



## **Středoškolská technika 2016**

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

### **Studentský minisatelit CanSat pro evropskou soutěž ESA 2016**

**Vladimír Váňa, Daniel Jirouš, Tomáš Jakeš, Pavel Sýkora, Tomáš Kučera, Ondřej Poláček**

Střední průmyslová škola elektrotechnická  
Ječná 30, Praha 2

#### **Úvod**

Cílem práce je navrhnout a realizovat minisatelit Cansat pro studentskou soutěž ESA 2016 European CanSat competition. Elektronika Cansatu sestává z palubního počítače, bloku čidel teploty, atmosférického tlaku, 3D akcelerometru, 3D magnetometru a 3D gyroskopu. Dalšími bloky je deska s mikro SD kartou, blok GPS a blok trancieveru 433MHz. Obsahem práce je i tvorba softwaru pro palubní počítač. Projekt přináší praktické zkušenosti v návrhu strojírenských a elektronických dílů, návrhu a realizace DPS, návrh software pro MCU a návrh a realizaci padáčku.

#### **1. Kapitola**

##### **Co je to CanSat ?**

Před několika lety se objevila zajímavá technická novinka - stavba „minisatelitů“ soukromými osobami využívajícími k jejich konstrukci plechovku od limonády. Odtud pochází i jejich název -CanSat. Poprvé s myšlenkou CanSatu přišel profesor Robert Twiggs na konci 90. let. Tvůrci CanSatů do plechovky od limonády obvykle umísťují nějaká čidla jako např. čidlo tlaku a teploty, GPS moduly, kamery apod., jednočipové mikropočítače a vysílač pro VKV či UKV pásma ISP či pro některé z radioamaterských pásem 2m, 70cm, 23cm či 12cm. K vypuštění CanSatu vybaveného vlastním padáčkem obvykle slouží balon, quadroptéra či signální raketa. Poté, co CanSat opustí raketu či balon, padá s pomocí padáčku k zemi a přitom vysílá naměřené údaje. Stavbou a provozem CanSatů se zabývají často zejména vysokoškolští studenti. Někdy je to i součástí jejich studia. V roce 2010 začala Evropská vesmírná agentura (ESA) pořádat soutěž pro středoškoláky zvanou CanSat competition.

Evropská soutěž CanSat je součástí iniciativy ESA inspirovat mladé lidi ke studiu v oblasti vědy a inženýrství, s cílem zajistit dostupnost vysoce kvalifikovaných pracovních sil v kosmickém průmyslu budoucnosti.[1]



Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-1 CanSat Launcher V7 render pro odpálení CanSatu



Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-2 Cansat přistávající k Zemi

## 1.2. Podmínky soutěže

Úkolem je navrhnout a realizovat minisatelit, který bude vypuštěn raketou do výše cca 1km a poté bude na padáčku klesat k Zemi, přitom bude plnit dvě mise. První z nich je pro každý tým povinná. Jde o měření atmosférického tlaku a teploty. Druhá mise již závisí na volbě soutěžního týmu.

Při sestupu minisatelitu k Zemi jsou hodnoty naměřených údajů vysílány pomocí transceiveru pro pásmo 70cm, jsou zachyceny pozemní stanicí soutěžního týmu, dále pak zpracovány a v reálném čase zobrazeny na PC. Data jsou ještě zálohována na mikro SD kartu umístěnou na palubě Cansatu.

Všechny komponenty minisatelitu, s výjimkou padáku, se musí vejít do standardní plechovky od nápoje (výška 115mm a průměr 66mm). Výjimkou mohou být radiové a GPS antény, které lze umístit po stranách nebo v horní či dolní části plechovky. Hmotnost CanSatu musí být v rozmezí 300g až 350g. Minisatelit musí být schopen odolat zrychlení až 20g. Cena CanSatu by neměla přesahovat € 500.

### 1. 3. Výběr druhé mise

Jako druhou misi si náš tým zvolil 3D měření zrychlení a 3D měření magnetického pole Země. Dále jsme se rozhodli pro 3D gyroskop a GPS pro určení polohy Cansatu. Kromě toho chceme měřit i intenzitu světla. Pro druhou misi jsme tedy zvolili docela dost měření, abychom si ověřili práci s čidly, zpracování a přenos jejich signálů a dále tato data zpracovali a vyjádřili graficky a navíc uložili do free cloudu thingspeak.com. To vše se nám totiž hodí i pro IoT (Internet of Things), což je problematika, které se chceme také věnovat.

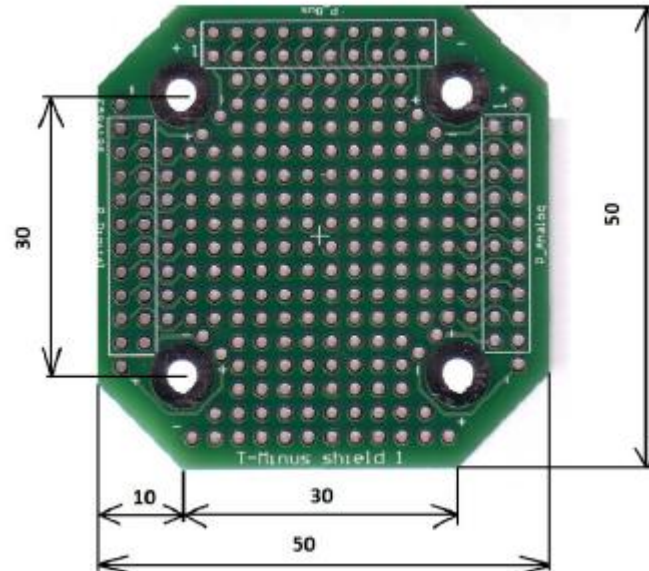
## 2. Kapitola

### Hardware

Mise CanSatu přímo určují, jaké elektronické vybavení budeme potřebovat. Skládá se z bloku čidel teploty a atmosférického tlaku BMP180, bloku čidel Pololu MINIMU-9V3 s 3D akcelerometru a 3D magnetometrem LSM303D a 3D gyroskopu L3GD20H. Další blok s čipem BH1750FVI slouží pro měření intenzity osvětlení v rozsahu 0 až 65535 lx a je zde také blok s čipem kalendáře a reálného času PCF8563T neboť spolu s naměřenými hodnotami z čidel potřebujeme znát i čas měření. Bude také obsahovat modul GPS, palubní počítač tvořený Arduinem Micro pro komunikaci s čidly (nastavení jejich vlastností, přečtení dat) a komunikaci s transceivrem (vysílač a přijímač) RFM69HW. Dalším blokem tedy bude ještě vysílač. Protože nemůžeme zaručit nerušený příjem naměřených dat, rozhodli jsme se doplnit elektroniku o mikro SD kartu a naměřená data na ní zaznamenávat. Jako napájecí zdroj pro elektroniku bude sloužit 9V baterie. Vzhledem k tomu, že musí být komponenty CanSatu umístěny do plechovky, musíme dbát nejen na jejich funkčnost, ale také ohlídat, abychom nepřekročili povolené limity.

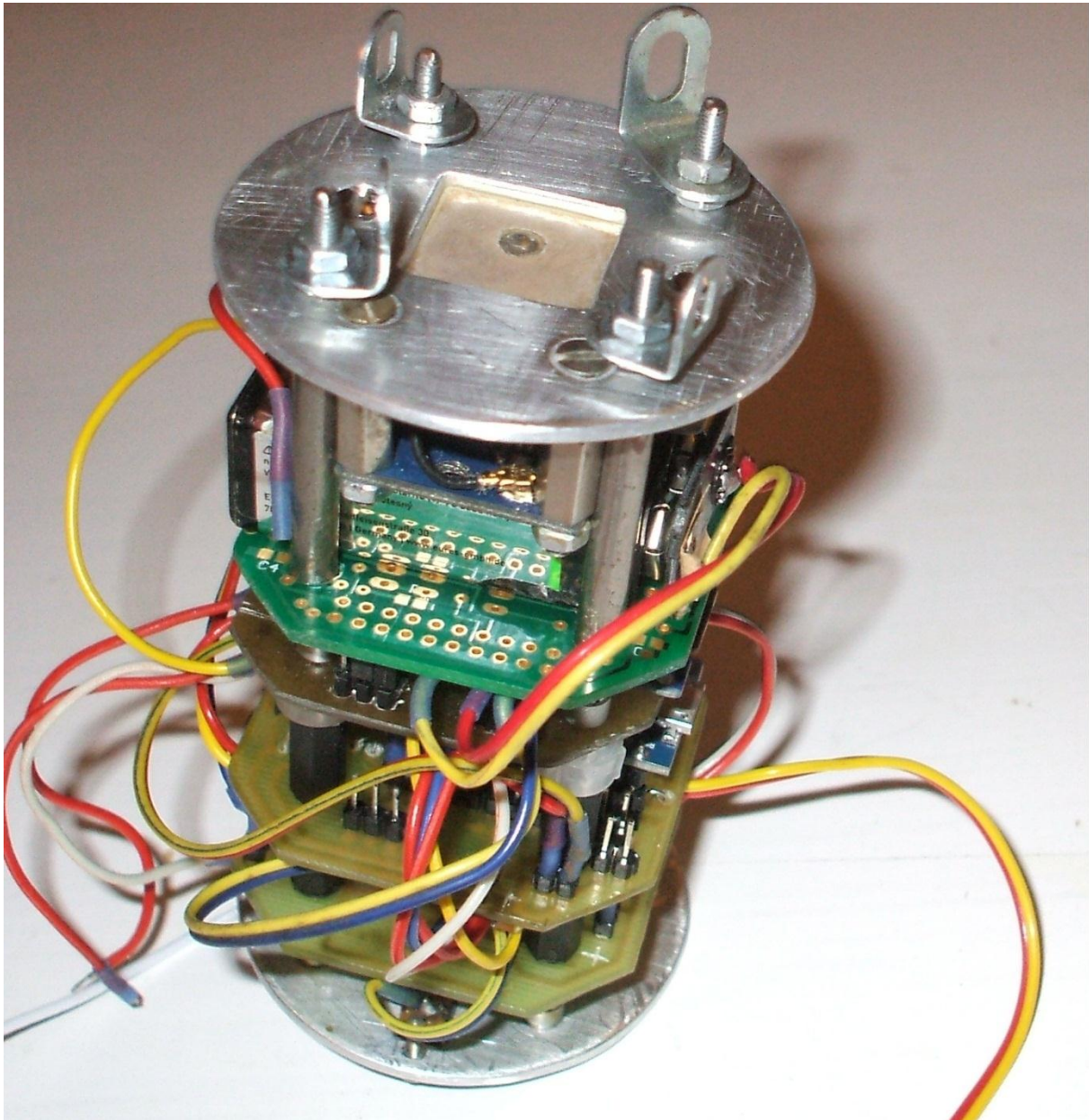
## 2.1 Konstrukční provedení Cansatu

Konstrukční provedení našeho cansatu se skládá se dvou kruhových čelíček o průměru 60mm spojených čtveřicí M3 svorníků délky 115mm. Na tyto svorníky jsou ještě navlečené desky elektroniky o rozměrech zřejmých z následujícího obrázku:



Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-1 Deska plošného spoje s otvory pro svorníky

Další obrázek ukazuje zmíněnou mechanickou konstrukci s navlečenými deskami.

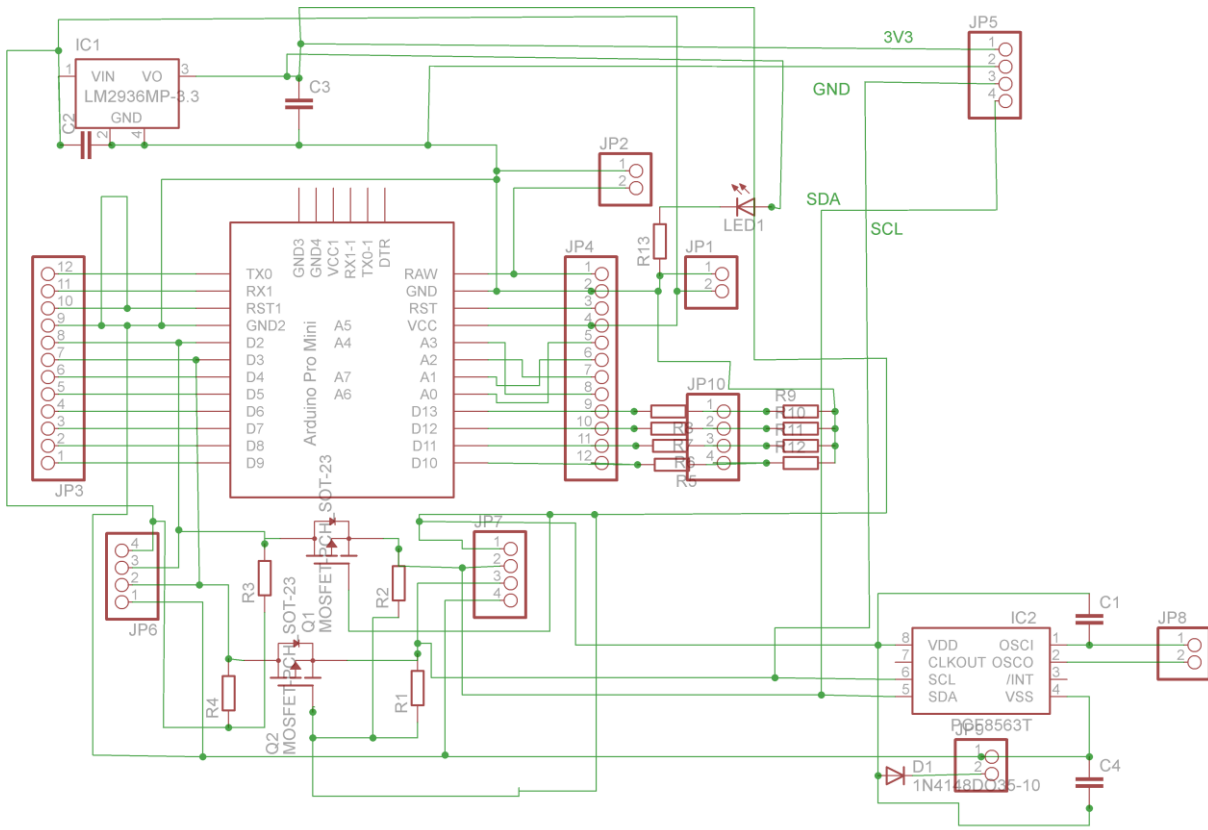


Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-2 Mechanická konstrukce

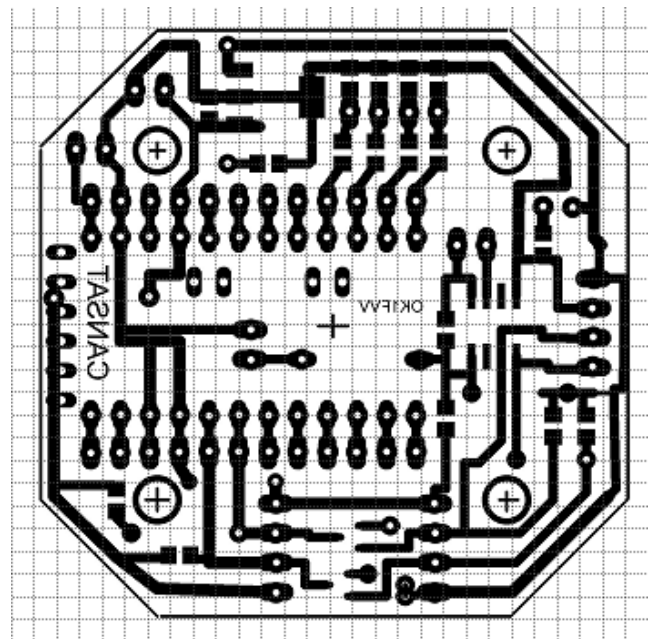
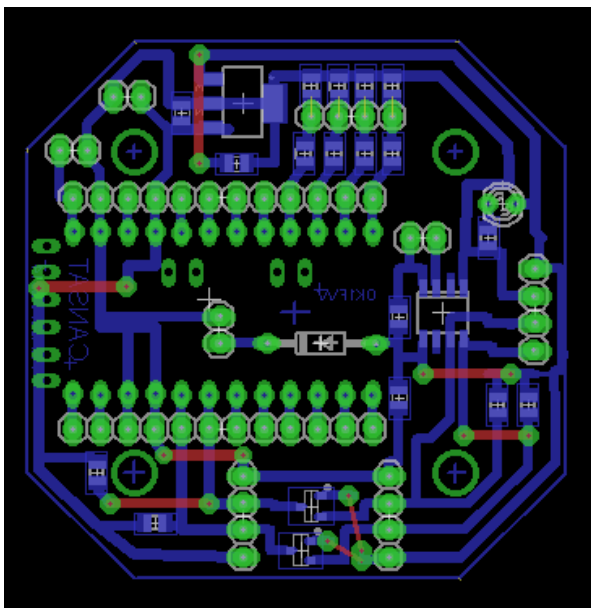
## 2.2 Palubní počítač

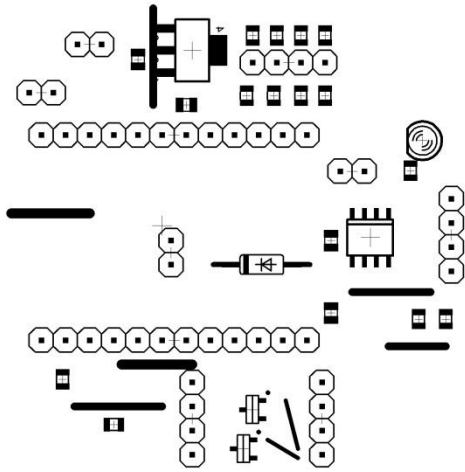
Tento počítač tvoří Arduino Micro s MCU ATMEGA32U4. Umístili jsme ho na destičku spolu s čidlem teploty a tlaku BMP180. Tato čidla, stejně jako čidla na dalších deskách komunikují s ARDUINO Micro prostřednictvím protokolu I2C. Protože datové signály Arduina jsou na úrovni 5V a čidla pracují s úrovní 3V3, je na této desce ještě oboustranný převodník úrovní 3V3 – 5V pro signály SDA a SCL protokolu I2C. Jsou tvořeny transistory BSS138SMD. Při návrhu desek PCB jsme použili program Eagle. Následující obr. ukazuje desku PCB s palubním počítačem Arduino Micro, čidlem BMP180, převodníkem úrovní s dvojicí BSS138 a řadou konektorů pro spojení této desky s okolím. Dále ke sběrnici I2C

máme na této desce připojen obvod hodin. Současně se záznamem či vysíláním naměřených dat potřebujeme totiž vědět i čas, kdy byla data pořízena.



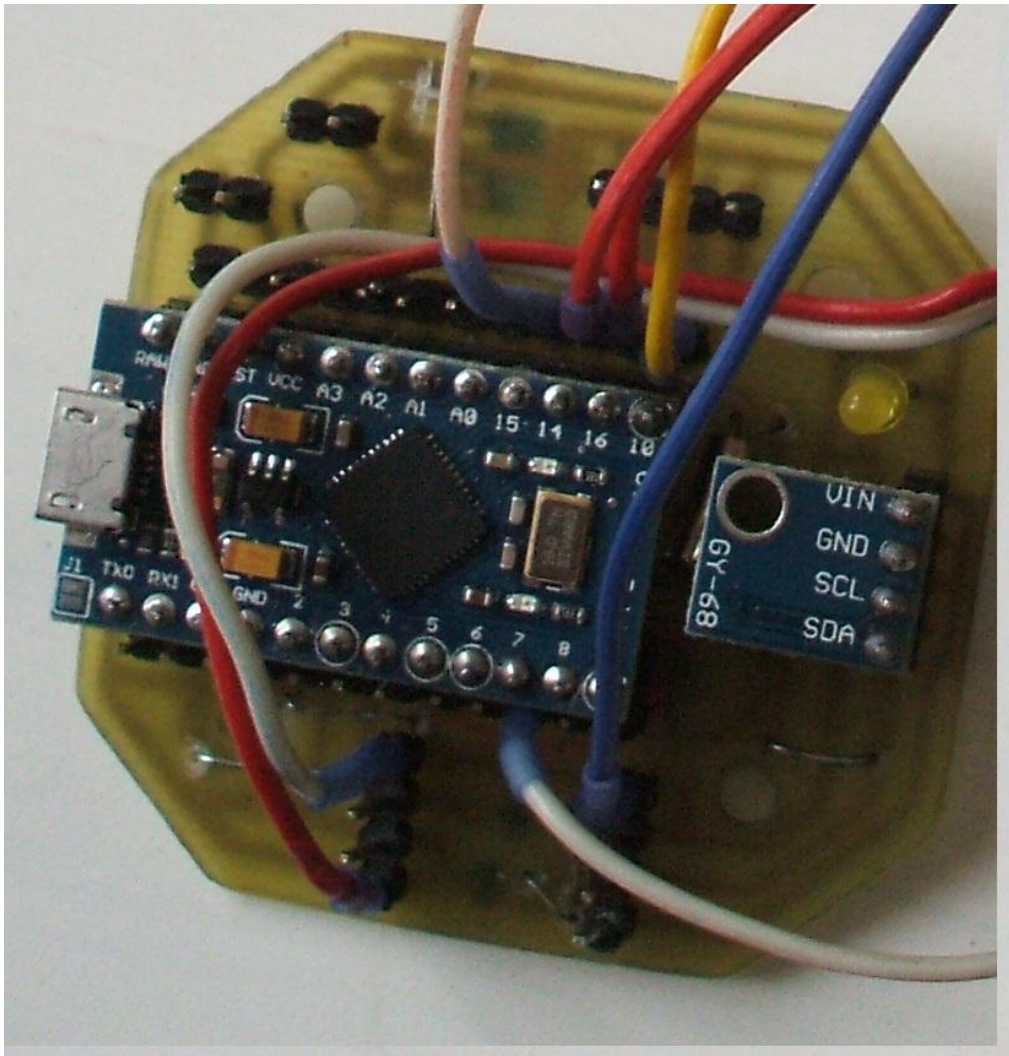
Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-3 Schéma zapojení palubního počítače



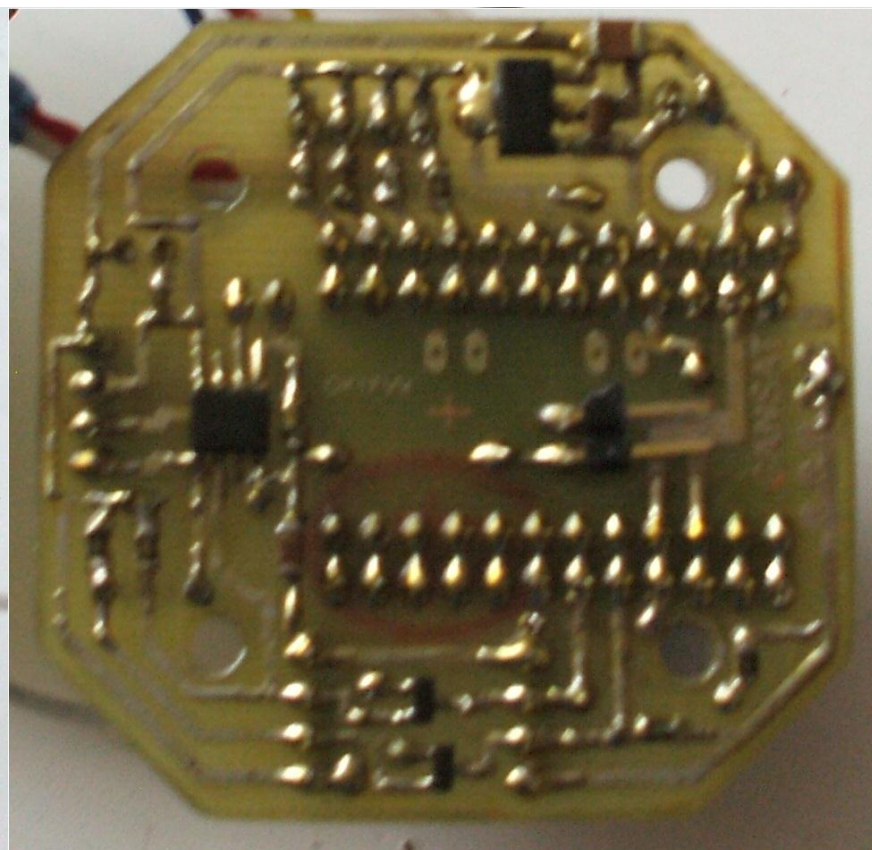


Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-4 PCB s palubním počítačem a BMP180

Další dva obrázky ukazují vyrobenou a osazenou desku palubního počítače:



Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-5 Pohled na horní stranu palubního počítače

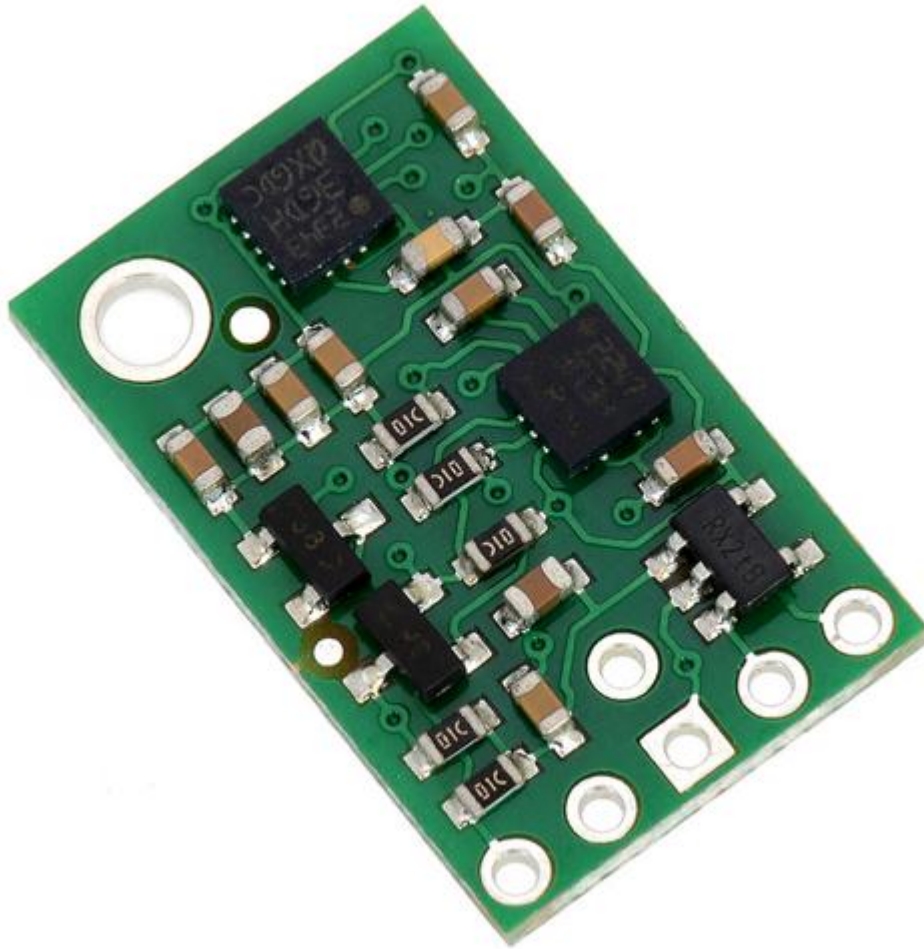


Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-6 Pohled na dolní stranu palubního počítače

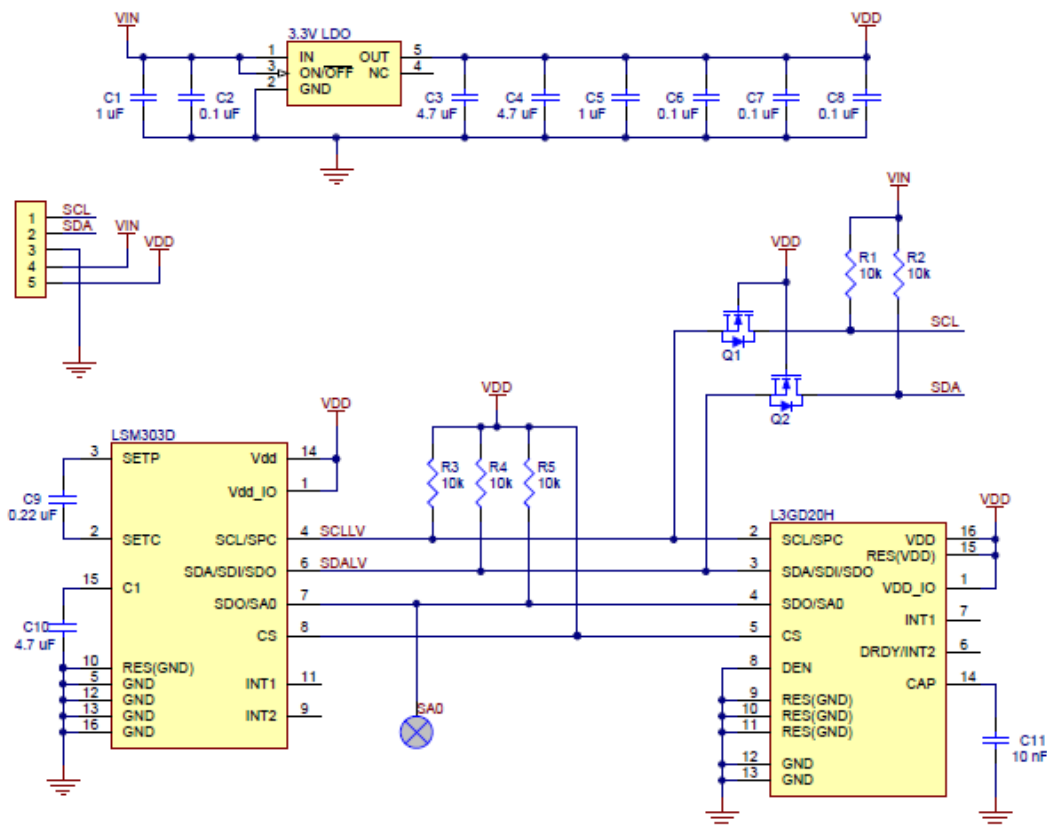
### 2.3 Blok čidel a trancieveru

Předpokládáme použití čidel: 3D akcelerometru, 3D magnetometru a 3D gyroskopu od firmy STMicroelectronics. Při vývoji této desky jsme vycházely z článku [1]. Využily jsme přitom modul Pololu MINIMU-9V3 s 3D akcelerometru a 3D magnetometrem LSM303D a 3D gyroskopu L3GD20H.





Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-7 Pohled na destičku Pololu MINIMU-9 V3



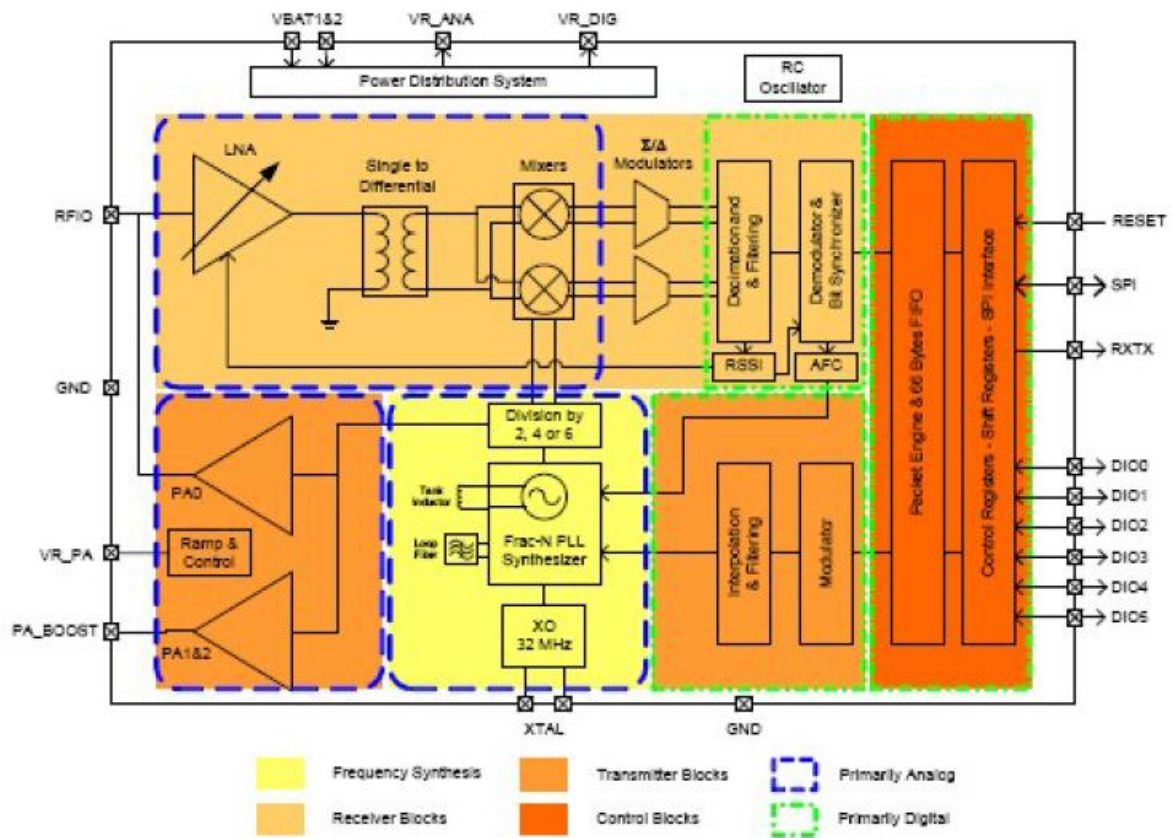
**Obrázek** Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-8 Zapojení adaptérové destičky Pololu MINIMU-9V3

S modulem Pololu MINIMU-9V3 se komunikuje prostřednictvím I2C. Dále se podíváme na základní parametry MINIMU-9V363 týkající se napájení: Napájení 2,4 až 3,6 V. I/O napěťové úrovně max. 3,6V takže se nesmí připojit na TTL přímo, tj ani k Arduino , které je napájeno 5V! Protože i2c signály SDA a SCL jsou obousměrné, musí být převodník mezi 3V3 a 5V také obousměrný. Ten jsme vytvořili s tranzistorem BSS138 a umístili na desce palubního počítače.

Na desce je spolu s blokem čidel Pololu MINIMU-9 V3 rovněž umístěn vysílač/přijímač RFM69HW firmy Hoperf Electronics

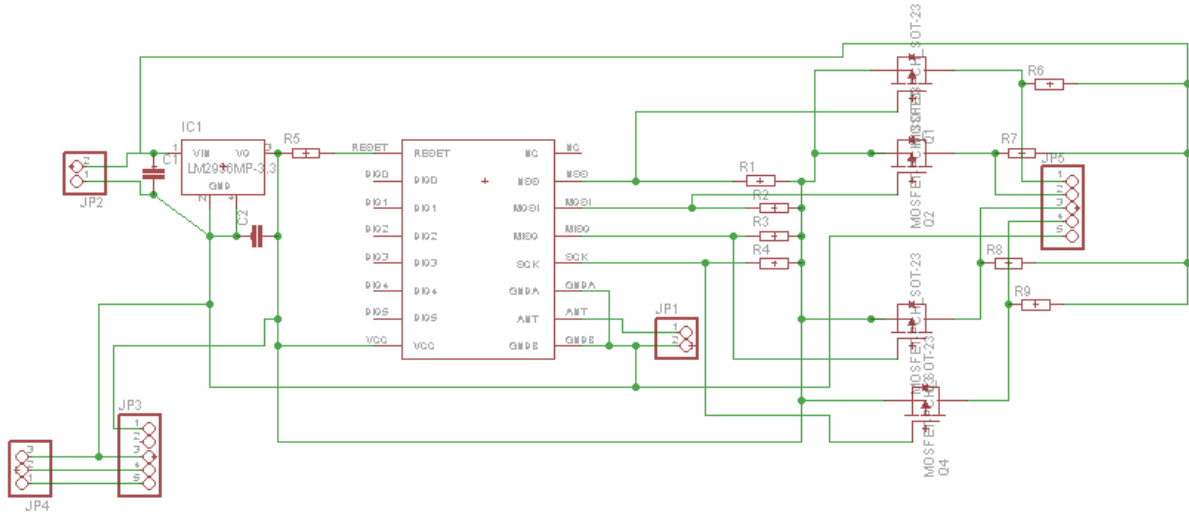


Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-9 Obrázek transcieveru RFM69HW

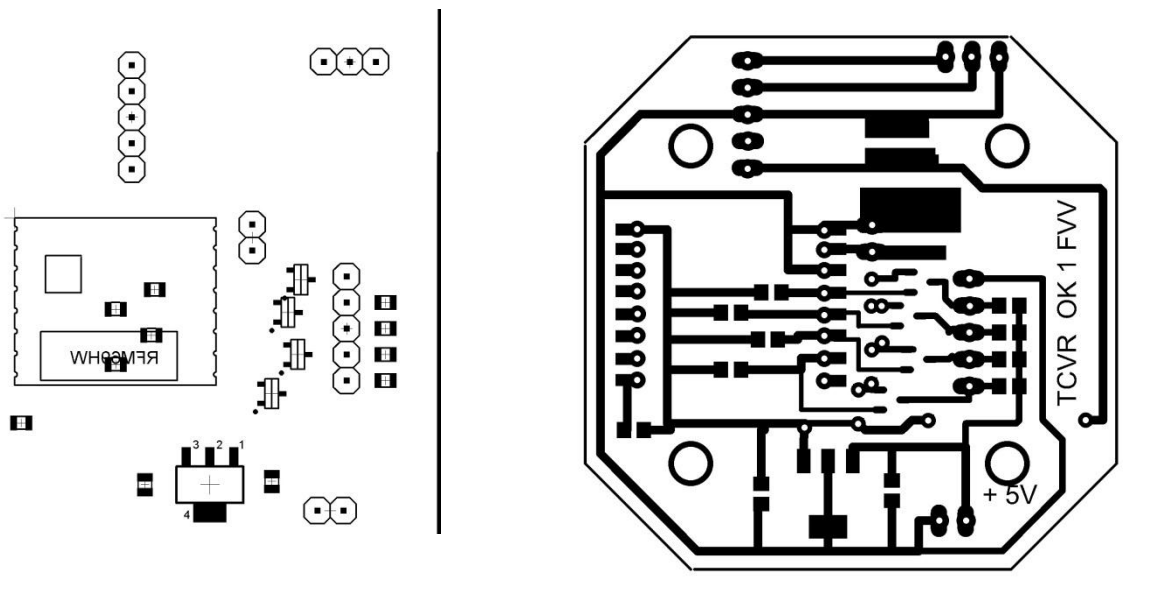


Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-10 Blokové schéma transcieveru RFM69HW

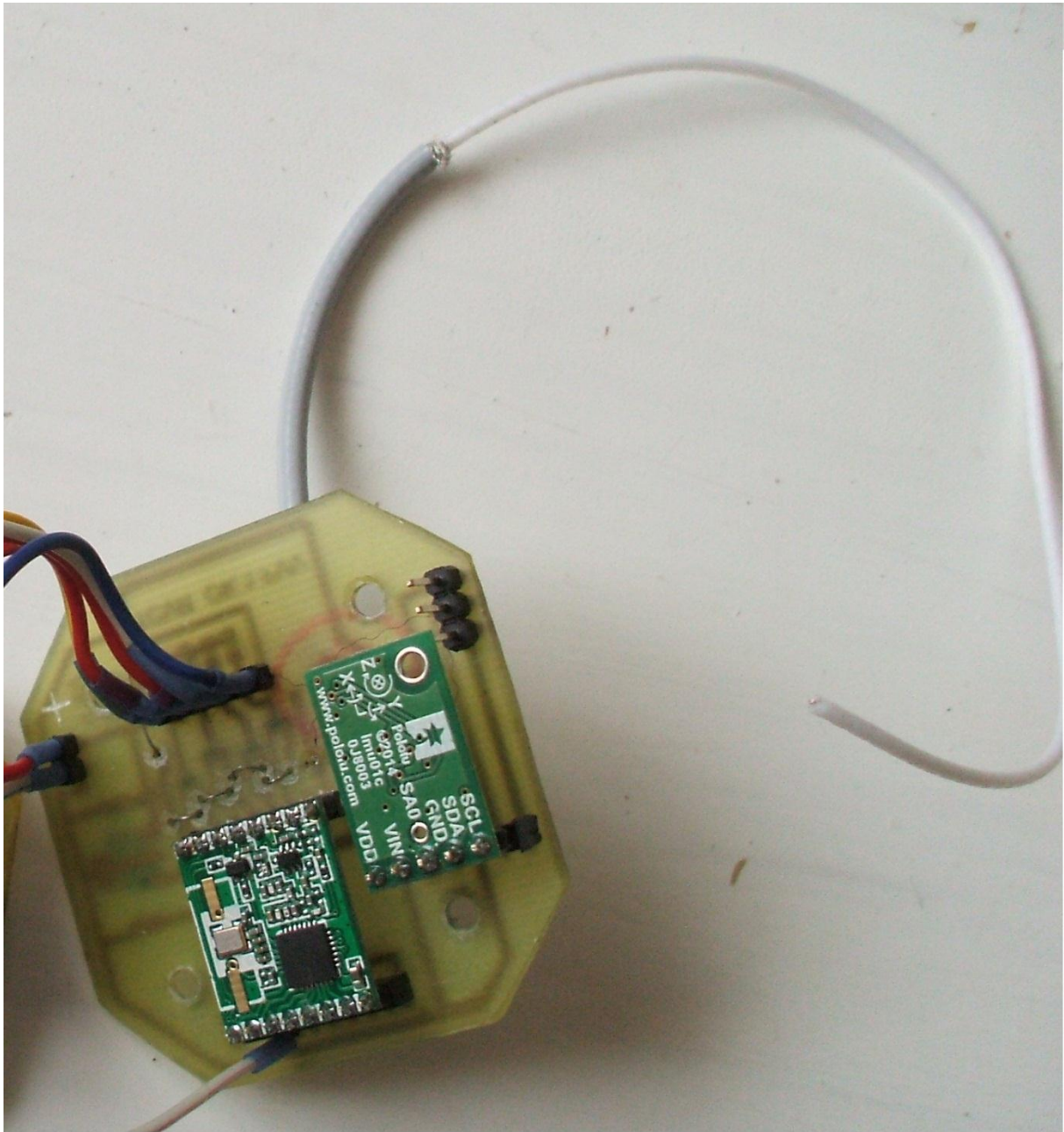
TCVR RFM69HW komunikuje s MCU pomocí SPI tj pomocí čtyř signálů CS, MOSI, MISO a SCK. Ty jsou na úrovni 3V3, kdežto Arduino na 5V, takže opět použijeme na této desce čtveřici oboustranných převodníků úrovní s BSS138. Nakonec zbývá uvést obrazec PCB desky čidel a vysílače:



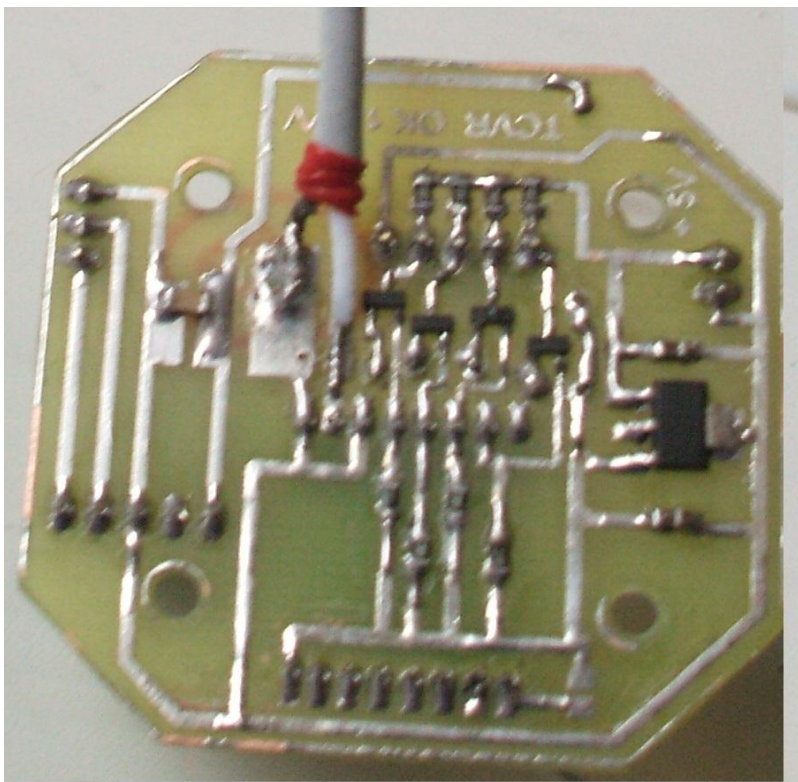
**Obrazek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-11 Zapojení desky s trancieverem RFM69HW a čidly na JP3**



**Obrazek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-12 PCB desky s trancieverem RFM69HW a čidly na JP3**



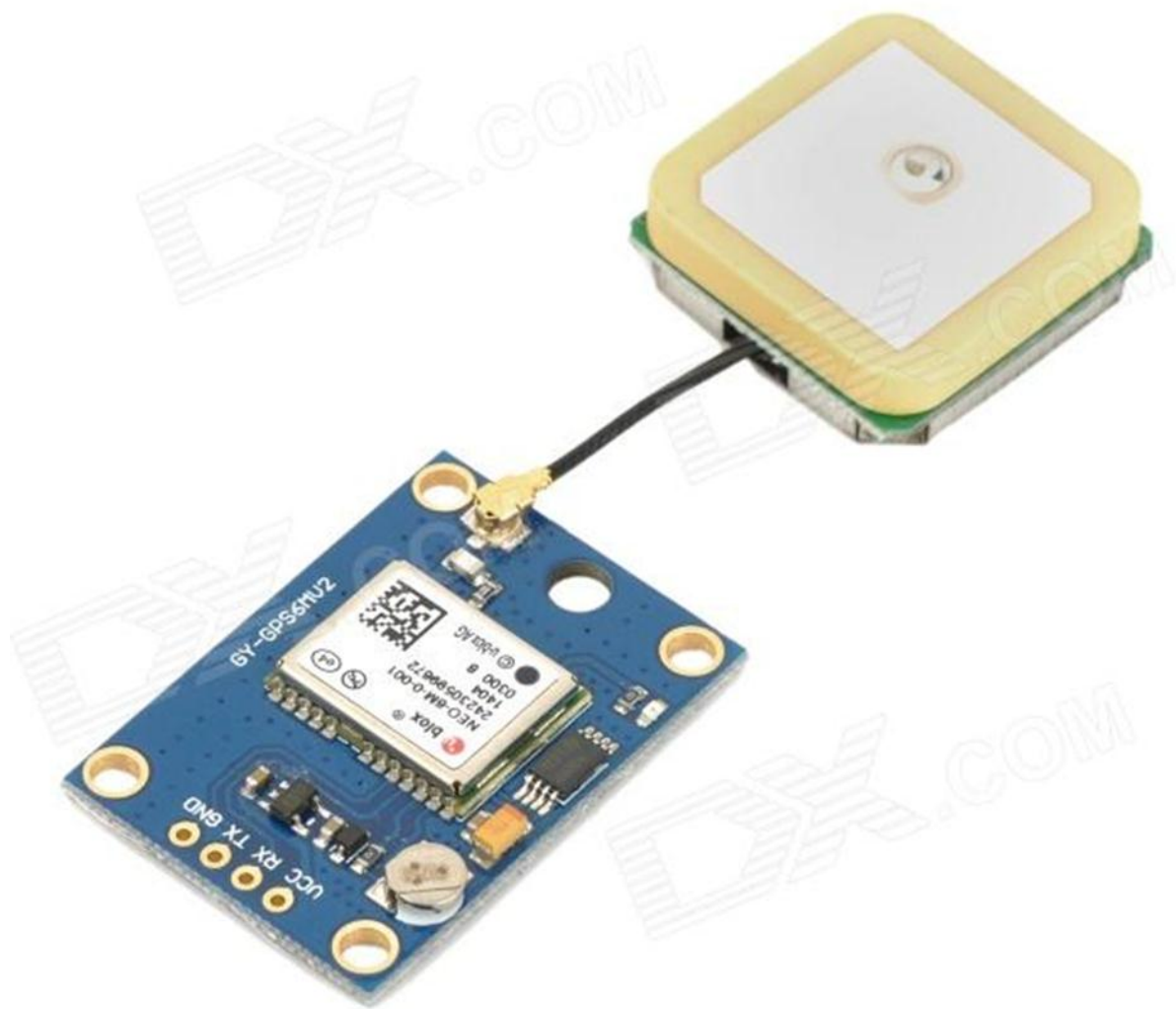
Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-13 Pohled na desku s transceiverem RFM69HW a čidly zeshora



