

Přenos telemetrických dat z meteorologického balónu

Jakub Dvořák

katedra elektromagnetického pole

ČVUT FEL

Praha 2022

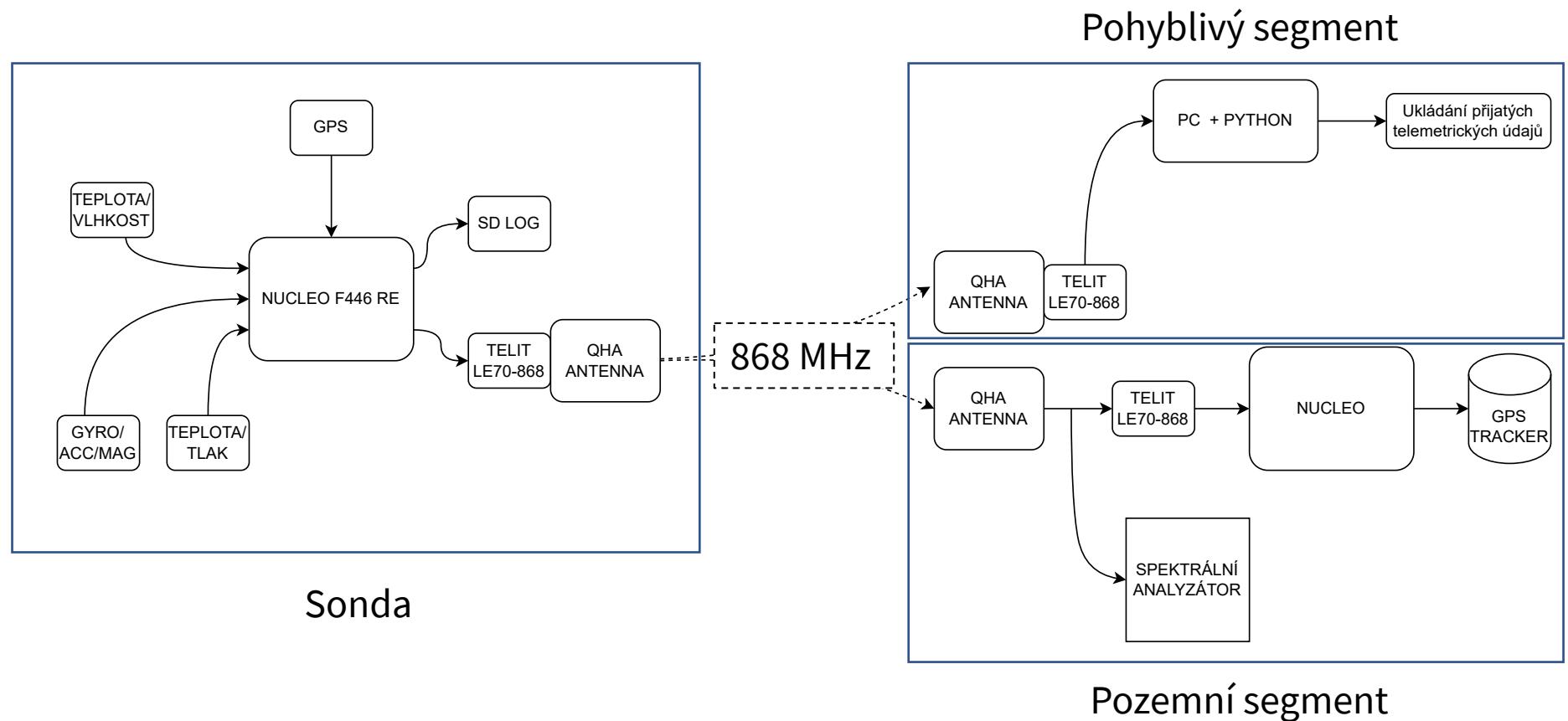
Osnova

- Zadání práce
- Návrh experimentu
- Dílčí části práce
- Průběh experimentu
- Vyhodnocení dat
- Závěr a další směrování

Zadání práce

- Realizace rádiového spoje
- Zaznamenávaná data - poloha, teplota, tlak, vlhkost, inerciální informace
- Tvorba modelu šíření pro daný typ spoje - refraktivita
- Experimentální ověření

Uspořádání experimentu



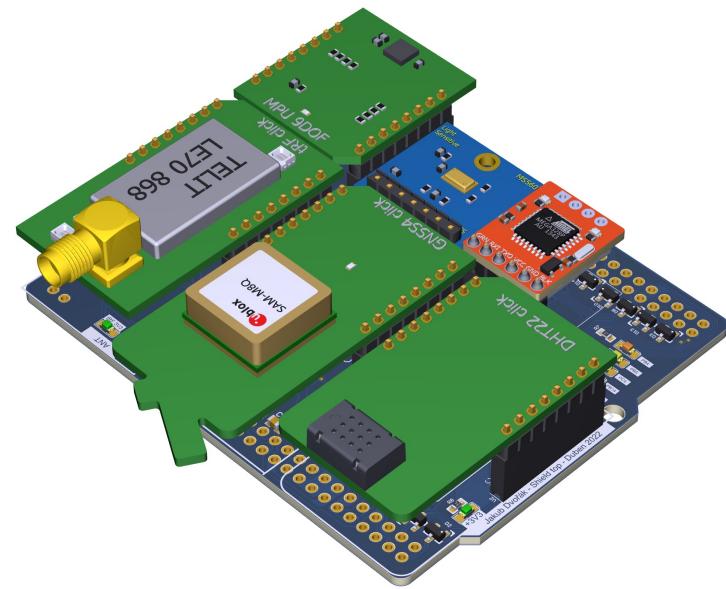
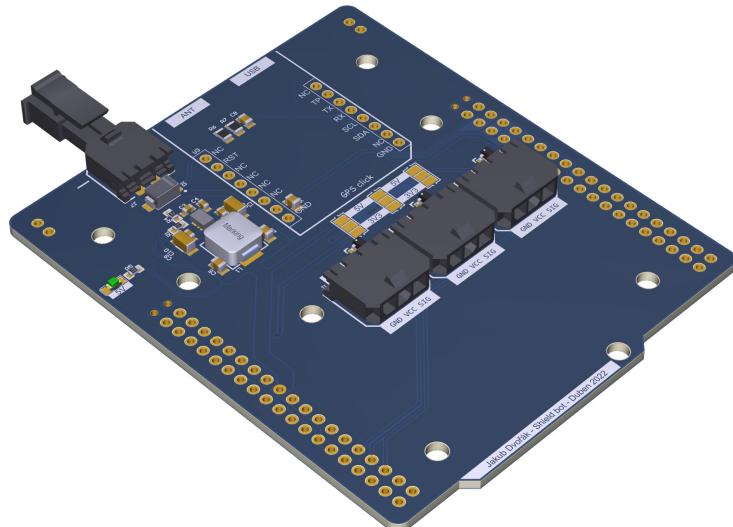
Sonda

