

Bakalářská práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

**F3**

Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektromagnetického pole

## Přenos telemetrických dat z meteorologického balónu

**Jakub Dvořák**

Vedoucí: Ing. Tomáš Kořínek, Ph.D.  
Květen 2022



## Poděkování

Děkuji vedoucímu Tomáši Kořínkovi za cenné rady a pomoc při realizaci práce. Děkuji Ing. Martinu Motlovi za pomoc s vypouštěním sondy. (tmobile tracker)

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s použitím literárních pramenů a informací, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.

V Praze, 20. května 2022

## Abstrakt

Aaaabstrakt

**Klíčová slova:** slovo, klíč

**Vedoucí:** Ing. Tomáš Kořínek, Ph.D.  
Technická 2,  
Praha 6

## Abstract

Abstract

**Keywords:** word, key

**Title translation:** Telemetric Data  
Transmission from Meteorological  
Balloon

## Obsah

### 1 Úvod 1

1.1 Cíl práce ..... 1

1.2 Způsob řešení ..... 1

### 2 Návrh experimentu 3

2.1 Šíření vln ve troposféře ..... 3

2.2 Měřená data ..... 3

2.3 Součásti experimentu..... 3

### 3 Návrh systému 5

3.1 Požadavky ..... 5

3.2 Hardware ..... 5

3.3 Software ..... 5

### 4 Realizace 7

4.1 Hardware ..... 7

4.2 Firmware ..... 7

4.3 Software ..... 7

4.4 Mechanická zástavba ..... 8

4.5 Testování ..... 8

### 5 Experiment 9

5.1 Průběh experimentu ..... 9

5.2 Naměřená data ..... 9

### 6 Výsledky 11

6.1 Zpracování dat ..... 11

6.2 Výstup z experimentu ..... 11

6.3 Vizualizace dat ..... 11

### 7 Závěr 13

7.1 Shrnutí experimentu ..... 13

7.2 Možná vylepšení ..... 13

### 8 Conclusions 15

8.1 Test — this is just a little test of something in the table of contents 15

8.1.1 Yes, table of contents ..... 15

### A Literatura 17

### B Zadání práce 19

## Obrázky

7.1 Black logo of the CTU in Pragueueue.....	14
7.2 Blue logo of the CTU in Pragueueue.....	14

## Tabulky

7.1 Foobar.....	14
-----------------	----



# Kapitola 1

## Úvod



### 1.1 Cíl práce

Tato práce se zabývá...

výroba sondy schopná měřit podmínky ve tropo a posílat je na zem, měření příchozího signálu na zemi, vyrobit model šíření



### 1.2 Šíření vln ve troposféře

jak to funguje, na čem to závisí (přešíst literaturu)



### 1.3 Způsob řešení / návrh experimentu

naměření dat z tropo a naměření dat na zemi a kombinace do modelu šíření vlny

### ■ 1.3.1 Měřená data

jaká data budou měřena

## ■ 1.4 Součásti experimentu

co je potřeba udělat - hw, firmware, sw, mechaniku, naměření dat, naměření charakteristik antény, zpracování dat





## Kapitola 2

### Návrh systému



#### 2.1 Požadavky

520 g, telemetrie, teplota, tlak vlhkost, gps, fungování do -40 - baterky, kompaktnost



#### 2.2 Hardware

senzory do -40, nízký tlak, dosah 30+ km



#### 2.3 Software

čtení ze senzorů, parsování dat, posílání na zem a na sd kartu, odolnost, měření náklonu - jak?