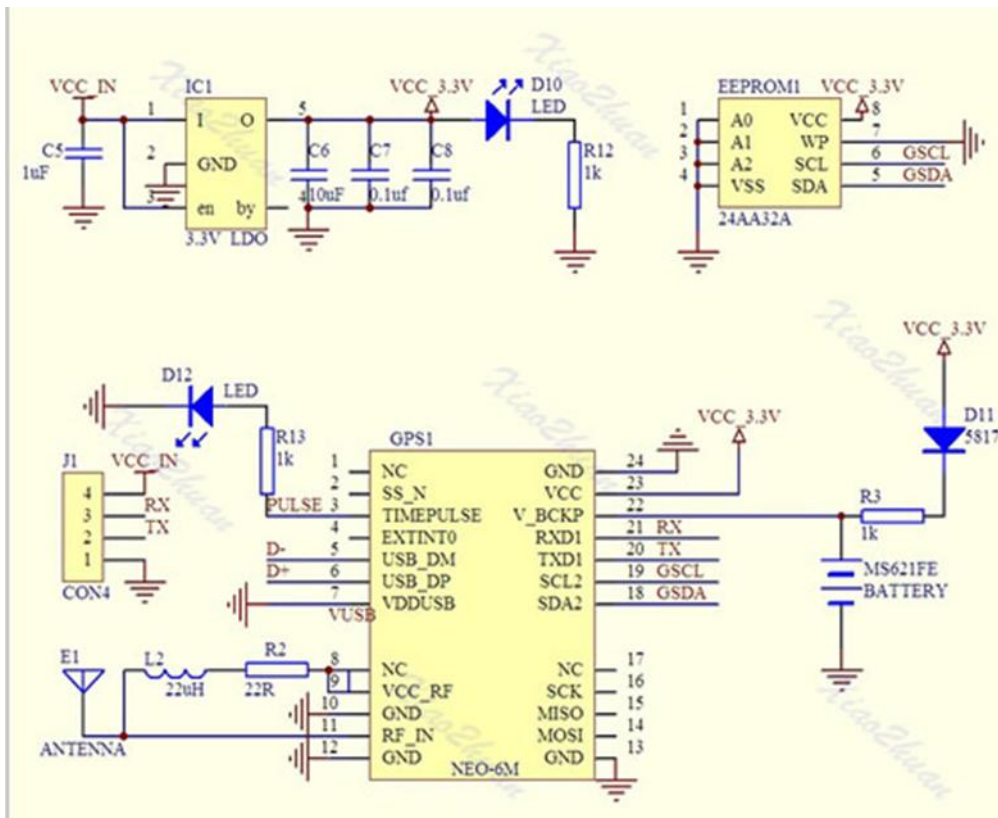
Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-14 Pohled na desku s trancieverem RFM69HW a čidly zespoda

## 2.4 GPS

Pro zaznamenávání polohy GPS jsme využili továrně vyráběný modul GPS: GY-GPS6MV1 některými výrobci též nazývaný GY-GPS6MV1 NEO-6M GPS modul. Jeho provedení ukazuje obr.2-11



Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-15 Modul GPS, převzato ze stránek výrobce

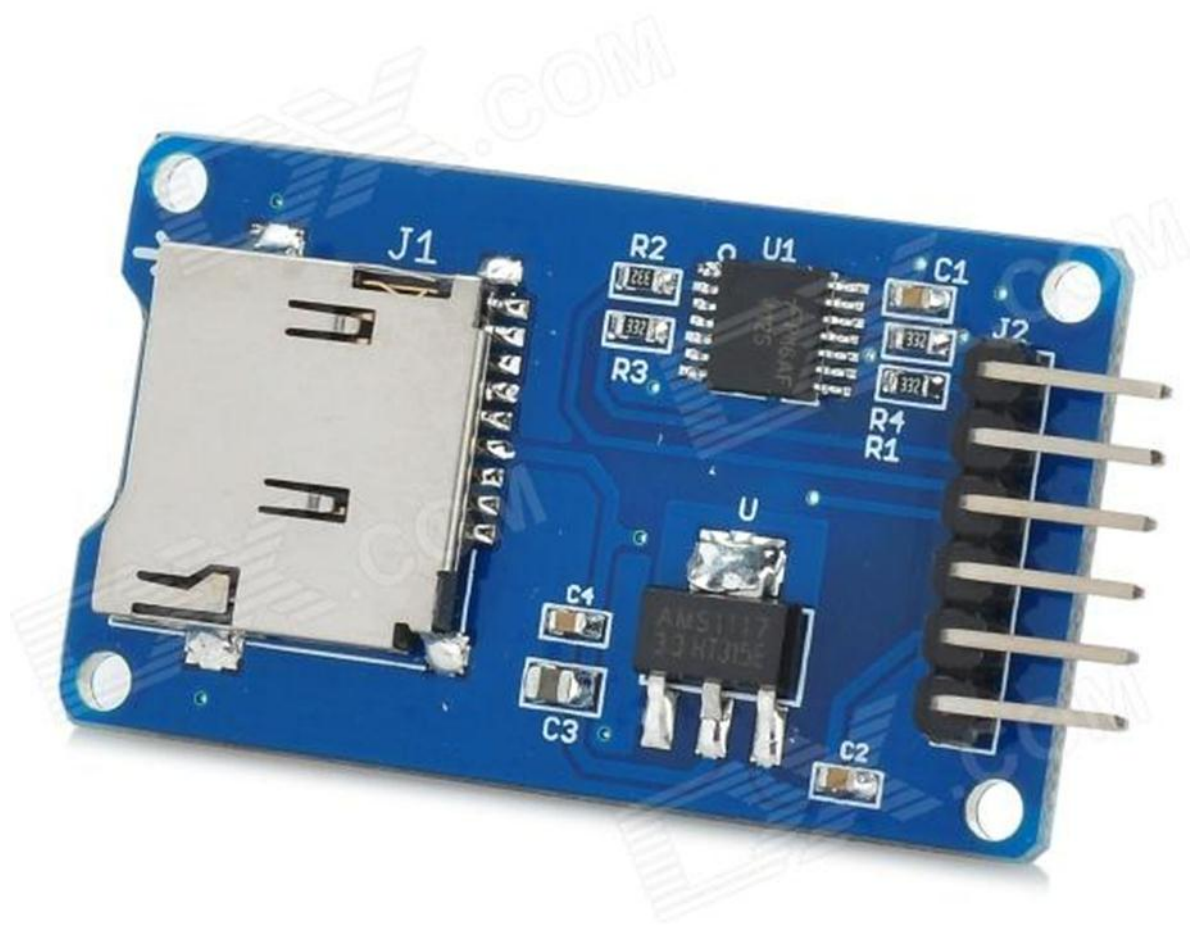


Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-16 schéma GPS modulu, převzato ze stránek výrobce

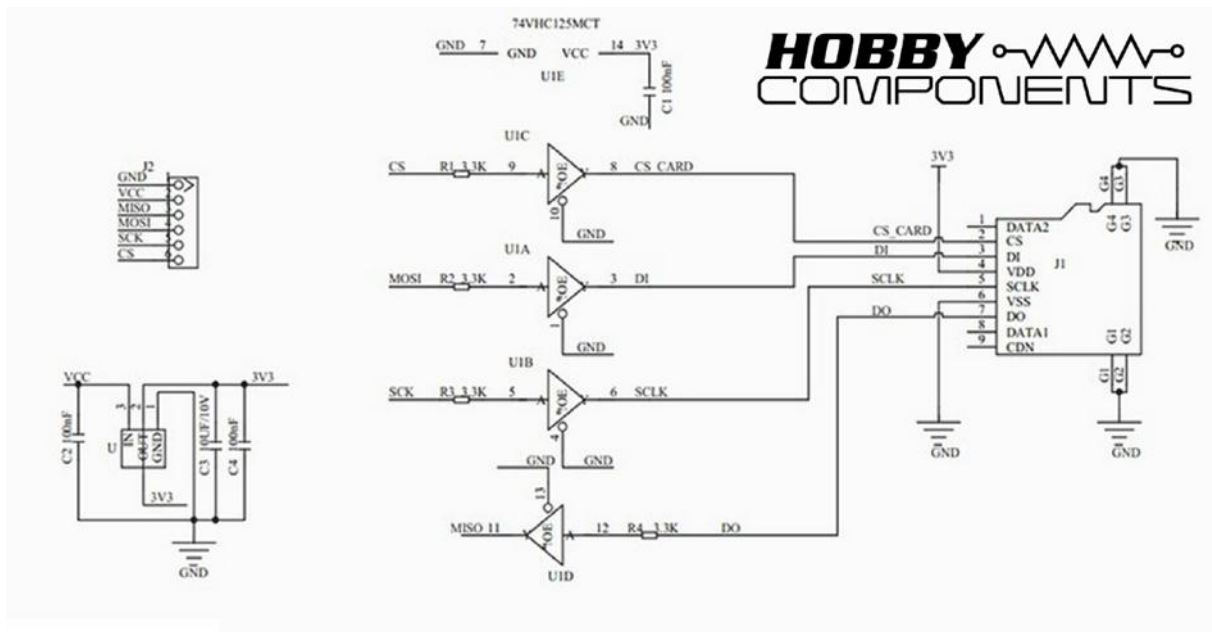
## 2.5 Mikro SD karta

Z obavy z výpadku přenosu dat z mikrosatelitu do pozemní stanice jsme se rozhodly naměřená data nahrát na mikro SD kartu. Pro komunikaci s ní využíváme SPI čtveřici signálů MOSI, MISO, SCL a CS. Opět se nám podařilo získat hotový modul. Mikro SD karta je na obr. 2-12. Schéma modulu mikro SD karty je zobrazeno na obr. 2-13