- Vyčítání dat ze senzorů
 - Vyčítání dat z GNSS modulu
 - Formátování vysílací zprávy (minimum dat)
 - Ukládání dat na SD kartu
 - Funkčnost v nízkých teplotách
-
- Maximální hmotnost 520 g
 - Připojení sondy ČHMÚ
 - Bezpečnost v případě delaminace vrstev



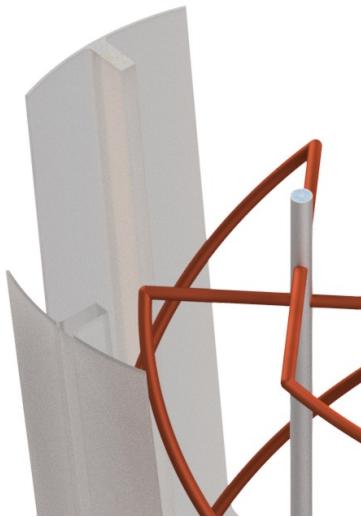
Sonda – hardware

- Vývojové moduly
- Výběr komponent – teplotní rozsah
- Testování v klimakomoře



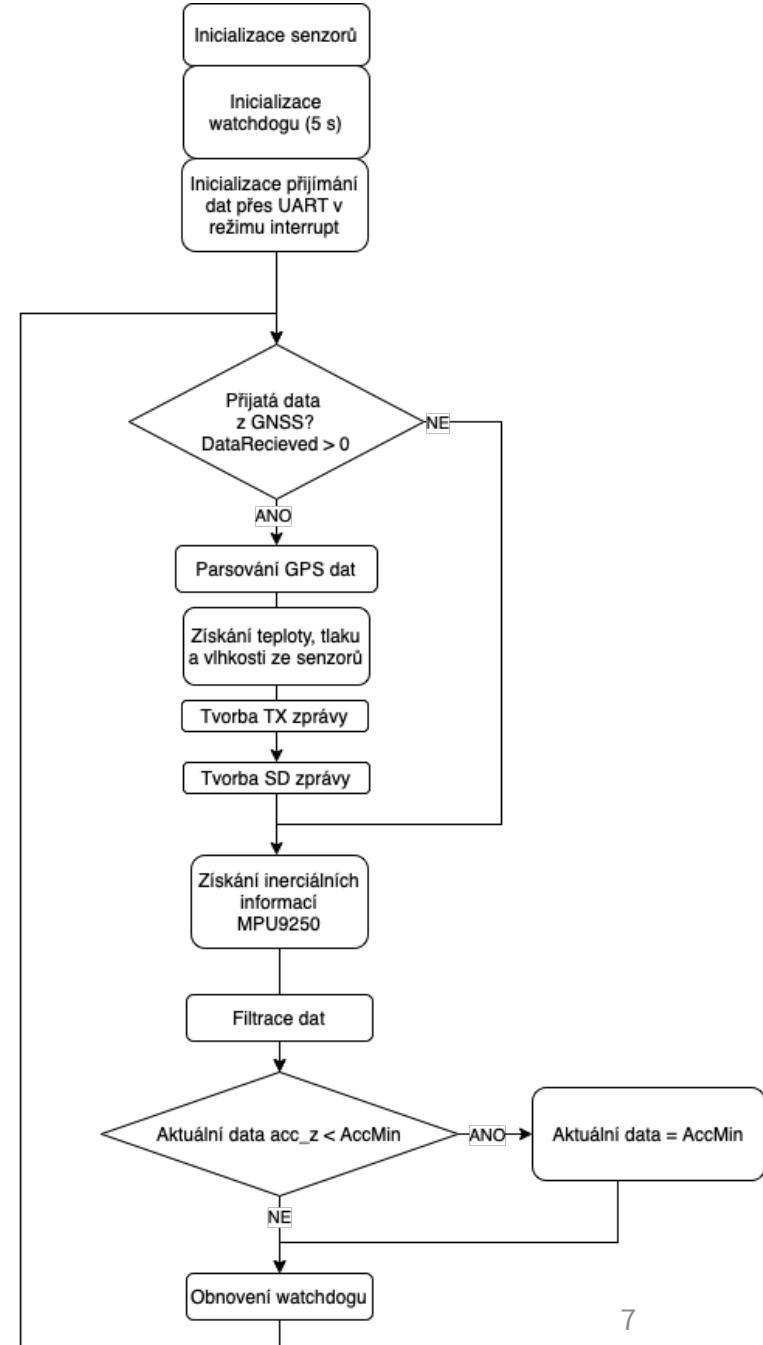
Sonda – mechanická zástavba

- Možnost vytisknout na 3D tiskárně
- Ovlivnění antény
- Připojení sondy ČHMÚ



Sonda - firmware

- Vyčítání a posílání dat
- Měření náklonu sondy
 - Zjištění minima tíhového zrychlení