### ■ 2.3.1 Měření náklonu sondy

Acc, vektor mag pole, kalmanův filtr, co bylo použito

## ■ 2.4 Možné způsoby řešení elektroniky

### ■ 2.4.1 Samostatná deska plošných spojů

kompaktní, spolehlivé, obtížné na debug, časové náročné

### ■ 2.4.2 Vývojové moduly

snadné na vývoj a odladění, snadná změna zapojení při psaní kódu



## Kapitola 3

### Realizace



#### 3.1 Elektronika



##### 3.1.1 Testování modulů

měření odběru, energie pro posílání dat



##### 3.1.2 Realizace elektroniky

Navrženy shieldy, nakresleny modely. Spínaný zdroj + LDO, ochrany vstupů, volné GPIO na rozšíření



#### 3.2 Mechanická zástavba

model PCB, model sondy, iterace, odlehčování

### ■ 3.3 Firmware

výstřizky z driverů, sample GPS dat, parsovací funkce, změřené minimum accelerace v z-ose, sešití dat, watchdog, reset při erroru

### ■ 3.4 Software

parsování příchozích dat, doplnění NMEA zprávy pro tracker, python - parsování a přepočítání souřadnic, zobrazení na mapě, zobrazení v terminálu

### ■ 3.5 Testování a měření

směrová charakteristika, teplotní odolnost, proudový odběr telitu



## Kapitola 4

### Experiment

příjem dat, umístění antény, nastavení spektráku

#### 4.1 Průběh experimentu

jak to probíhalo, co se stalo, proč sonda přestala vysílat, proč doletěla jen do 17 km, nalezení pomocí sondy čhmú, sundání sondy

#### 4.2 Naměřená data

co bylo na SD kartě, výsledky měření - čisté změřená data





## Kapitola 5

### Výsledky



#### 5.1 Zpracování dat

zkombinovat data ze země a data ze strato, vzorečky, určit refrakci, výkonovou bilanci podle podmínek, vzít v potaz směrovou charakteristiku. vyrobit model šíření, grafy



#### 5.2 Výstup z experimentu

výsledky, co bylo změřeno a zjištěno







## Kapitola 6

### Závěr

a



#### 6.1 Shrnutí experimentu

co se povedlo, co se nepovedlo. Vyrobil jsem sondu a sw, přestala vysílat - proč?



#### 6.2 Možná vylepšení

malé pcb bez modulů, optimalizace sw, nepoužívat HAL, programovat přes registry, měření náklonu sondy, častější posílání dat, nezávislost na GPS





## **Příloha A**

### **Literatura**



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Dvořák** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **492178**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra elektromagnetického pole**  
Studijní program: **Elektronika a komunikace**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Přenos telemetrických dat z meteorologického balónu**

Název bakalářské práce anglicky:

**Telemetric Data Transmission from Meteorological Balloon**

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a realizujte rádiový spoj mezi meteorologickým balónem a pozemním segmentem. Přenášená data z meteorologického balónu musí obsahovat minimálně informace o jeho poloze (GNSS). Ostatní data ze senzorů (poloha, teplota, tlak, vlhkost, inerciální informace) budou logovány přímo v měřicím systému balónu. Na základě parametrů vysílaného / přijímaného signálu a informací z telemetrie vytvořte model šíření pro daný typ spoje (případně i jiné možnosti propojení) během jeho vzestupné trasy. Za předpokladu možnosti vypuštění meteorologického balónu vše experimentálně ověřte a porovnejte model šíření zahrnující měřený profil atmosférických parametrů s reálnými daty.

Seznam doporučené literatury:

- [1] PECHAČ, Pavel, ZVÁNOVEC, Stanislav. Základy šíření vln pro plánování pozemních rádiových spojů. Praha: BEN - technická literatura, 2007. ISBN 978-80-7300-223-7.
- [2] ŘEZÁČOVÁ, Daniela. Fyzika oblaků a srážek. Praha: Academia, 2007. Gerstner, sv. 2. ISBN 978-80-200-1505-1.
- [3] McNamara, Marilyn C. An Analysis of Burst Altitude for Weather Balloons. Antonian Scholars Honors Program, 2016, [online], citováno 27.1.2022, dostupné z: [https://sophia.stkate.edu/shas\\_honors/43](https://sophia.stkate.edu/shas_honors/43).

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Tomáš Kořínek, Ph.D. katedra elektromagnetického pole FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **30.01.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20.05.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2023**

Ing. Tomáš Kořínek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta