



## **Středoškolská technika 2022**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **CANSAT**

**David Haisman, Lukáš Nastoupil, Radim Leština, Vít Brázda,  
Adam Keřka, Václav Horáček**

SPŠE a VOŠ Pardubice  
Karla IV 13, Pardubice

## **Poděkování**

Tímto chceme především poděkovat všem našim sponzorům za finanční a věcnou podporu. Dále děkujeme Ing. Vladimíru Kašparovi, Ing. Zdeňkovi Noskovi, Mgr. Andree Pospíšilové a Ing. Petru Bubákovi za rady a nápomocnost. V neposlední řadě též děkujeme všem našim rodinám a přátelům, kteří stále vyjadřují podporu týmu.

## **Anotace**

Práce „CanSat“ se zabývá tvorbou zařízení pro potenciální monitorování atmosférických podmínek cizích vesmírných těles a analýzu životních podmínek. V práci jsou popsány postupy při návrhu a tvorbě zařízení, jeho provozní podmínky, výčet měřených veličin a dosažitelná přesnost měřených veličin.

## **Annotation**

Thesis “CanSat” focuses on creating a device with the potential to monitor atmospheric conditions on foreign cosmic objects. The work describes the procedure of making such device, including the design and creation said device, its operating conditions, the list of measured data and the achievable accuracy of the measured data.

## **Klíčová slova**

CanSat, ESA, ESERO, meteorologická sonda, životní podmínky, vesmír, vestavěné systémy, mikrokontroler, senzorka

## **Keywords**

CanSat, ESA, ESERO, meteorological probe, living conditions, space, embedded systems, microcontroller, sensors.

# Obsah

1.	Úvod.....	5
1.1	Primární mise .....	5
1.2	Sekundární mise .....	6
2.	Konstrukce .....	7
2.1	Kostra .....	7
2.2	Obal .....	7
2.3	Vnitřní 3D tištěné díly.....	8
3.	Elektronika .....	9
3.1	Power Unit.....	9
3.2	Control Unit.....	12
3.3	Side Unit.....	15
3.4	Telemetrie.....	17
3.5	Elektronika mimo desky.....	18
4.	Programování .....	19
4.1	Program .....	19
4.2	Třídy .....	19
4.3	Příklad programu.....	19
5.1	Konstrukce .....	20
5.2	Elektronika .....	20
5.3	Vizualizační program .....	23
6.	Padák.....	25
6.1	Návrh.....	25
7.	Závěr.....	26
8.	Seznam obrázků .....	27

# 1. Úvod

CanSat je soutěž pořádaná Evropskou agenturou, kdy se týmy o maximálně šesti studentech, snaží navrhnout a zkonstruovat satelit s rozměry menší plechovky od syceného nápoje. Satelit je poté uložen do rakety a vypuštěn 1 km nad zemí, kdy na padáku postupně klesá. Soutěž je rozdělena na primární a sekundární misi



Obr. 1: CanSat je satelit o velikosti plechovky měřící okolní veličiny, které následně vysílá na zem

## 1.1 Primární mise

Cílem primární mise je splnit požadavky zadané v propozicích pořadatele, přesněji:

- CanSat musí mít tvar válce o maximální velikosti 115x66mm
- Hmotnost CanSatu se musí pohybovat v rozsahu 300 g–350 g
- CanSat musí být napájen pomocí akumulátoru nebo solárního pohonu, kdy satelit musí vysílat minimálně po dobu 4 hodin
- CanSat musí být možné vypnout přístupným externím vypínačem.
- CanSat musí být vybaven GPS modulem pro jednoduché nalezení
- CanSat musí být vybaven padákem s rychlostí sestupu pohybujícím se v rozsahu 5 m/s–12 m/s, jehož funkce musí být doložena v závěrečné zprávě
- Cena CanSatu nepřesáhne 500 EUR
- CanSat minimálně vysílá s pomocí telemetrie naměřená data minimálně jednou za vteřinu

## 1.2 Sekundární mise

V sekundární misi se už projeví individualita účastnících týmů, protože úkolem je vytvořit si vlastní tematizovanou modifikaci nebo nástavbu, kterou se odliší od týmů ostatních.

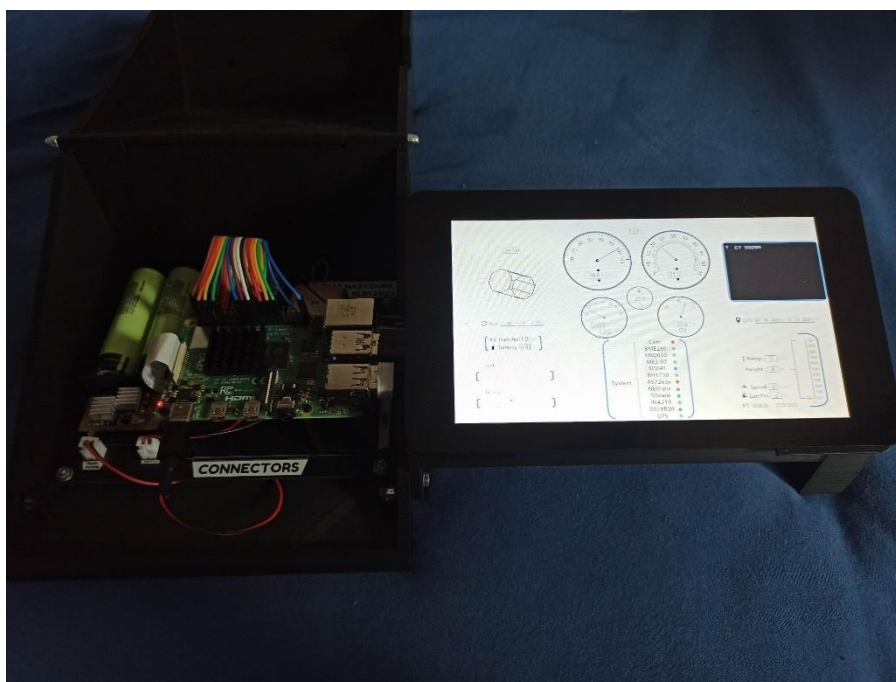
Naší sekundární misí je zaměřit se vyhodnocování životních podmínek kosmických těles. Toho je docíleno velkým počtem senzorů, určených specificky pro měření veličin vitálních pro život, jako je například:

- Obsah kyslíku a CO<sub>2</sub> v atmosféře
- Detekce přílišného množství UV záření ve světelném spektru

CanSat je též vybaven:

- Gyroskopem pro detekci padajícího náklonu
- Kamerou s možností přímého přenášení obrazu na pozemní stanici
- Externími LED pro signalizaci a stavovou kontrolu satelitu

Součástí sekundární mise je i nezávislá pozemní stanice schopná přijímat a zobrazovat přijatá data, ukládat je a následně vytvořit grafy k jednotlivým měřeným veličinám.



Obr. 2: Pozemní stanice je nezávislé zařízení sloužící ke přijímání a zpracování dat v reálném čase

## 2. Konstrukce

Konstrukce satelitu musí především splňovat propozice určeny v primární misi a být dostatečně robustní, kvůli tomu, aby vnitřní komponenty vydržely přistání CanSatu. Zároveň musí mít konstrukce částečně otevřená okolnímu prostředí pro větší přesnost měřených informací

CanSat má konstrukci skládající se z hliníkové kostry a 3D tištěných částí, kdy jsou na sebe jednotlivé komponenty vrstvené. Mezi jednotlivými komponenty jsou vloženy distanční sloupky pro udržení vzdálenosti mezi jednotlivými komponenty.