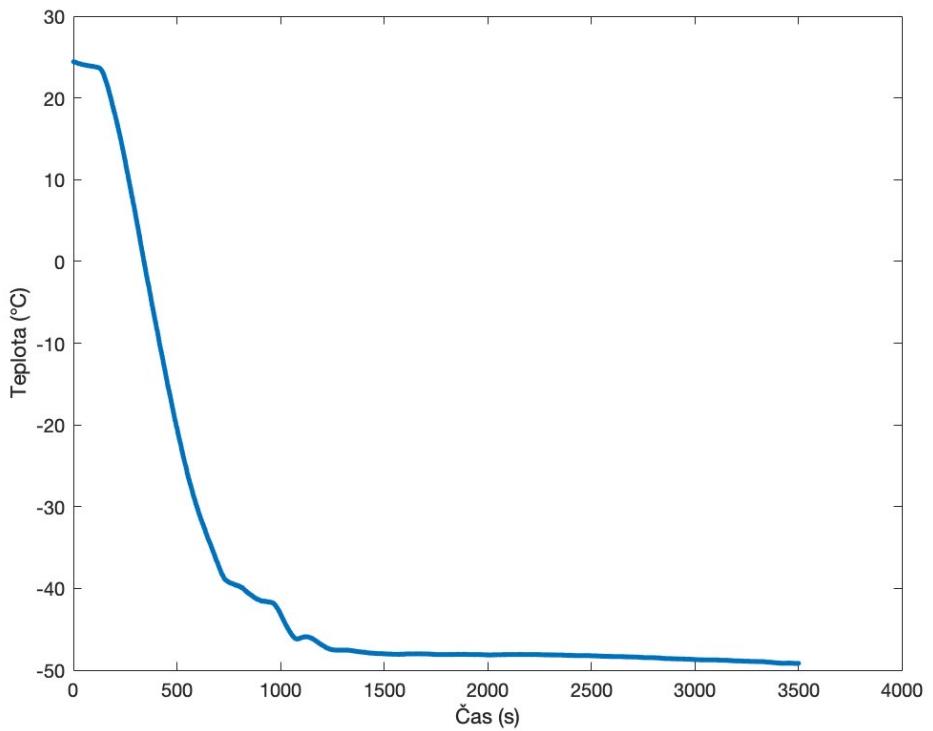


Pozemní segment

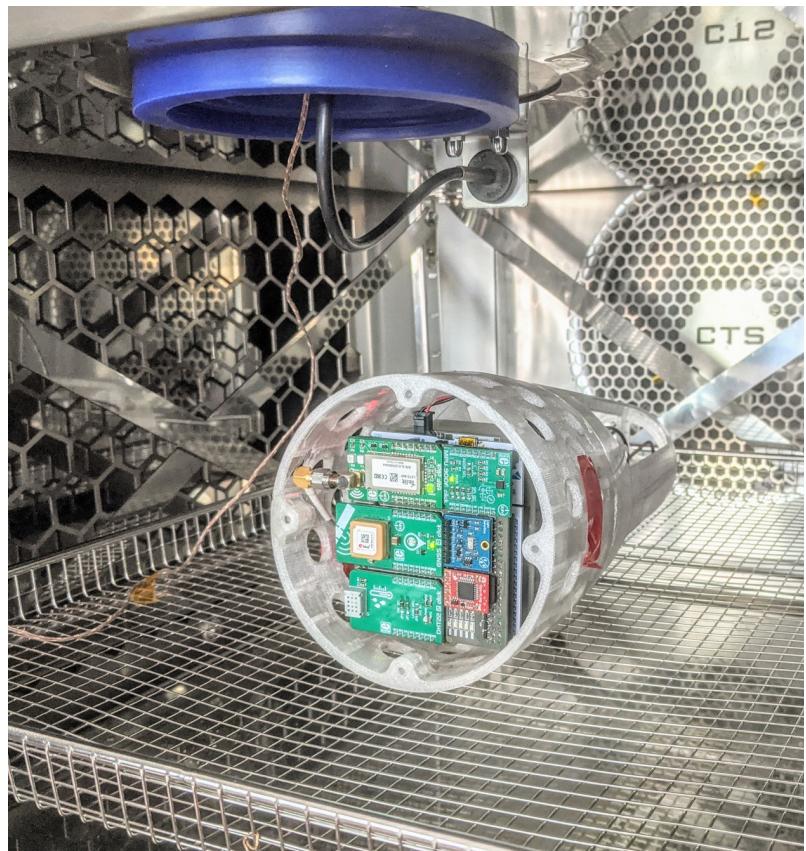
- Přijímač telemetrických dat
 - Formátování pro elektroniku sledovače
- Anténní sledovač
- Spektrální analyzátor



Sonda - testování

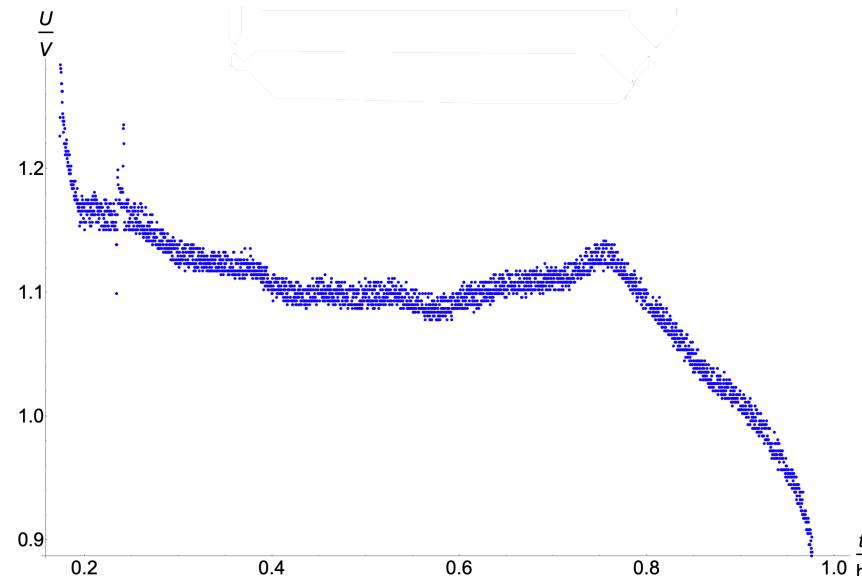


Průběh teploty v klimakomoře



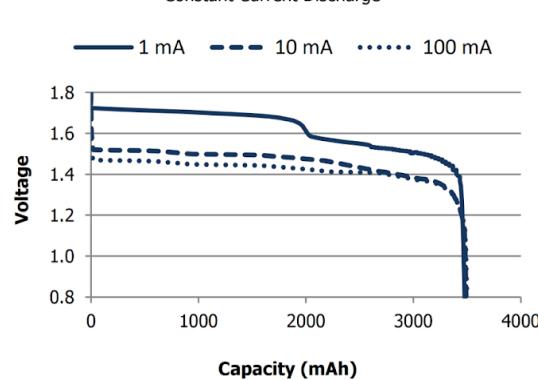
Měření baterií

Závislost napětí článku v čase, $t = -40 \text{ } ^\circ\text{C}$, $I = 500 \text{ mA}$