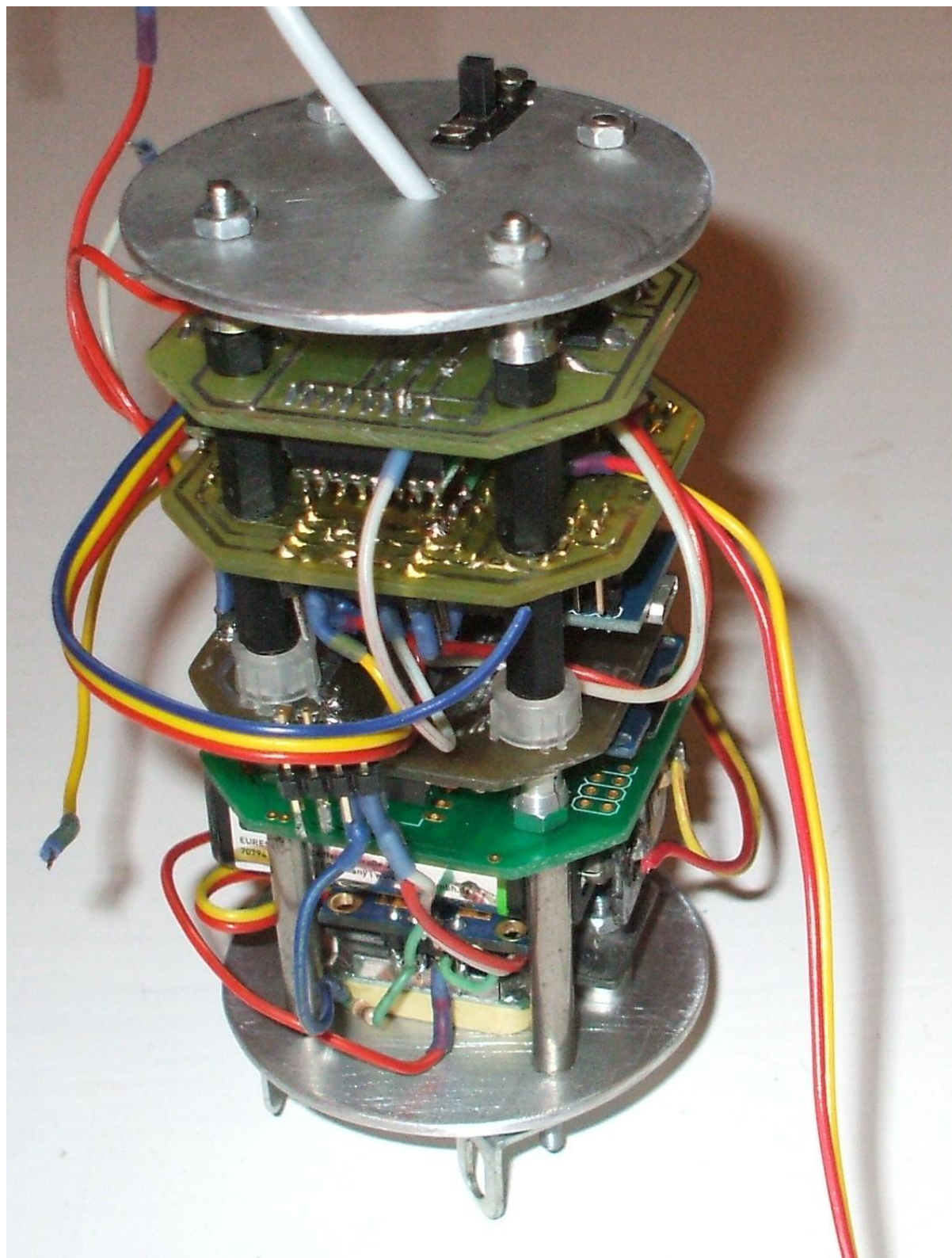
Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-17 pohled na modul mikro SD karty, převzato ze stránek výrobce



**Obrázek** Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-18 schéma modulu mikro SD karty, převzato ze stránek výrobce

Protože microSD karta komunikuje s MCU pomocí SPI stejně jako TCVR RFM69HW, přidělili jsme TCVR CS na D10 a microSD CS na D4.

## 2.6 Celková sestava CanSatu

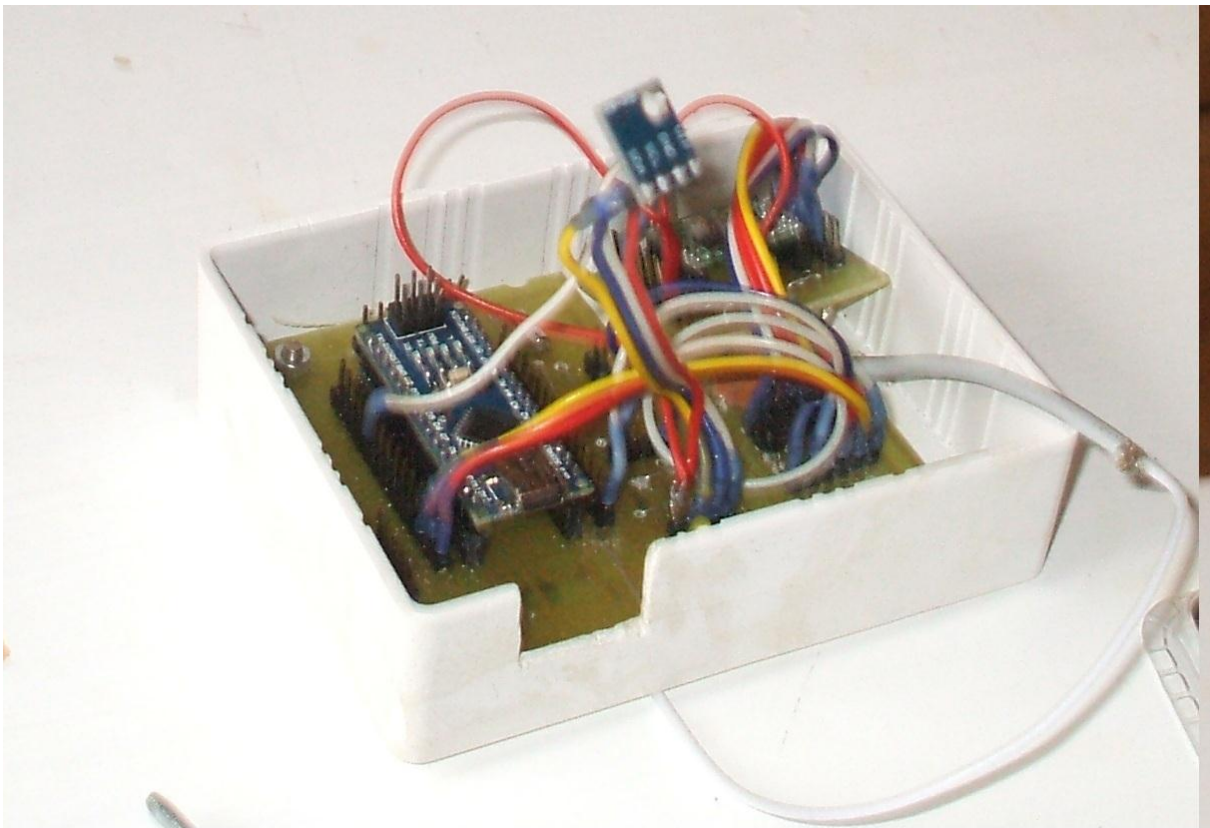


Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-19 Pohled na sestavený CanSat

## 2.7 Pozemní stanice

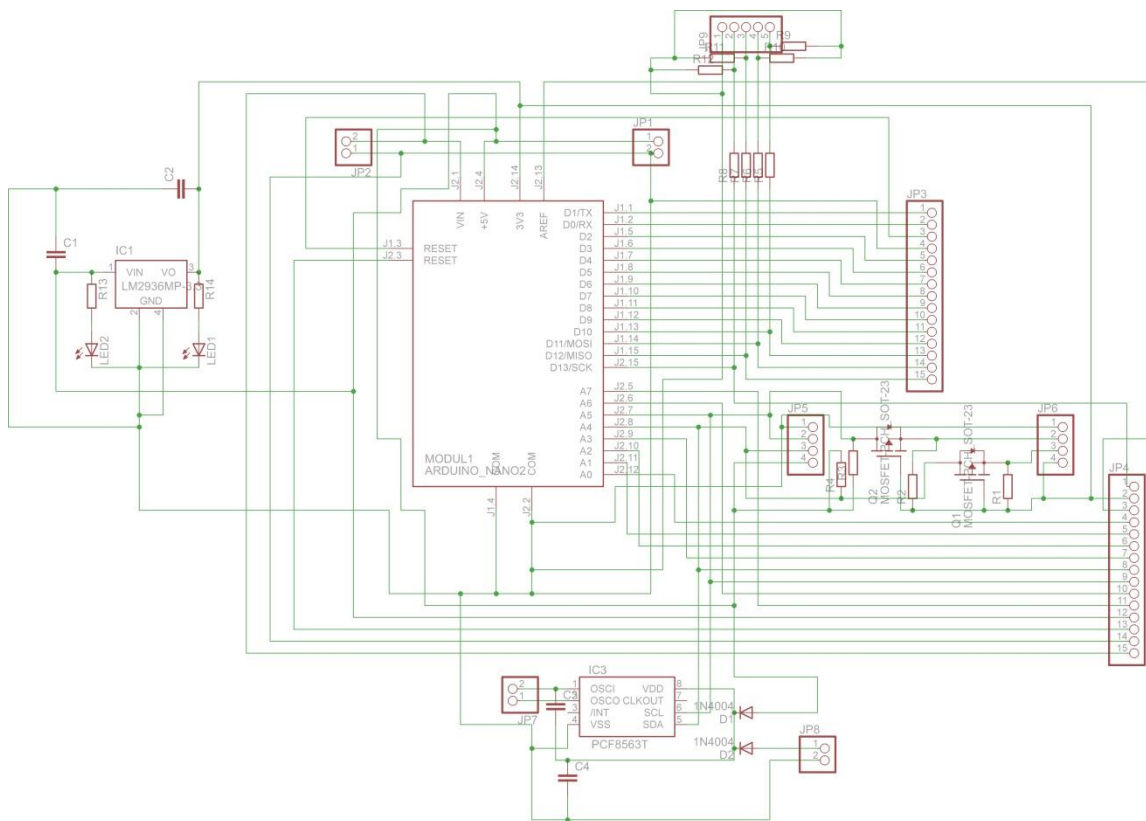
Pozemní stanice obsahuje stejný TCVR (přijímač/vysílač) RFM69HW jako vlastní CanSAT. V případě přijímače/vysílače komunikujícího s okolím UARTem (signály RxD a TxD), jak tomu bylo v cansat startkitech od ESA v minulých letech, stačilo by nyní propojit TCVR s PC, tabletem či chytrým telefonem, pomocí obvodu pro převod uart/usb a usb kabelem. Bohužel RFM69HW komunikuje s okolím přes SPI, takže jsme museli mezi tcvr a PC zapojit Arduino, které převod SPI na UART provede. Z důvodů ceny jsme použili nejlacinější Arduino NANO.