### 2.1 Kostra

Kostra je hliníková konstrukce držící vnitřní elektroniku a 3D tištěné části na místě a absorbuje většinu nárazu při kontaktu se zemí.

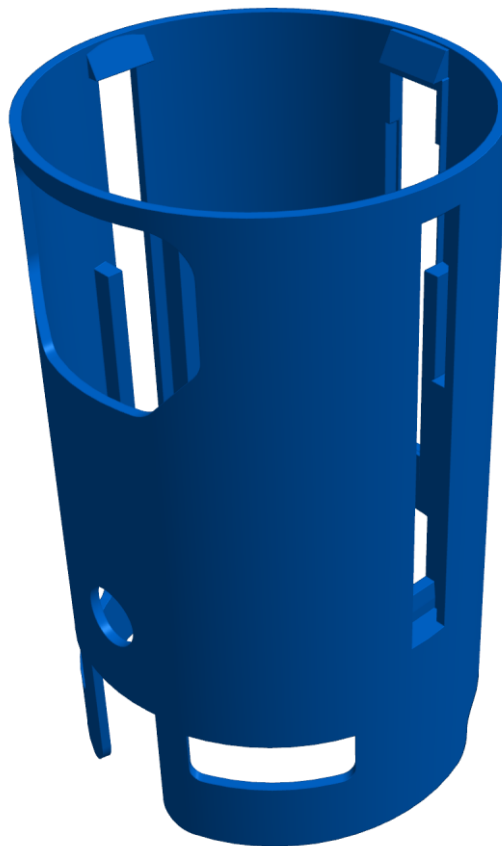
Konstrukce kostry je tvořena ze čtyř hliníkových závitových tyčí ohraničených dvěma hliníkovými kryty, které jsou na závitových tyčích upevněny pojistnými maticemi.

Hliníková ohraničení jsou vybavena otvory pro uchycení padáku a upevněními pro antény.

### 2.2 Obal

Vnitřní komponenty CanSatu jsou chráněny od okolního znečištění a rušení 3D tištěným obalem.

Obal je vytištěný z filamentu PLA a je vybaven otvory pro *Side unit*, vypínače, USB-C port a SD card port.

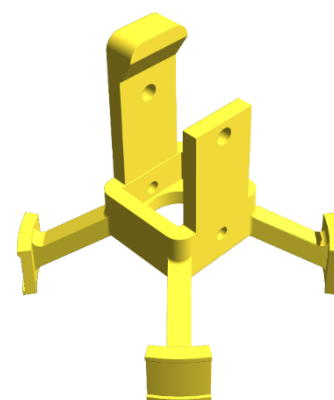
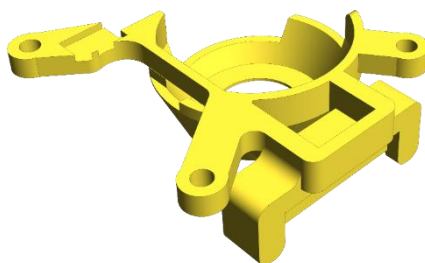
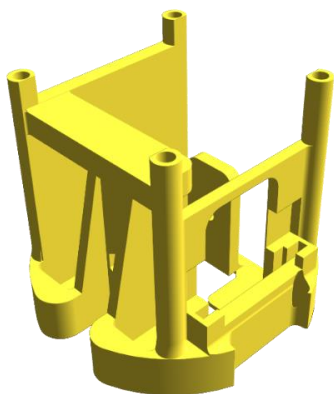


Obr. 3: Obal chrání vnitřní komponenty CanSatu

## 2.3 Vnitřní 3D tištěné díly

Zbylé tištěné díly jsou využity k integrování komponentů do konstrukce satelitu a zároveň slouží i jako jejich ochrana. Mezi tyto části patří:

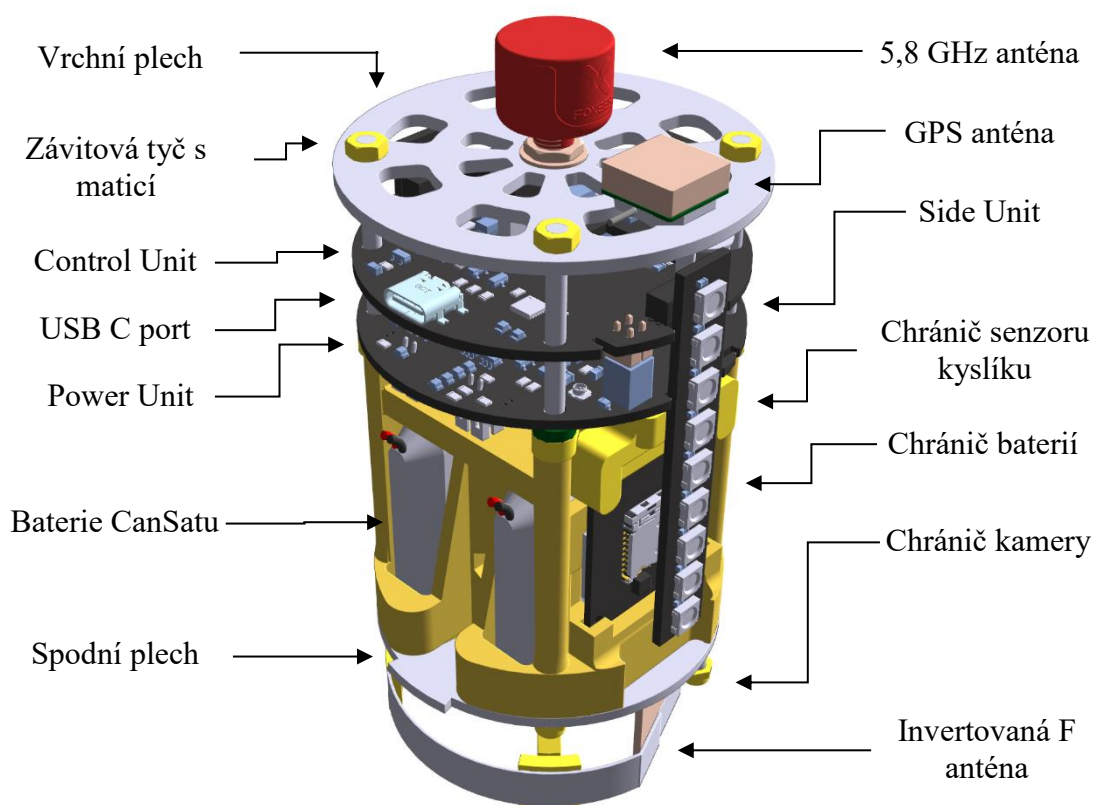
- Chráníč baterií: Slouží k upevnění baterií a kontroléru pro kameru
- Chráníč senzoru kyslíku: Drží senzor kyslíku v kontaktech
- Chráníč kamery: Upevňuje kameru ke spodní straně satelitu a zároveň chrání invertovanou F anténu vespod CanSatu
- Distanční sloupky: Duté válečky, které jsou umístěny na závitových tyčích a udržují mezery mezi jednotlivými vrstvami satelitu



Obr. 6: Chráníč baterií přechází poškození akumulátorů při dopadu

Obr. 4: Chráníč senzoru kyslíku upevňuje senzor ve svorkách

Obr. 5: Chráníč kamery upevňuje kameru ke spodní straně satelitu



Obr. 7: Konstrukce CanSatu bez obalu



### 3. Elektronika

Elektronická část satelitu umožňuje měření, zpracování a odesílání informací na pozemní stanici.