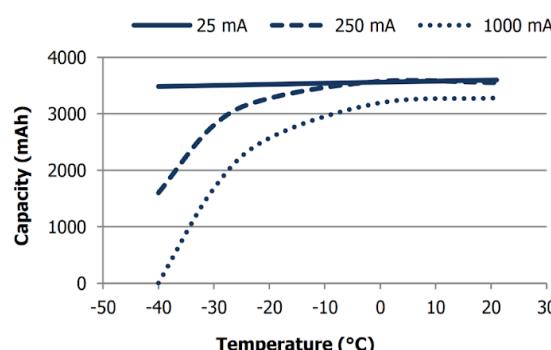
Discharge Profile

Constant Current Discharge

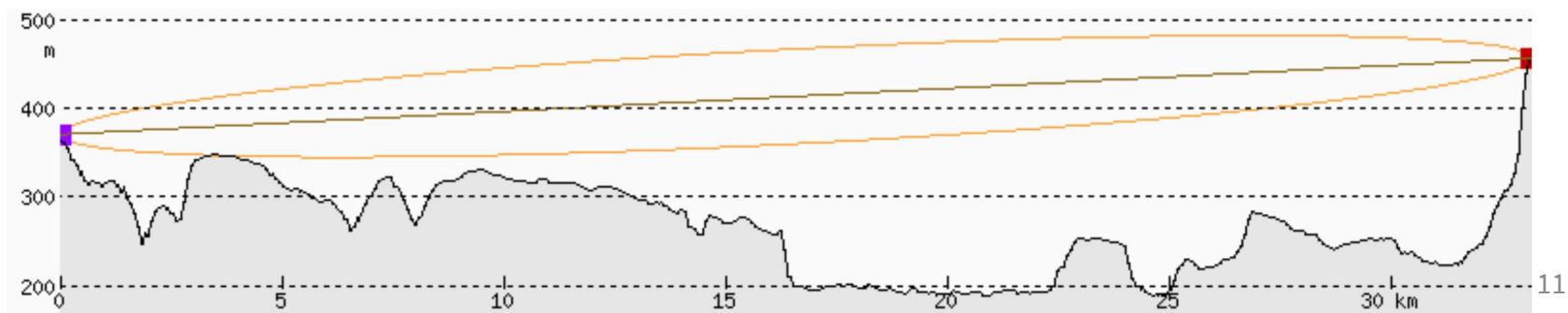
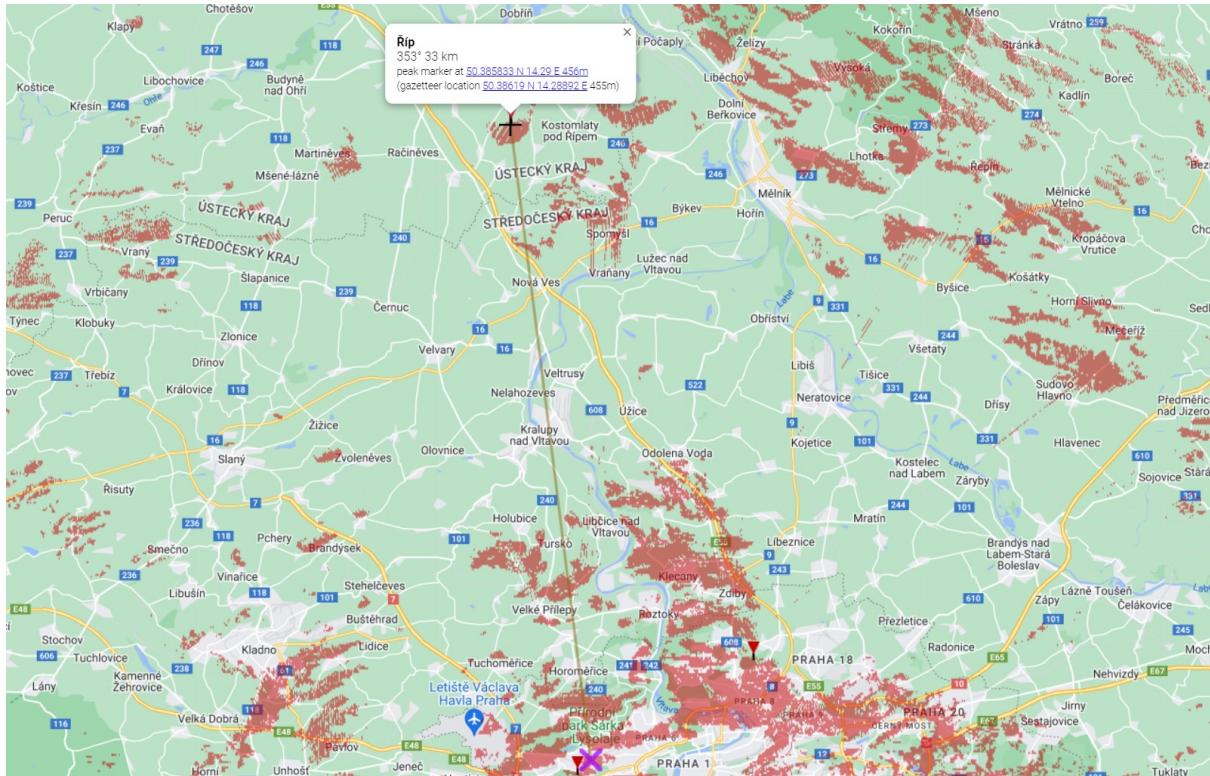


Temperature Effects on Capacity

Constant Current Discharge



Testování spoje na zemi



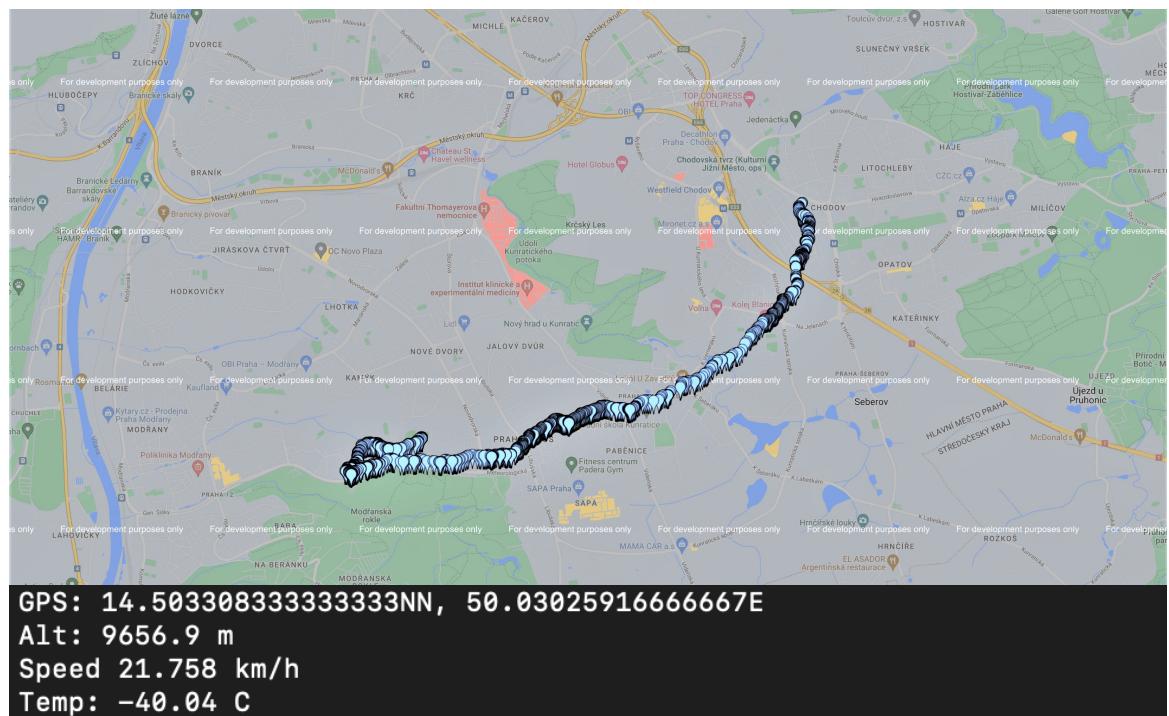
Experiment

- Start
 - 4. dubna 2022,
Praha Libuš
- Následování sondy
- Zjištění pozice
pomocí sondy ČHMÚ
- Nález sondy

