Pri prasknutí blany dôjde k vypusteniu plniaceho plynu a balón so sondou začne klesať. Blana sa zaistí pomocou vnútornej zarážky na tesniaci krúžok pomocou tlakových síl. Tak isto sa zaistí aj tesniaci krúžok k vonkajšiemu obalu. Podľa hmotnosti celej zostavy bude alebo nebude potrebný padák.



Obr.30 Rez spodnou časťou ventilu

Materiál použitý na výrobu ventilu by mal byť ľahký a dostatočne pevný pri výkyve teplôt v rozmedzí 40 až -60°C. Ďalšou dôležitou vlastnosťou je odolnosť voči cyklickému namáhaniu a dostatočná pružnosť (elasticita), ktorá umožní jednoduché zaobchádzanie pri vkladaní a vyberaní ventilu z vonkajšieho obalu alebo blany medzi vnútornou zarážkou a tesniacim krúžkom.



Obr.31 Meteorologický balón s ventilom

Výrobná metóda ventilu môže byť 3D tlačou alebo pre veľkovýrobu vstrekováním roztaveného plastu do formy. Cieľom bude zabezpečiť vzduchotesnosť celého ventilu, hlavne na konci ventilu, kde všetky súčiastky zapadajú do seba.

ZÁVER

Úlohou tejto bakalárskej práce bolo navrhnúť spôsob aerologického merania, ktorý by umožnil častejšie merania.

Prvá časť práce je venovaná prehľadu dnes používaných aerologických sond, ich parametrom a rozdielom. Následne sú vysvetlené princípy fungovania základných senzorov z fyzikálneho hľadiska. Každá radiosonda má špecifické vlastnosti a uplatnenie pre dané meranie a výzkum. Preto je potrebné zvoliť správnu sondu s požadovanými parametrami a presnosťami merania .

Pri vypúšťaní radiosond spolu s meteorologickými balónmi musia byť splnené a dodržané právne predpisy spojené s prevádzkovaním, nahlasovaním a vypúšťaním týchto sond. Právne predpisy sú zhrnuté s dôrazom na klasifikáciu meteorologického balóna a všeobecnými pravidlami pre tieto lety.

V praktickej časti práce je navrhnutý spôsob aerologického merania, ktorý by umožnil častejšie merania. Tento návrh vychádza zo spôsobu klasického aerologického merania, ktorý sa využíva dnes. Po pochopení klasického spôsobu merania sú implementované zmeny, ktoré zaistia lacnejšie prevádzkové náklady. Hlavným rozdielom sú znovu použiteľné sondy a balóny, ktoré počas svojej životnosti budú opakovane používané. Vďaka tomu sa náklady znížia. Pri rovnakom financovaní navrhnutý spôsob dokáže vydržať v prevádzke o 3,5 mesiaca viac, čo umožní častejšie merania.

V závere práce je navrhnutý koncepčný návrh vypúšťacieho ventilu, ktorý zabezpečí, aby balón v kritickej výške pri kritickom tlaku nepraskol, ale sfúkol a dal sa znova použiť.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] A Brief History of Upper-air Observations. In: *NATIONAL WEATHER SERVICE* [online]. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.weather.gov/upperair/reqdahdr>
- [2] DECOU, David. *USING KITES FOR METEOROLOGICAL MEASUREMENT OF THE TROPICAL MARINE BOUNDARY LAYER* [online]. Honolulu, 2018 [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/server/api/core/bitstreams/fe6c1836-200f-4317-b20a-e0a6bf4dc962/content>
- [3] DUBOIS, John L. Invention and Development of the Radiosonde with a Catalog of Upper-Atmospheric Telemetering Probes in the National Museum of American History, Smithsonian Institution. *Smithsonian Studies in History and Technology* [online]. 2002 [cit. 2022-03-10]. ISSN 0081-0258. Dostupné z: doi:10.5479/si.00810258.53.1
- [4] PEPIN, Marie-Hélène. *Meteorological observations over the past centuries* [online]. 2019 [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: https://www.encyclopedie-environnement.org/en/air-en/meteorological-observations-over-past-centuries/#5_Upper_air_observations
- [5] *Weather Balloons* [online]. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: https://www.weather.gov/bmx/kidscorner_weatherballoons
- [6] DABBERDT, W, R SHELLHORN, H COLE, A PAUKKUNEN, J HÖRHAMMER a V ANTIKAINEN. *RADIOSONDES*. 2003. Elsevier Science Ltd, 2003.
- [7] *Meteorological Parachute* [online]. In: . [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://internet.co/balloons/meteorological-parachute/>
- [8] PRIBULLOVÁ, Anna. *BP-meteorologické meranie- otázka*. [elektronická pošta]. Message to: knothadam99@gmail.com [cit. 2022-09-05] Osobná komunikácia.
- [9] WU, Joseph. *A Basic Guide to RTD Measurements* [online]. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/an/sbaa275/sbaa275.pdf?ts=1647032195569&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F
- [10] *Vaisala Radiosonde RS41-SG* [online]. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/WEA-MET-RS41-Datasheet-B211321EN.pdf>
- [11] *Vaisala Radiosonde RS41 Measurement Performance* [online]. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/WEA-MET-RS41-Performance-White-paper-B211356EN-B-LOW-v3.pdf>