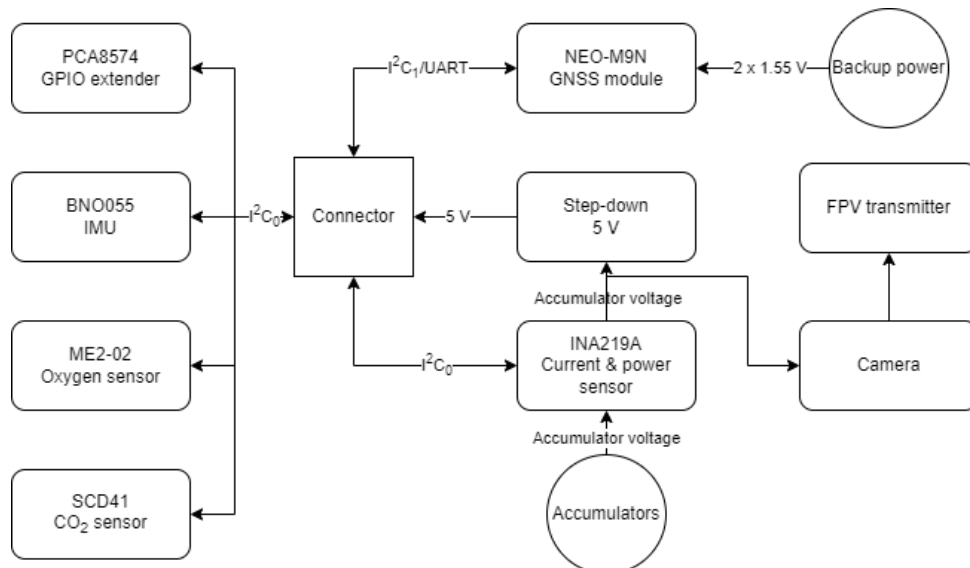
Skládá se především z oboustranných čtyřvrstevných desek plošných spojů sloužících k propojení komponent do co nejmenších rozměrů, kvůli omezením vypsáných v propozicích.

Hlavní část elektroniky je rozdělená na tři desky, které jsou mezi sebou propojeny bateriovými kontakty nebo přes piny:

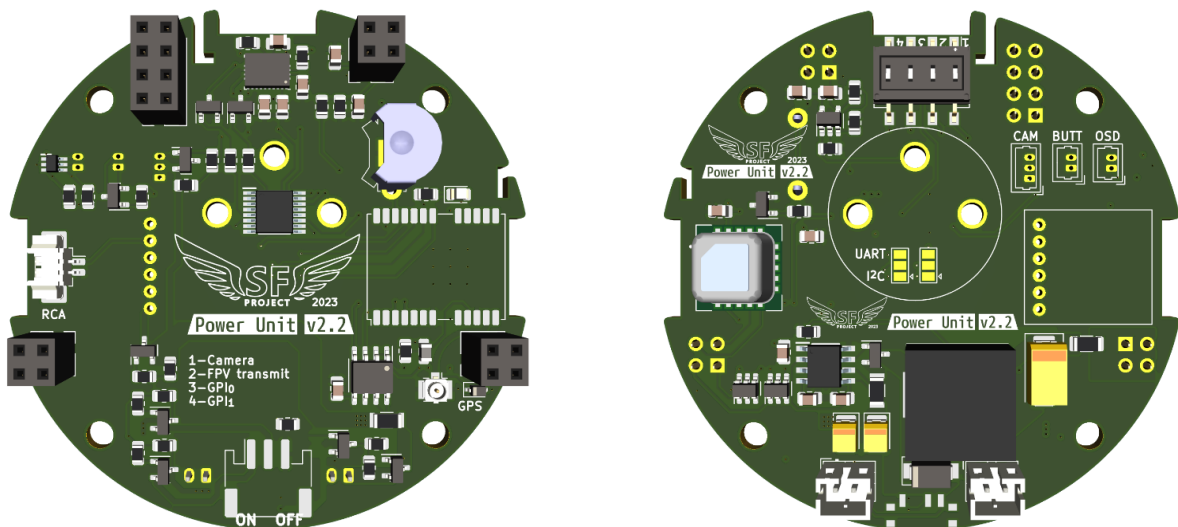
#### 3.1 Power Unit

Deska Power Unit s primárně pro napájení CanSatu.

Obsahuje především spínaný zdroj pro napájení, step-down obvod pro možnost využití více napěťových úrovní pro různé senzory a obvod pro balancování napěťové úrovně pro dvojici baterií, který na obou bateriích udržuje stejnou napěťovou úroveň.



Obr. 8: Blokové schéma desky Power Unit



Obr. 9: Přední a zadní strana desky Power Unit

Deska obsahuje i tyto komponenty:

- ME2-02: Elektrochemický senzor pro detekce množství kyslíku v okolí
  - Pracovní napětí: 3.3 V
  - Sběrnice: Analog
  - Koncentrace kyslíku
    - Měřicí rozsah: 0-25 % (30 % max)
  - Čas odezvy: <15 s
- SCD41: Senzor pro detekce míry oxidu uhličitého v okolí
  - Pracovní napětí: 3.3 V
  - Sběrnice: I2C0
  - Koncentrace CO2
    - Měřicí rozsah: 0-40000 ppm
  - Přesnost:  $\pm 40$  ppm
- BNO055: Gyroskop/Akcelerometr/Magnetometr měřící naklonění a zrychlení CanSatu při letu
  - Provozní napětí: 3.3 V
  - Sběrnice: I2C
  - Měřená data:
    - Zrychlení
    - Příčný náklon
    - Podélný sklon
    - Náklon
- NEO-M9N: GNSS modul, který snímá polohu CanSatu
  - Provozní napětí: 3.3 V
  - Sběrnice: I2C
  - Měřená data:
    - Zeměpisná délka a šířka
    - Přesnost  $\pm 2$  m
    - Nadmořská výška
    - Datum a čas



senzor merící koncentraci kyslíku v okolí



Obr. 11: SCD31 je senzor měřící koncentraci oxidu uhličitého v okolí

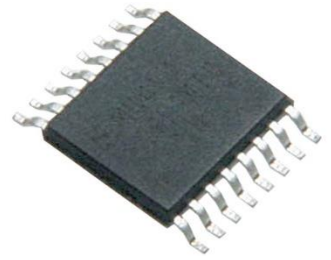


Obr. 12: BNO055 je senzor měřící náklon a zrychlení



Obr. 13: NEO-M9N je GNSS modul pro zjištění polohy CanSatu

- PCA8574: GPIO extender dovoluje připojení více zařízení k mikrokontroleru
  - Provozní napětí: 2.3V-5.5V
  - Sběrnice: I2C
  - Vstupy: 8
  - Odebíraný proud: max 10 $\mu$ A
- INA219A: Voltmetr/Ampérmetr kontrolující napětí a proud odebraný CanSatem
  - Provozní napětí: 3.3 V
  - Sběrnice: I2C
  - Měřená data:
    - Proud
    - Napětí
    - Výkon
  - Přesnost 0.1%



Obr. 14: PCA8574 je GPIO extender pro navýšení množství vstupů pro více senzorů

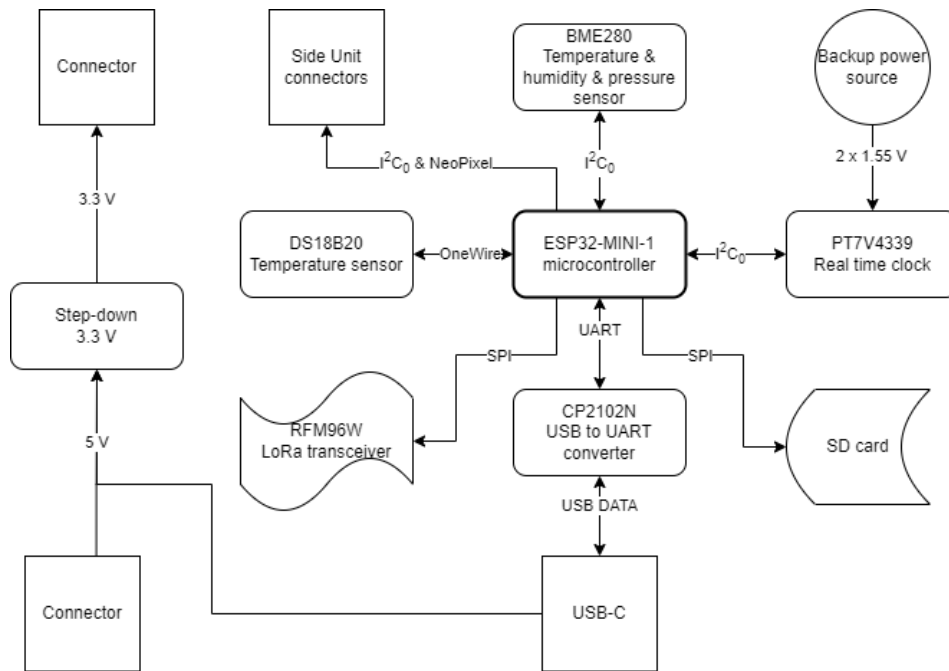


Obr. 15: INA219 je IC pro měření napětí na bateriích a odebraný proud

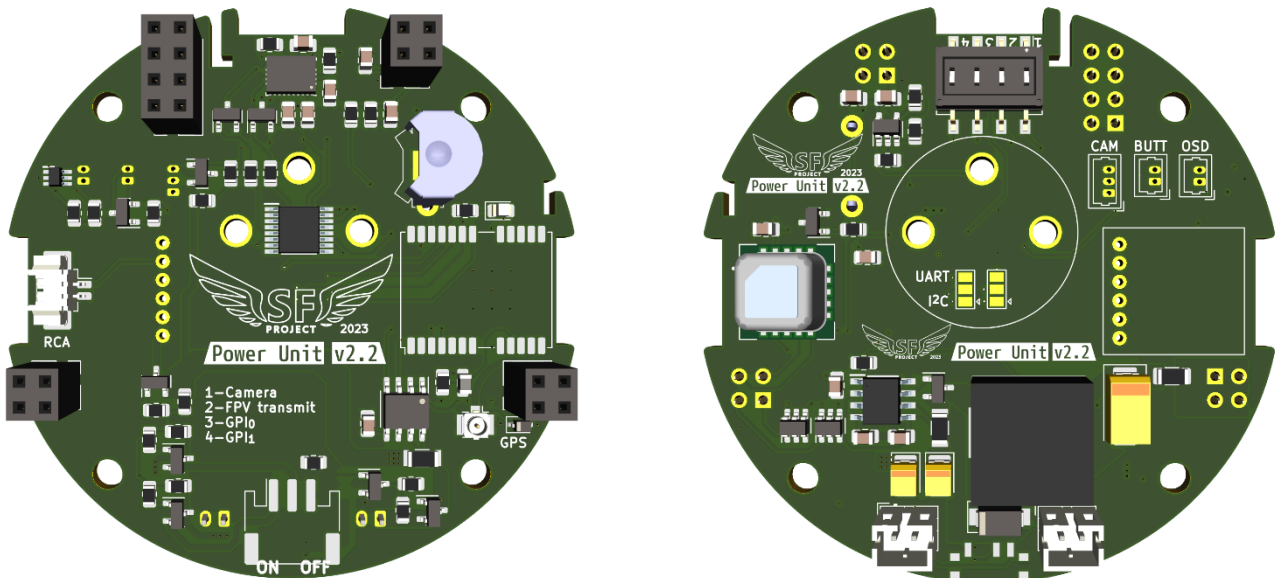
### 3.2 Control Unit

Deska Control Unit řídí chod CanSatu a sbírá informace z přítomných senzorů.

Obsahuje mikrokontroler ESP32-MINI-1, který řídí chod CanSatu, USB C port pro komunikaci s CanSatem a port pro SD kartu. Deska obsahuje i druhý step-down na 3.3V, což je pracovní napětí většiny senzorů.



Obr. 17: Blokové schéma desky Control Unit



Obr. 16: Přední a zadní strana desky Control Unit

Deska obsahuje tyto komponenty:

- ESP32-MINI-1: Mikrokontroler řídící chod CanSatu
  - Flash paměť: 4 MB
  - 2 I2C sběrnice
  - 2 SPI sběrnice
  - 28 GPIO pinů
  - Procesor: Xtensa® dualcore 32bit LX6
- BME280: Senzor měřící teplotu, tlak a vlhkost v okolí CanSatu
  - Provozní napětí: 3.3 V
  - Sběrnice: I2C
  - Teplotní rozsah: -40 to 85 °C
    - Přesnost:  $\pm 0.5$  °C (0 to 65 °C)
  - Rozsah tlaku: 300 to 1100 hPa
    - Přesnost:  $\pm 1$  hPa (0 to 65 °C, 300 to 1100 hPa)
  - Vlhkostní rozsah: 0 to 100 %RH
    - Přesnost:  $\pm 3$  %RH
- CP2102N: Převodník USB na UART slouží ke komunikaci externích zařízení s hardwarem CanSatu.
- PT7C4339: Hodiny reálného času
  - Provozní napětí: 3.3 V
  - Provozní napětí záložního zdroje: 1.3 to 3.7 V
  - Sběrnice: I2C
  - Krystal: 32 768 Hz



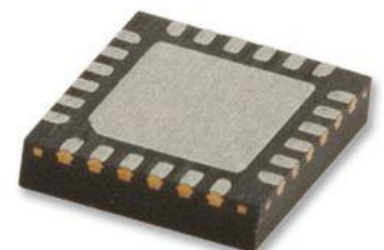
Obr. 18: ESP32-MINI-1 je mikrokontroler řídící chod CanSatu



Obr. 19: BME280 je senzor pro měření teploty, tlaku a vlhkosti ve svém okolí



hodiny reálného času

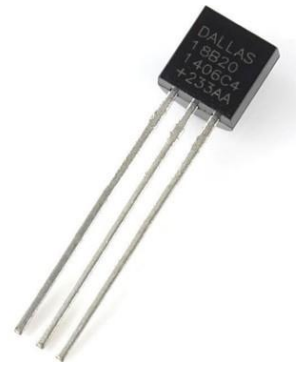


Obr. 20: CP2102N je převodník USB na UART pro komunikaci s hardwarem CanSatu

- RFM96W: LoRa modul pro dálkovou komunikaci
  - Pracovní napětí: 3.3 V
  - Sběrnice: SPI
  - Vysílací výkon: 10 mW
  - Operační frekvence: 433MHz
  - Šifrování: SyncWord
- DS18B20: Teplotní senzor pro zpřesnění měření CanSatu
  - Pracovní napětí: 3.3 V
  - Sběrnice: OneWire
  - Teplotní rozsah: -50 to 125°C
  - Přesnost:  $\pm 0.5$  °C (-10 to 55 °C)
- MAX1626: Step-down obvod snižující úroveň napětí pro senzory
  - Vstupní napětí: 2.6V-16 V
  - Výstupní napětí: 3.3V-5 V
  - Frekvence: 300 kHz
  - Efektivita: >90 %



Obr. 22: RFM96W je LoRa modul pro dálkovou komunikaci s pozemní stanicí



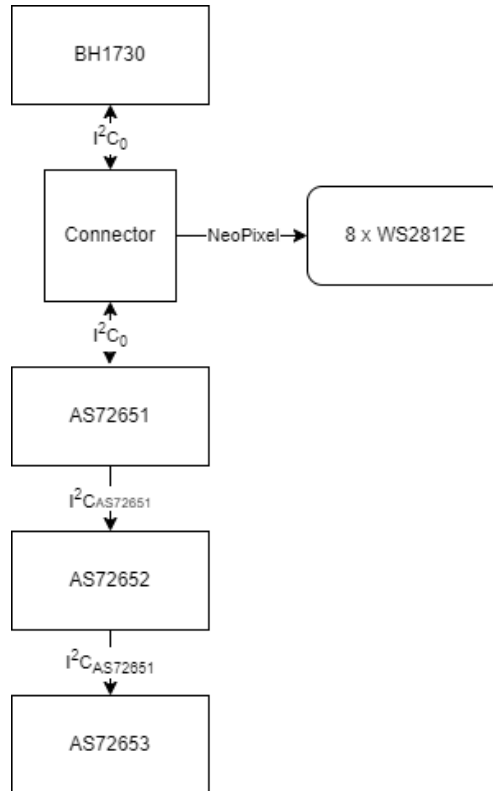
Obr. 23: Teplotní senzor DS18B20 pomáhá s přesnějším měřením teploty



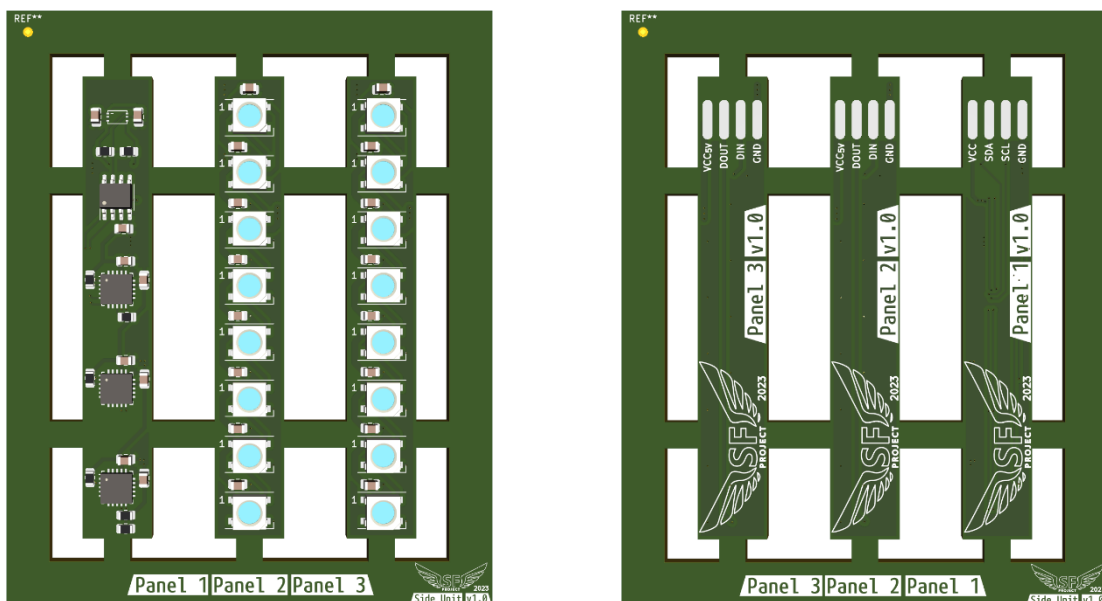
Obr. 24: MAX1626 je step-down obvod snižující napětovou úroveň

### 3.3 Side Unit

Deska Side Unit je trojice tří panelů, které jsou připojeny ke Control Unit bateriovými kontakty.



Obr. 25: Blokové schéma desky Side Unit



Obr. 26: Přední a zadní strana desky Side Unit

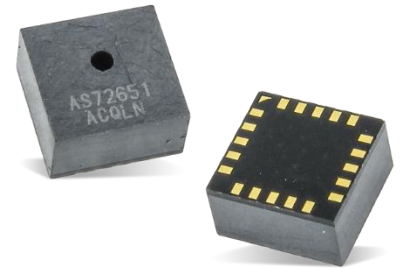
Dva panely jsou osazeny signalizačními RGB LED diodami pro ověřování stavů senzorů a hledání CanSatu ve snížené viditelnosti.

- WS2812E: Adresovatelné RGB LED
  - Napájecí napětí: 3.3V
  - Sběrnice: Neopixel



Třetí panel je vybaven spektrometrem a senzorem intenzity světla.

- AS7265x: Spektrometr složený ze tří samostatných obvodů, který dokáže snímat intenzitu jednotlivých částí světelného spektra.
  - Napájecí napětí: 3,3 V
  - Komunikace: I2C / UART
  - 18 frekvencí detekce světla od 410 nm do 940 nm
  - Přesnost: 28,6 nW / cm<sup>2</sup>
  - Přesnost: +/- 12%
  - Paměť EEPROM: 4 Mb
- BH1750: Senzor pro měření intenzity dopadajícího světla
  - Napájecí napětí 3 V–5 V
  - Sběrnice: I2C
  - Přesnost: ±15%



Obr. 28: Spektrometr AS7265 snímá intenzitu jednotlivých částí světelného spektra



Obr. 29: BH1750 je senzor pro snímání intenzitu dopadajícího světla



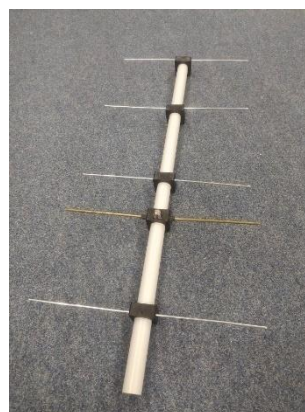
### 3.4 Telemetrie

Telemetrie je rozdělena na dvě části, na 433 MHz a na 5,8 GHz.

Pro komunikaci na kmitočtu 433 MHz se používá LoRa modul a invertovaná F-anténa pro odesílání dat. Pro přijímání se používá pětiprvková Yagi anténa zavedená do pozemní stanice. Použitý vysílací výkon je 10 mW



Obr. 31: Invertovaná F-anténa CanSatu pro vysílání na 433 MHz



Obr. 30: Pětiprvková Yagi anténa pro příjem dat z CanSatu

Na pásmu 5.8GHz komunikuje pomocí speciální antény. A přijímá se kvůli většímu zesílení směrovou anténou. Na této frekvenci probíhá přenos videa. Použitý vysílací výkon je 25 mW.



Obr. 33: Anténa CanSatu na 5.8 GHz pro vysílání videa



Obr. 32: Směrová anténa sloužící pro příjem videa z CanSatu

### 3.5 Elektronika mimo desky

- Baterie 104050: Celý CanSat je napájený ze dvojice těchto baterií.
  - Technologie: Li-Pol
  - Kapacita: 2500 mAh
  - Napětí: 3,7V
  - Vybíjecí proud: 1,25 V
- TBS-UNIFY PRO32 NANO 5G8: Modul miniaturního přenos videa
  - Operační frekvence: 5.8 GHz
  - Provozní napětí: 3-13V
  - Impedance video vstupu: 75 Ohm
  - Konektor antény: zásuvka u.FL
  - Formát videa: NTSC / PAL
- Caddx Loris 4K: Kamera určená pro drony pro nahrávání videa při letu
  - Vstupní napětí: DC 5-18V
  - Senzor: 1/2,7" CMOS
  - Horizontální rozlišení: 800TVL
  - Čočka: 1.8mm
  - FOV: 165°
  - Formát videa: NTSC/PAL



Obr. 34: CanSat je napájen dvojicí baterií 104050



Obr. 35: TBS UNIFY PRO32 NANO 5G8 zpracovává videa k odeslání



Obr. 36: Caddx Loris 4K je kamera pro natáčení obrazu při letu

## 4. Programování

Program CanSatu slouží ke komunikaci mikrokontroleru s jednotlivými senzory a ostatními elektronickými prvky.

Veškerý program CanSatu je napsán v jazyce C++, využívá knihovnu Arduino a operační systém FreeRTOS. Program byl napsán v prostředí PlatformIO, což je rozšíření pro IDE Visual Studio Code.

### 4.1 Program

Celý program se spouští ze souboru main, kde se nejdřív naváže komunikace mikrokontroleru ESP32 se všemi senzory a ověří jejich funkci. Reakcí na to je rozsvícení externích LED odpovídající barvou, přičemž každý senzor má svoji LED a každý stav má svoji barvu.

Po ověření této části se spouští cyklus, kdy se měří a kontrolují data před odesláním. Pokud data nejsou v pořádku tak, nebo senzor zpomaluje chod CanSatu, tak je sběr dat ze senzorů přerušen, senzor je dočasně odstrčen do pozadí a vyčítá se z něj při dalších cyklech až naposledy.

Pokud jsou data v pořádku, tak se uloží na SD kartu v CanSatu a následně pošlou na pozemní stanici.

### 4.2 Třídy

Program je napsán pomocí metody objektově orientovaného programování, a tak je pro každý senzor napsána třída, která obsahují funkce pro přípravu a vyčítání dat.

V programu main, kde se nachází hlavní cyklus, se na funkce tříd jednotlivých senzorů odkazuje pomocí header souborů.

Tato metoda dovoluje údržbu většího množství souborů, místo jednoho velkého programu.

### 4.3 Příklad programu

```
void setup(void) {
  Serial.begin(115200);
  Wire.begin(21, 22, 400000ul);
  Wire1.begin(19, 18, 100000ul);
  oneWire.begin(4);
  SPI.begin(33, 27, 14);
  SPI.setFrequency(20000000);

  pinMode(lora.cs, OUTPUT); digitalWrite(lora.cs, HIGH);
  pinMode(sd.cs, OUTPUT); digitalWrite(sd.cs, HIGH);

  pinMode(RUN_SEVER_PIN, INPUT);
  pinMode(37, INPUT);

  Serial.println("Core 0 restart reason: " + verbose_print_reset_reason(rtc_
  Serial.println("Core 1 restart reason: " + verbose_print_reset_reason(rtc_

  spiSemaphore_hadle = xSemaphoreCreateBinary();
  gpsGetDataDone_semaphore = xSemaphoreCreateBinary();
  ds18GetDataDone_semaphore = xSemaphoreCreateBinary();
  saveData_semaphore = xSemaphoreCreateCounting(3, 0);
}
```

Obr. 37: Funkce setup, kdy se navazuje komunikace mikrokontroleru s komponenty CanSatu

## 5. Pozemní stanice

Pozemní stanice je zařízení pro přijímání, zobrazování a vyhodnocování dat vyslaných CanSatem. Toto zařízení je plně nezávislé na CanSatu a je vybaveno i svými vlastními senzory pro měření polohy a okolních veličin.

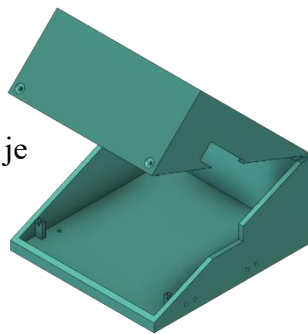
Díky pozemní stanici lze také na dálku komunikovat i se samotným CanSatem. Tímto způsobem se dá zapnout i vypnout, dají se mu rozsvítit a zhasnout signalizačních LED. Příkazem se dá upravit i jejich jas.

Tato komunikace funguje pomocí na dálku vysílaných příkazů na frekvenci 433 MHz, které lze psát pomocí externí klávesnice.

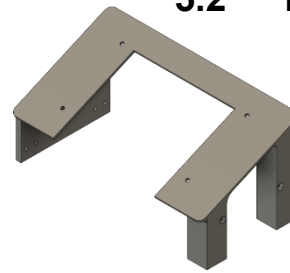
### 5.1 Konstrukce

Obal pozemní stanice je 3D tisknutý a slouží primárně pro dvě věci. Tou první je ochrana a upevnění vnitřních komponentů. Ta druhá je upevnění displeje pro Raspberry PI pro zobrazování přijímaných dat. Z konstrukce jsou též vyvedeny vývody pro připojení externích antén pro příjem dat z CanSatu. Konstrukce je vybavena víkem, které je možné otevřít pro rychlý přístup k elektronice a lze tím zlepšit i větrání vnitřního počítače při náročnějších operacích.

Vevnitř konstrukce plošného spoje, která je elektronikou stanice.



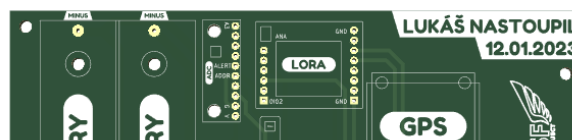
je



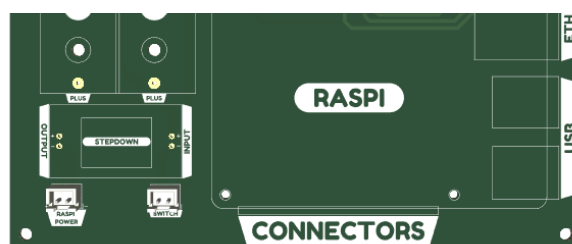
### 5.2 Elektronika

upevněná deska osazená umožňující chod

Obr. 38: 3D tištěné díly obalu pozemní stanice



Obr. 39: Hlavní deska plošného spoje pozemní stanice propojuje vnitřní elektroniku



Senzory a komponenty na desce jsou:

- Raspberry PI 4B: Počítač řídící chod stanice
  - Procesor:
    - 1.5GHz quad-core ARM Cortex-A72
    - 64-bit SoC
  - RAM:
    - 8GB
- RFM96W: LoRa modul pro dálkovou obousměrnou komunikaci
  - Pracovní napětí 3.3 V
  - Sběrnice: SPI
  - Vysílací výkon: 10 mW
  - Operační frekvence: 433MHz
  - Šifrování: SyncWord
- EWRF OTG 5G8: Přijímač operující na frekvenci 5.8 GHz, který nám dovoluje v přímém čase přijímat video z kamery vespod CanSatu
  - Pracovní napětí: 5V
  - Konektor: USB
  - Operační frekvence: 5.8GHz
  - Počet kanálů: 48
- Raspberry touch display: Dotykový displej pro ovládání stanice a pro zobrazování veškerých přijmutích dat
  - Pracovní napětí: 5V
  - Konektor: DSI
  - Displej:
    - Úhlopříčka displeje: 7 palců
    - Rozlišení: 800 x 480 px
- GY-NEO6MV2: GNS modul pro zjišťování polohy pozemní stanice
  - Pracovní napětí: 3-5 V
  - Sběrnice: UART
  - Měřená data:
    - Zeměpisná délka
    - Zeměpisná šířka



Obr. 40: Raspberry PI 4B řídí veškeré procesy v pozemní stanice



Obr. 41: RFM96W je LoRa modul pro přijímání dat z CanSatu



Obr. 42: EWRF OTG 5G8 přijímá video z CanSatu



Obr. 43: Raspberry touch display slouží k zobrazování přijímaných dat

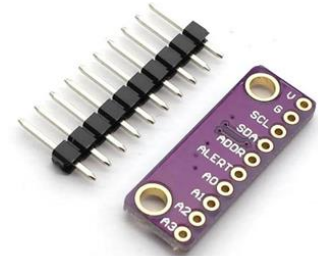


Obr. 44: GY-NEO6MV2 je modul pro zjišťování polohy pozemní stanice

- Nadmořská výška
- Datum
- Čas
- BME280: Senzor pro měření veličin v okolí pozemní stanice
  - Pracovní napětí: 3.3V
  - Sběrnice: I2C
  - Měřená data:
    - Atmosférický tlak
    - Okolní teplota
    - Vlhkost vzduchu
- ADS1115: Převodník analog na digitál ve stanici získává informace o napětí na bateriích stanice
  - Pracovní napětí: 2-5V
  - Sběrnice: I2C
  - Měřená data:
    - Napětí na bateriích
- SMD step-down: Obvod pro snížení napěťové úrovně baterií na pracovní úroveň ostatních komponentů
  - Vstupní napětí: 5.3-26V
  - Výstupní napětí: 3.3V
  - Výstupní proud: 1.8A, až 3A (s chlazením)
  - Účinnost: do 96%
- Panasonic NCR18650B: Dvojice baterií v sérii využívaná pro napájení elektronické části pozemní stanice
  - Nominální napětí: 3.6 V
  - Kapacita: 3350 mAh
  - Maximální výstupní proud: 6.7 A
  - Typ: Li-Ion



Obr. 45: BME280 je senzor pro měření teploty, tlaku a vlhkosti v okolí pozemní stanice



Obr. 46 - ADS1115 je ADC pro měření napětí na bateriích

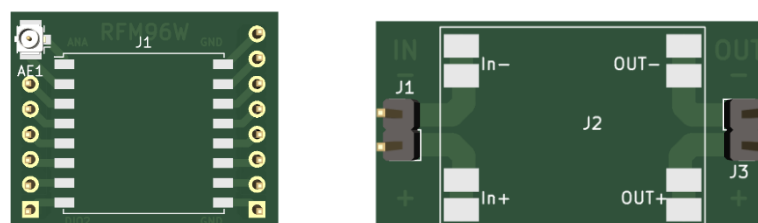


Obr. 47: SMD step-down modul mění napěťovou úroveň pro senzory



Obr. 48: Panasonic NCR18650B slouží k napájení pozemní stanice

Komponenty jako LoRa modul a step-down modul mají jinou rozteč a jsou pro ně vyrobeny desky plošného spoje pro lepší integraci do desky hlavní.



Obr. 49: Desky pro úpravu rozteče komponent pro lepší integraci

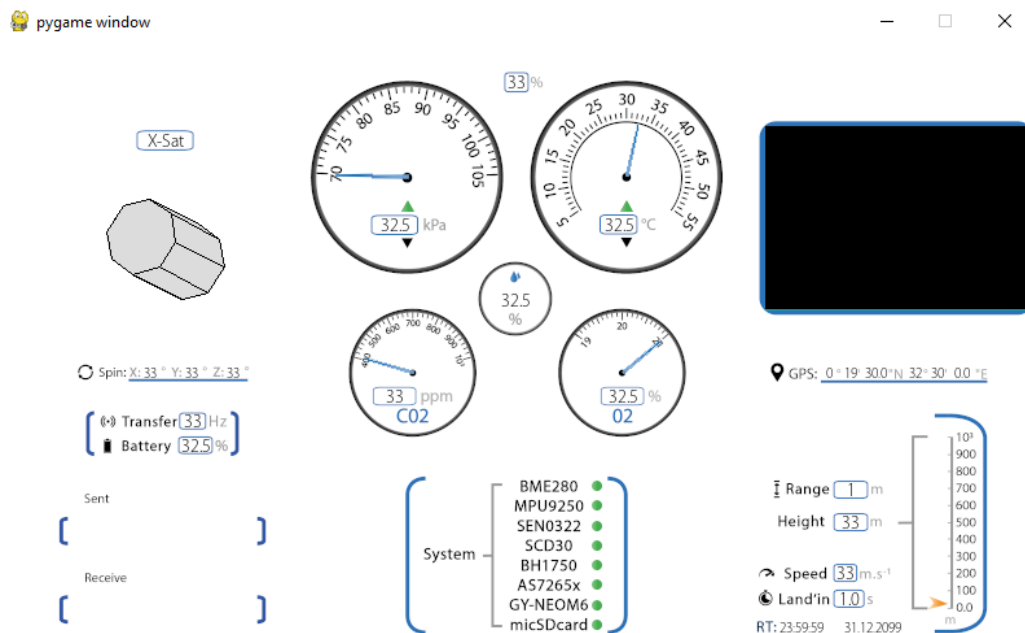
## 5.3 Vizualizační program

Vizualizační program slouží k vyobrazování přijatých informací odeslaných CanSatem.

Program je napsán v jazyce Python za pomoci knihoven Pygame a Matplotlib.

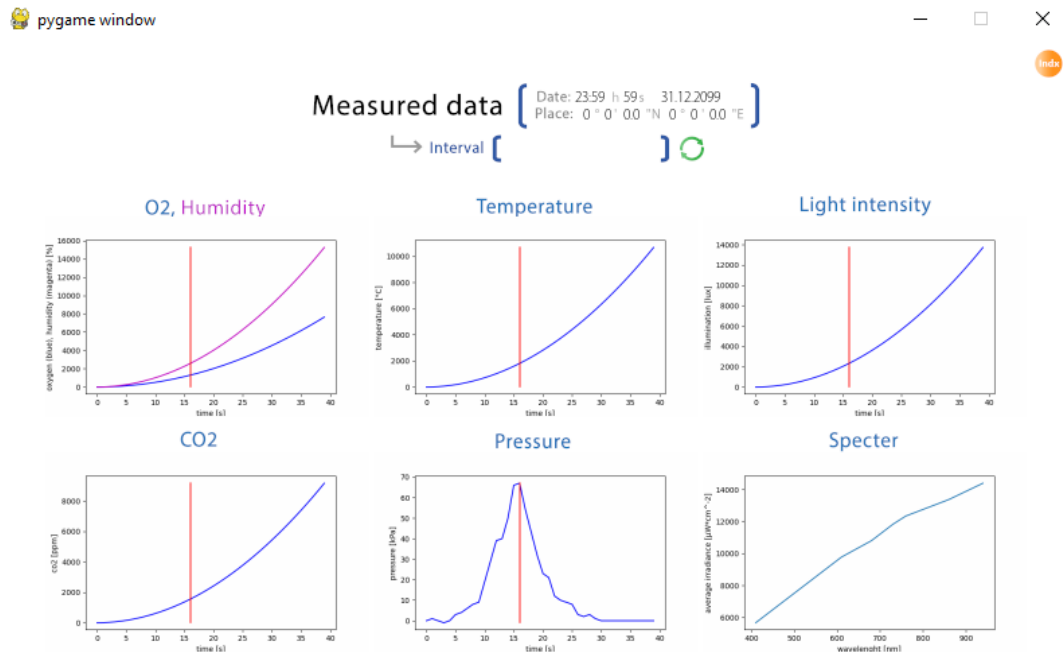
Program je dělen na dvě fáze:

- Fáze první
  - První fáze živě vyobrazuje data přijímané z CanSatu na displeji pozemní stanice
  - V této fázi je možné komunikovat příkazy s CanSatem
  - Přijatá data se ukládají na SD kartu
  - Při této fázi se dá na displeji pozorovat přímý přenos videa z CanSatu
  - Tato fáze je aktivní, když je CanSat ve vzduchu.