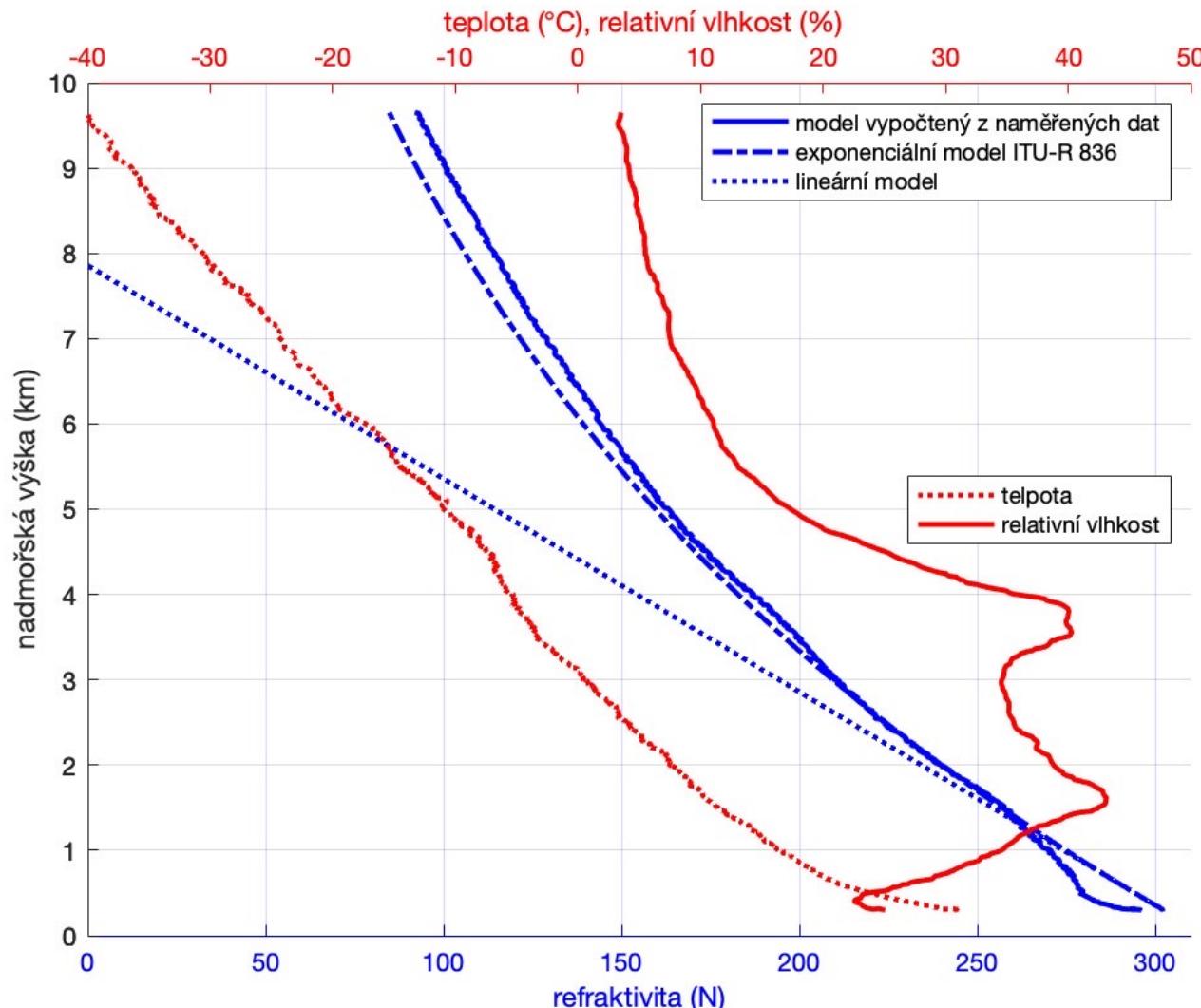


Sledovač sondy

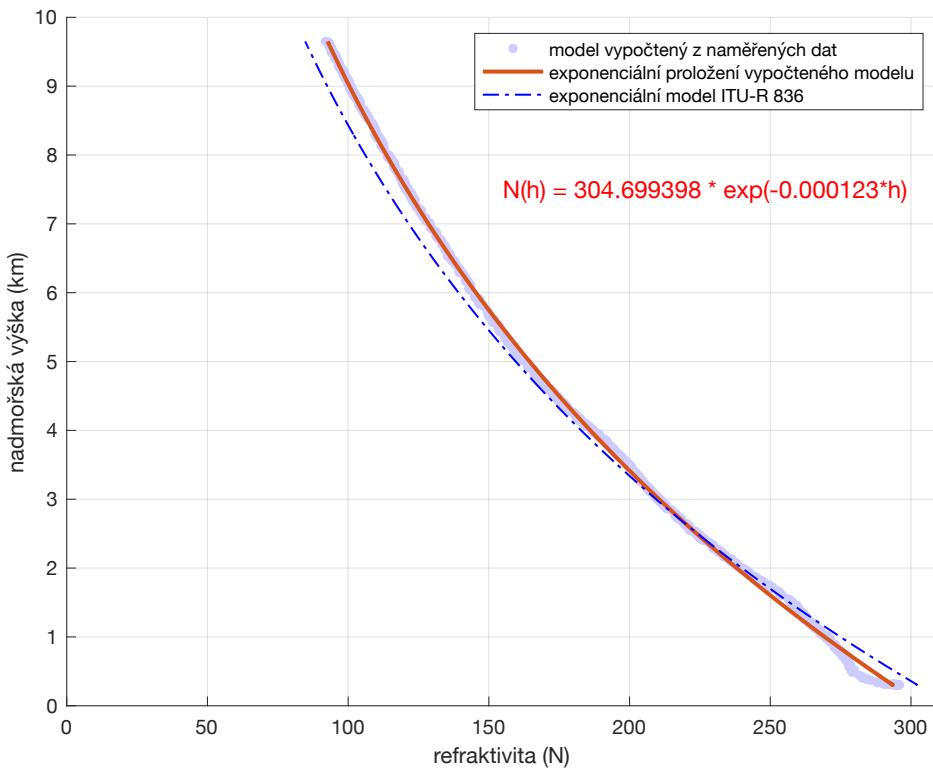
- Vizualizace telemetrických dat
- Zobrazení pozice na mapě
- Python
 - GMPLOT



Profil teploty, vlhkosti a refraktivit



Profil refraktivity - proložení



Aproximace

exponenciálním
modelem

$$N = N_0 e^{-h/h_0}$$

N_0 hodnota refraktivity v 0 km (N)
 h_0 výškové měřítko (km)

Globální světový průměr
 $N_0 = 315$ N a $h_0 = 7,35$ km

Naměřené hodnoty
 $N_0 = 304,7$ N a $h_0 = 8,13$ km

Závěr

- Realizace sondy schopné měřit podmínky ve vyšších vrstvách atmosféry
- Realizace sledovacího SW
- Výškový gradient refraktivity
- Přerušení vysílání v 10 km
- Problémy anténního sledovače



Děkuji za pozornost

Proč jste z GPS přijímače nevyčítal přímo zprávy GPGGA, které obsahují všechny nezbytné informace o poloze a také kvalitě příjmu GPS signálu?

- Možnost snadného výběru posílaných informací
- Nekritická doba příjmu NMEA zprávy

Jak se lišila data, která jste zapisoval na SD kartu a data, která jste odesílal na pozemní stanici?

UTC čas	Zem. šířka (°)	Zem. Délka (°)	Nadmořská výška (m)	Rychlost (m/s)	Teplota (°C)	Tlak (Pa)		
114231.00	5001.76165	N	01430.16855	E	9510.0	23.428	-039.65	0028254

Vysílaná data

UTC čas	Zem. šířka (°)	Zem. Délka (°)	Nadmořská výška (m)	Rychlos (m/s)	Teplota (°C)	Tlak (Pa)	Teplota 2 (°C)	Relativní vlhkost (%)	Typ GPS fixu		
114231.00	5001.76165	N	01430.16855	E	9510.0	23.428	-039.65	0028254	-40.5	003.2	2

Počet viditelných satelitů	PDOP	HDOP	VDOP	Nejmenší změřené zrychlení v ose Z	Velikost zrychlení	Velikost úhlové rychlosti	Velikost intenzity mag. pole
12	1.32	0.70	1.12	7062	12 -232 8452	52 -117 245	-4218 3765 -3276

Ukládaná data

Šly by pro potřeby vašeho měření použít také signálová metadata z použitého modulu Telit LE70-868?

Notes	Pin					Pin	Notes
Standby/Wakeup	STB	1	AN	PWM	16	STS	UART TX Status
Reset	RST	2	RST	INT	15	ACK	Acknowledgement
	NC	3	CS	RX	14	TXD	UART Transmit
	NC	4	SCK	TX	13	RXD	UART Receive
	NC	5	MISO	SCL	12	NC	
	NC	6	MOSI	SDA	11	NC	
Power supply	3.3V	7	3.3V	5V	10	NC	
Ground	GND	8	GND	GND	9	GND	Ground