- [12] *Kapacitní měření vlhkosti. Princip měření. Jak funguje?* [online]. In: . [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.ekotechnika.com/clanky/kapacitni-mereni-vlhkosti-princip-mereni-jak-funguje/>
- [13] *GPS-Based Measurement Methods* [online]. In: . 2013 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/GPS-Based%20Measurement%20of%20Height%20and%20Pressure%20with%20Vaisala%20Radiosonde%20RS41%20White%20Paper%20B211316EN.pdf>
- [14] *Ozone Sounding with Vaisala Radiosonde RS41* [online]. Vaisala Oyj, 2019 [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/Ozone%20Sounding%20with%20Vaisala%20Radiosonde%20RS41%20User%27s%20Guide%20M211486EN-C.pdf>
- [15] MOTL, Martin. *Otázka Bakalárska práca*. [elektronická pošta]. Message to: knothadam99@gmail.com [cit. 2022-09-05] Osobná komunikácia.
- [16] *Vaisala in brief* [online]. In: . [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.vaisala.com/en/vaisala-company/vaisala-brief>
- [17] *RS41 User Guides* [online]. In: . [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://docs.vaisala.com/search/all?query=RS41+User+Guides&content-lang=en-US>
- [18] *Registr smluv* [online]. In: . [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://smlouvy.gov.cz/smlouva/10758216?backlink=2nez6>
- [19] *Ozónová rádiosonda RSA* [online]. In: . [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.radiosonda.sk/ozonova-radiosonda-rsa/>
- [20] *Automatic Sounding Station Vaisala AUTOSONDE® AS41* [online]. Vaisala [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/AS41-Datasheet-B211636EN.pdf>
- [21] *Vaisala Unmanned Sounding System AUTOSONDE®* [online]. 2011 [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: https://manualzz.com/doc/8400636/folheto_autosonda
- [22] *RADIOSONDES* [online]. In: . [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.graw.de/products/radiosondes/>
- [23] *GRAW IN 125 WORDS* [online]. In: . [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.graw.de/company/who-is-graw/graw-in-125-words/>
- [24] *DFM-17* [online]. In: . [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.graw.de/products/radiosondes/dfm-17/>
- [25] *DFM-09* [online]. In: . [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.graw.de/products/radiosondes/dfm-09/>

- [26] *Predpisy* [online]. In: . 2014 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [27] *British observation balloon from 1908, typical of pre-WWI observation balloons* [online]. In: . 2022 [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Observation_balloon#/media/File:Observation_balloon_RAE-O982a.jpg
- [28] *D.C. weather balloon falls on car in Philadelphia and is mistaken for bomb* [online]. In: . [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.washingtonpost.com/news/capital-weather-gang/wp/2015/11/23/d-c-weather-balloon-falls-on-car-in-philadelphia-and-is-mistaken-for-bomb/>
- [29] *Sounding Balloons* [online]. In: . [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <http://www.weatherballoons.asia/sounding-balloons>
- [30] *Radiosonde RS41* [online]. In: . [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.yodify.com/Products/zPjyz/Radiosonde-RS41>
- [31] *Sounding System MW41* [online]. In: . [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.vaisala.com/en/products/weather-environmental-sensors/digicora-sounding-system-mw41>
- [32] *Insides of a Vaisala RS41 and RS92 - note the Energizer Lithium AAs!* [online]. In: . [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://twitter.com/vk5qi/status/947744908391018496>
- [33] *Radiosonde RS41 temperature measurement technology* [online]. In: . [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: https://library.wmo.int/pmb_ged/iom_116_en/Session%203/P3_16_Juhiainen_Radiosonde_RS41_RS92_Key_Differences_Comparison_TestResults.pdf
- [34] DIFFERENCES BETWEEN MEASURED AND MODELLED GEOPOTENTIAL HEIGHTS AT THE POPRAD-GÁNOVCE UPPER-AIR STATION. *METEOROLOGICKÝ ČASOPIS* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/MET_CASOPIS/MC_2018-2.pdf