Obr. 50: První fáze vizualizačního programu vyobrazuje data v reálném čase

- Fáze druhá
  - V druhé fázi jsou z naměřených dat sestrojeny a vyobrazeny grafy



Obr. 51: Druhá fáze vizualizačního programu zobrazí grafy z naměřených dat



## 6. Padák

Padák je povinnou součástí primární mise a používá se k bezpečnému a kontrolovanému pádu satelitu po vypuštění z rakety.



Obr. 52: Padák se využívá ke kontrole pádu satelitu

### 6.1 Návrh

Padák se navrhuje podle několika požadavků:

- Tvar padáku

Tvar padáku je určen hlavně typem upevnění a menší změně činitele odporu.

Pro jednoduché připevnění ke vrchnímu plechu CanSatu osmi lanky byl zvolen padák osmiúhelníkového tvaru. Osmiúhelníkový padák má činitel odporu 0,8[1].

- Materiál padáku

Jako materiál padáku byl vybrán padákový nylon, protože je lehký a má ripstop strukturu, která brání zvětšování trhlin. Nylon byl vybrán růžový, kvůli lehkosti zpozorování na nebi i po dopadu

- Rychlost pádu

Rychlost pádu byla zvolena 8 m/s, což je rychlost, při které se satelit nárazem o zem nezničí. Po výpočtu vyšel průměr padáku pro tuto rychlost pádu 38cm. Do padáku se také doprostřed umístí kruhový výřez, který zrychluje otevření padáku a stabilizuje pád

$$S_p = \frac{2mg}{v^2 \rho C_d}$$

Obr. 53: Výpočet použitý pro výpočet průměru padáku

## 7. Závěr

Výsledkem práce je funkční satelit, který po dobu letu měřil a odesílal data.

Během testování byly objeveny četné chyby omezující funkčnost výrobku. Bylo třeba změnit způsob odesílání dat, kvůli velmi dlouhému řetězci dat. Způsob ovládání kamery bylo třeba nahradit tranzistorem. Původní hodnoty odporů pro spínání H můstku na Antenna Switcher byly potřeba nahradit za menší.

V současné době je ve výrobě nový prototyp výrobku odstraňující designové chyby, přidávající nové periferie a funkce. Nový prototyp také razantně zvyšuje profesionalitu výsledného výrobku.

Věřím, že tento výrobek bude mít přesah v oblasti meteorologických sond a ve výuce a práci s mikrokontrolery.

Při vývoji pozemní stanice byly problémy s dostupností součástek, které byly řešeny hledáním alternativ a improvizováním.

Po dobu finále pozemní stanice přijímala i zobrazovala data.

S výrobkem jsme se jako tým Project SkyFall umístili na 1. místě v Národním finále soutěže CanSat vyhlášené společností ESERO v roce 2023.

## 8. Seznam obrázků

Obr. 1: CanSat je satelit o velikosti plechovky měřící okolní veličiny, které následně vysílá na zem.....	5
Obr. 2: Pozemní stanice je nezávislé zařízení sloužící ke přijímání a zpracování dat v reálném čase .....	6
Obr. 3: Obal chrání vnitřní komponenty CanSatu.....	7
Obr. 4: Chránič senzoru kyslíku upevňuje senzor ve svorkách.....	8
Obr. 5: Chránič kamery upevňuje kameru ke spodní straně satelitu .....	8
Obr. 6: Chránič baterií přechází poškození akumulátorů při dopadu.....	8
Obr. 7: Konstrukce CanSatu bez obalu .....	8
Obr. 8: Blokové schéma desky Power Unit .....	9
Obr. 9: Přední a zadní strana desky Power Unit.....	9
Obr. 10: ME2-O2 je senzor měřící koncentraci kyslíku v okolí .....	10
Obr. 11: SCD31 je senzor měřící koncentraci oxidu uhličitého v okolí.....	10
Obr. 12: BNO055 je senzor měřící náklon a zrychlení .....	10
Obr. 13: NEO-M9N je GNSS modul pro zjištění polohy CanSatu .....	10
Obr. 14: PCA8574 je GPIO extender pro navýšení množství vstupů pro více senzorů .....	11
Obr. 15: INA219 je IC pro měření napětí na bateriích a odebíraný proud .....	11
Obr. 17: Přední a zadní strana desky Control Unit.....	12
Obr. 16: Blokové schéma desky Control Unit .....	12
Obr. 18: ESP32-MINI-1 je mikrokontroler řídící chod CanSatu .....	13
Obr. 19: BME280 je senzor pro měření teploty, tlaku a vlhkosti ve svém okolí .....	13
Obr. 21: CP2102N je převodník USB na UART pro komunikaci s hardwarem CanSatu.....	13
Obr. 20: PT7C4339 jsou hodiny reálného času.....	13
Obr. 22: RFM96W je LoRa modul pro dálkovou komunikaci s pozemní stanicí .....	14
Obr. 23: Teplotní senzor DS18B20 pomáhá s přesnějším měřením teploty .....	14
Obr. 24: MAX1626 je step-down obvod snižující napěťovou úroveň .....	14
Obr. 25: Blokové schéma desky Side Unit.....	15
Obr. 26: Blokové schéma desky Side Unit.....	15
Obr. 27: WS2812E jsou adresovatelné RGB LED používané k signalizaci .....	16
Obr. 28: Spektrometr AS7265 snímá intenzitu jednotlivých částí světelného spektra.....	16
Obr. 29: BH1750 je senzor pro snímání intenzity dopadajícího světla .....	16
Obr. 30: Pětiprvková Yagi anténa pro příjem dat z CanSatu .....	17
Obr. 31: Invertovaná F-anténa CanSatu pro vysílání na 433 MHz .....	17
Obr. 32: Směrová anténa sloužící pro příjem videa z CanSatu .....	17
Obr. 33: Anténa CanSatu na 5.8 GHz pro vysílání videa.....	17
Obr. 34: CanSat je napájen dvojicí baterií 104050.....	18
Obr. 35: TBS UNIFY PRO32 NANO 5G8 zpracovává videa k odeslání .....	18
Obr. 36: Caddx Loris 4K je kamera pro natáčení obrazu při letu .....	18
Obr. 37: Funkce setup, kdy se navazuje komunikace mikrokontroleru s komponenty CanSatu.....	19
Obr. 38: 3D tištěné díly obalu pozemní stanice .....	20
Obr. 39: Hlavní deska plošného spoje pozemní stanice propojuje vnitřní elektroniku .....	20
Obr. 40: Raspberry PI 4B řídí veškeré procesy v pozemní stanici .....	21
Obr. 41: RFM96W je LoRa modul pro přijímání dat z CanSatu .....	21
Obr. 42: EWRF OTG 5G8 přijímá video z CanSatu.....	21
Obr. 43: Raspberry touch display slouží k zobrazování přijímaných dat.....	21
Obr. 44: GY-NEO06MV2 je modul pro zjišťování polohy pozemní stanice.....	21
Obr. 45: BME280 je senzor pro měření teploty, tlaku a vlhkosti v okolí pozemní stanice .....	22
Obr. 46 - ADS1115 je ADC pro měření napětí na bateriích .....	22
Obr. 47: SMD step-down modul mění napěťovou úroveň pro senzory .....	22
Obr. 48: Panasonic NCR18650B slouží k napájení pozemní stanice .....	22
Obr. 49: Desky pro úpravu rozteče komponent pro lepší integraci .....	22
Obr. 50: První fáze vizualizačního programu vyobrazuje data v reálném čase.....	23
Obr. 51: Druhá fáze vizualizačního programu zobrazí grafy z naměřených dat .....	24
Obr. 52: Padák se využívá ke kontrole pádu satelitu.....	25
Obr. 53: Výpočet použitý pro výpočet průměru padáku .....	25