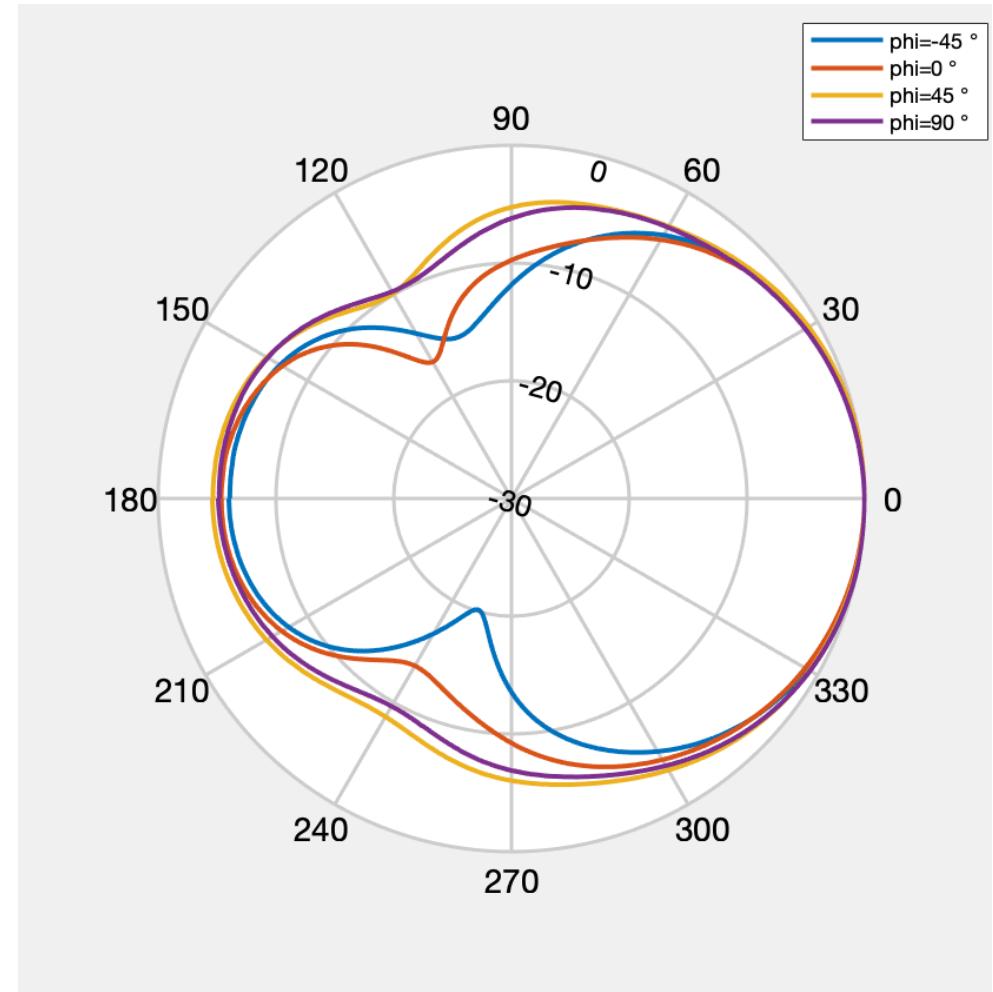
Pinout vývojového modulu tRF click

Sundávání sondy





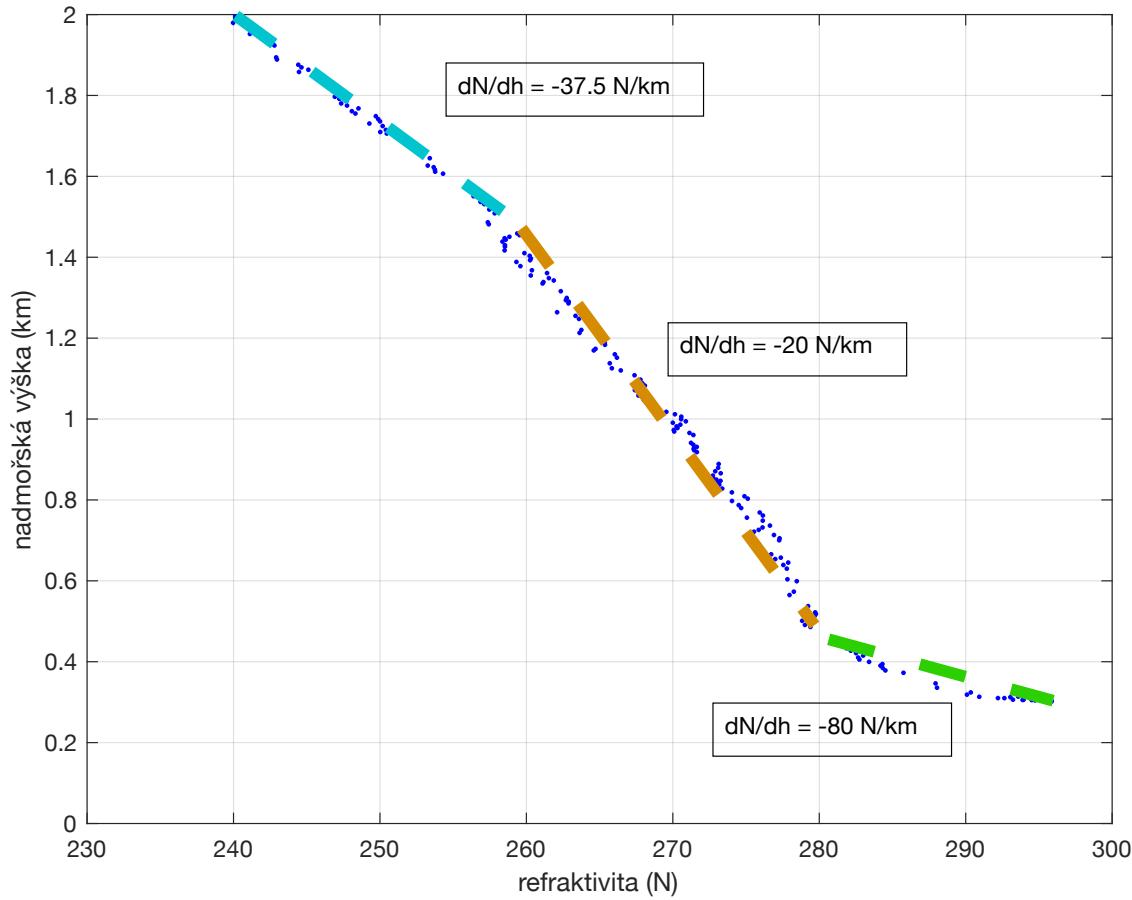
Měření směrové charakteristiky



Časová osa

Týden od...	24.1.	31.1.	7.2.	14.2.	21.2.	28.2.	7.3.	17.3.	21.3.	28.3.	4.4.	11.4.	18.4.	25.4.	2.5.	9.5.	16.5.	20.5.
Výběr komponent + objednání																		
Rozeběhnutí na nepájivém poli (SW)																		
Návrh PCB + výroba (nucleo)																		
Osazení, oživení PCB (nucleo)																		
Návrh vlastního PCB s MCU + Výroba																		
Osazení + oživení																		
Mechanická zástavba - modelování + tisk																		
Finišování																		
Vypuštění																		
Zpracování dat																		
Psaní práce																		
Výběr komponent + objednání																		
Rozeběhnutí na nepájivém poli (SW)																		
Návrh PCB + výroba (nucleo)																		
Osazení, oživení PCB (nucleo)																		
Návrh vlastního PCB s MCU + Výroba																		
Osazení + oživení																		
Mechanická zástavba - modelování + tisk																		
Finišování																		
Vypuštění																		
Zpracování dat																		
Psaní práce																		