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr.1 Prvotné pozorovacie balóny [27]	12
Obr.2 Ukážka troch rôznych typov meteorologických šarkanov v tandeme nosiaci meteograf [2]	13
Obr.3 Termometer a barometer vypustený v roku 1892. [3]	13
Obr.4 Prvé rádi sondy v Trappe okolo roku 1930 [4]	14
Obr.5 Expanzia balóna 30,5 km nad morom(text obrázku preložený z AJ)[25]	15
Obr.6 Meteorologický balón spolu s padákom a rádi sondou [28]	15
Obr.7 Obrázok tabuľky veľkostí meteorologických balónov a ich parametre [29]	16
Obr.8 Horizontálna vzdialenosť nájdených rádi sond od miesta vypustenia(Gánovce 2016/17) [34]	16
Obr.9 Rádi sonda RS41 spolu s nylonovým lanom [30]	17
Obr.10 Systém MW41 pre vyhodnocovanie dát a testovanie rádi sond [31]	17
Obr.11 Vnútro rádi sondy RS41(vpravo) a rádi sondy RS92 [32]	18
Obr.12 Zmena odporu PT100 od -200°C do 800°C [9]	20
Obr.13 Teplotný senzor na rádi ssonde RS41 [33]	20
Obr.14 Kondenzátor [12]	21
Obr.15 Výpočet atmosférického tlaku [13]	23
Obr.16 Schematické zobrazenie buniek s roztokom(text obrázku preložený z AJ) [14]	25
Obr.17 Ozónová rádi sonda [14]	28
Obr.18 AUTOSONDE AS41 [21]	29
Obr.19 Rotačný zásobník [21]	29
Obr.20 Rádi sonda DFM-17 [24]	30
Obr.21 Rádi sonda DFM-09 [25]	31
Obr.22 Klasifikácia voľných balónov bez pilota na palube [26]	32
Obr.23 Finančné náklady pre klasické aerologické meranie	35
Obr.24 Plán cyklov, výmien, kúp setov, balónov a rádi sond pre január	38
Obr.25 Plán cyklov, obmien setov a balónov pre február	39
Obr.26 Finančné náklady pre navrhované aerologické meranie	40
Obr.27 Vonkajšia časť ventilu	42
Obr.28 Rez ventilu s pripevnenou blanou	43
Obr.29 Ventil s pripevnenou blanou	43
Obr.30 Rez spodnou časťou ventilu	43
Obr.31 Meteorologický balón s ventilom	44

ZOZNAM TABULIEK

<i>Tab. 1 Požiadavky na presnosť podľa WMO [6]</i>	19
<i>Tab.2 Teplotný senzor [11]</i>	20
<i>Tab.3 Senzor vlhkosti [11]</i>	22
<i>Tab.4 Špecifikácie merania geopotenciálnej výšky [11]</i>	22
<i>Tab.5 Špecifikácie merania tlaku [11]</i>	23
<i>Tab.6 Špecifikácie merania rýchlosti a smeru vetra [11]</i>	24
<i>Tab.7 Technické parametre rádiosondy DFM-17 [24]</i>	30
<i>Tab.8 Technické parametre rádiosondy DFM-09 [25]</i>	31
<i>Tab.9 Modelové ceny jednotlivých komponentov</i>	34
<i>Tab.10 Mesačné finančné náklady pre klasické aerologické meranie</i>	34
<i>Tab.11 Modelové ceny jednotlivých komponentov</i>	36
<i>Tab.12 Mesačné finančné náklady pre navrhované aerologické meranie</i>	40
<i>Tab.13 Výsledné ceny za rok a cenový rozdiel</i>	41