Refraktivita (2km)



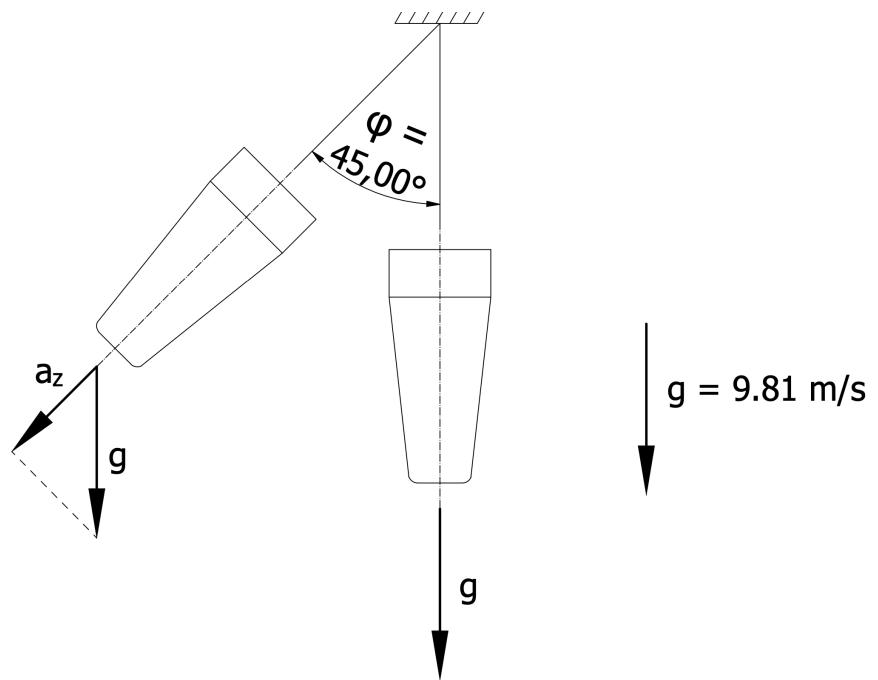
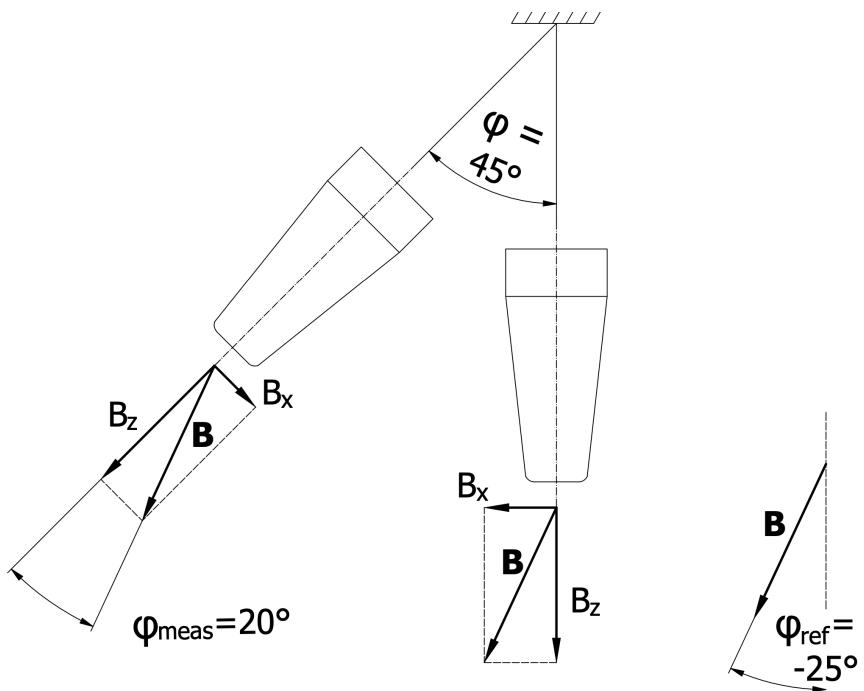
Hmotnostní rozpad

Položka	Hmotnost
Top shield	57 g
Nucleo	35 g
Bot shield	31 g
10x AA + držák	156 g
3D tisk - držák baterií	31 g
Anténa 868 MHz	34 g
Case	150 g
Víčko	32 g
Celkem	526 g

Rozklad GPGGA zprávy

Název	Příklad	Jednotky	Popis
Identifikátor zprávy	\$GPGGA		GGA hlavička
UTC Čas	132456		hhmmss.sss
Zem. Šířka	5005.77089		ddmm.mmmm
N/S (Sever/Jih)	N		
Zem. Délka	1421.46534		dddmm.mmmm
E/W (Východ/Západ)	W		
Druh určení pozice	1		0 data nejsou validní 1 data jsou validní 2 diferenciální GPS
Počet využitých satelitů	5		
HDOP	1.79		
Nadmořská výška	294	metry	
Jednotky	M	metry	
Odchýlení od geoidu	44.4	metry	Separace geoidu a elipsoidu
Jednotky	M	metry	
Stáří rozdílové korekce	-	sekundy	
Diff. Ref. Station ID	-		
Kontrolní součet	*5D		
<CR> <LF>			Konec zprávy

Měření náklonu



Použité komponenty

- AM2320 – teplota, vlhkost
- MS5607 – teplota, tlak
- MPU9250 – interciální informace
- TELIT LE70-868 - Tx
- u-blox SAM-M8Q – GNSS přijímač
- OpenLog – čtečka SD

Posílaná a ukládaná data

- TX
 - Čas
 - GPS souřadnice
 - Výška
 - Rychlosť
 - Teplota (MS5607)
 - Tlak (MS5607)
- SD
 - TX zpráva
 - Teplota AM2320
 - Vlhkost AM2320
 - Odchylky přesnosti
 - PDOP, HDOP, PDOP
 - Počet viditelných satelitů
 - Inerciální informace