Pozemní stanici ukazují následující obrázek:

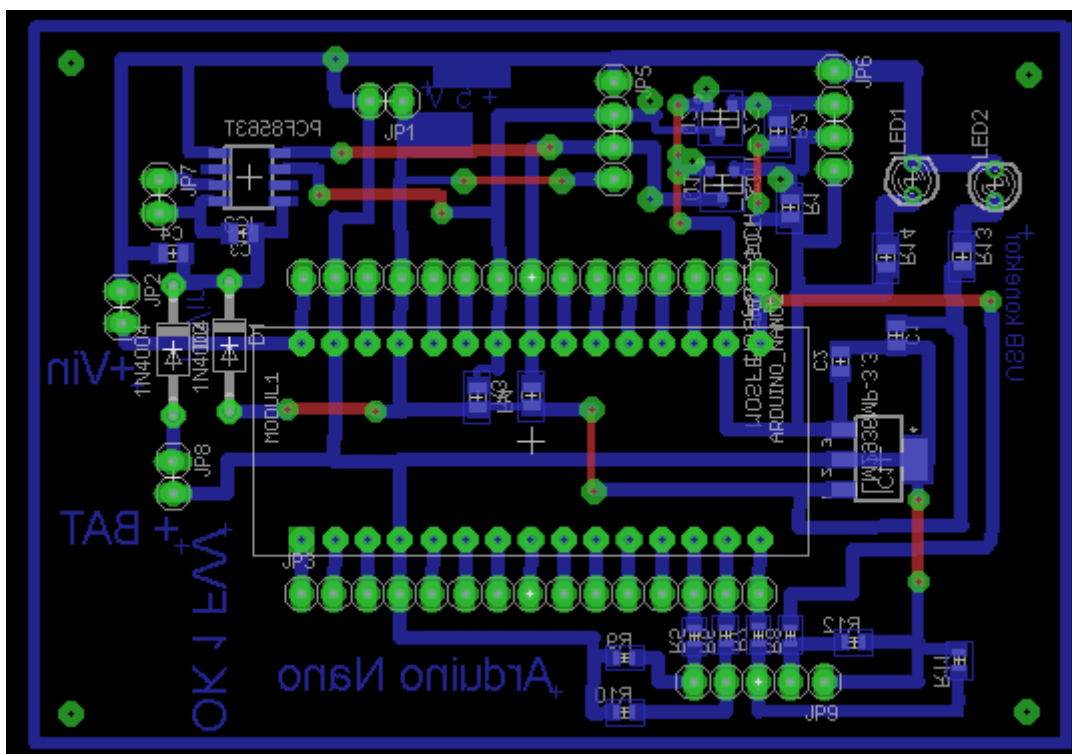


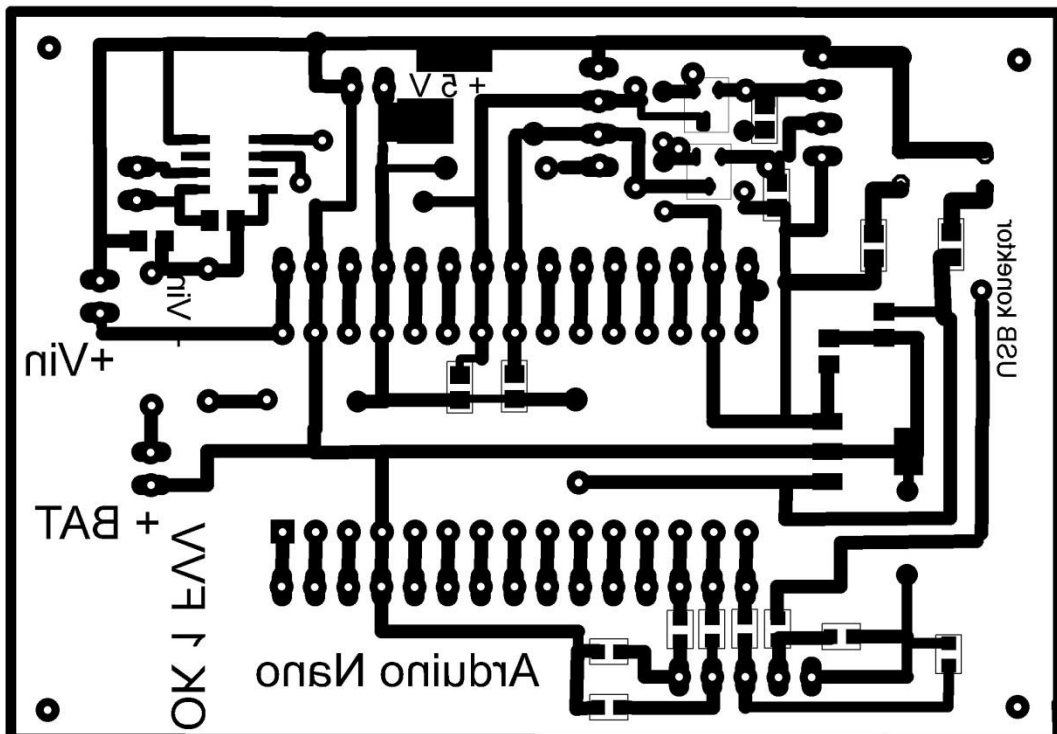
Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-20 Pozemní stanice

Pozemní stanice obsahuje tři desky. Desku s Arduino NANO, desku převodu úrovní a desku TCVR RFM69HW. Jejich zapojení a PCB ukazují následující obrázky.

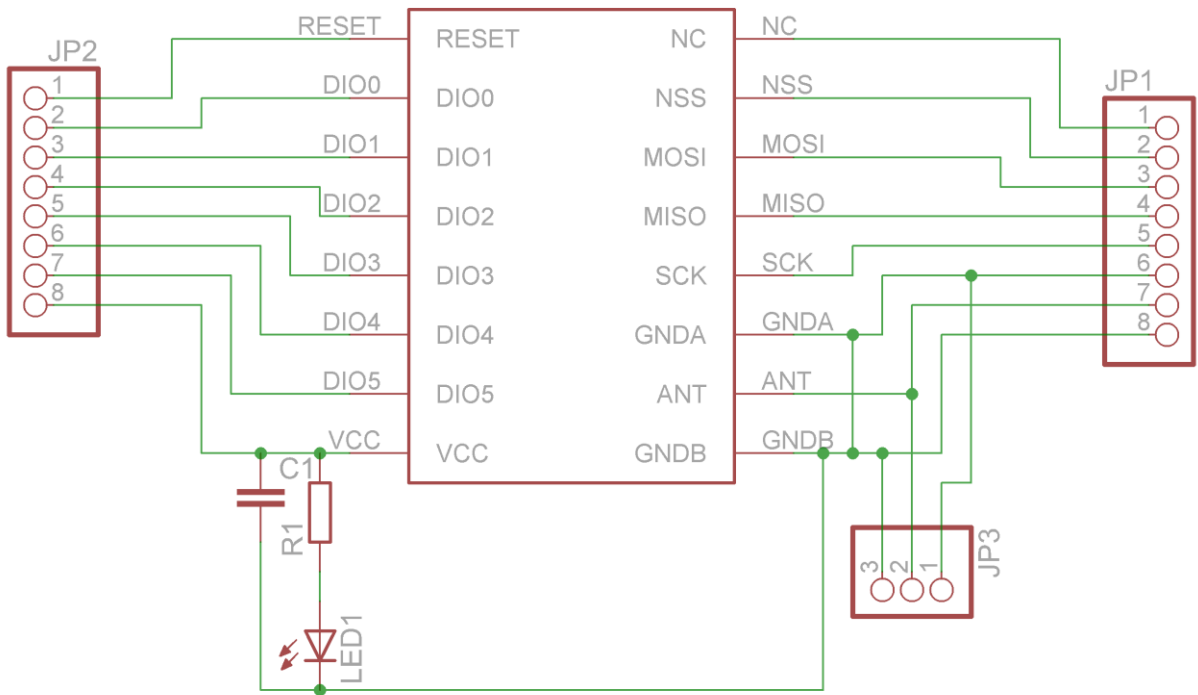


Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-21 Zapojení počítačové desky pozemní stanice

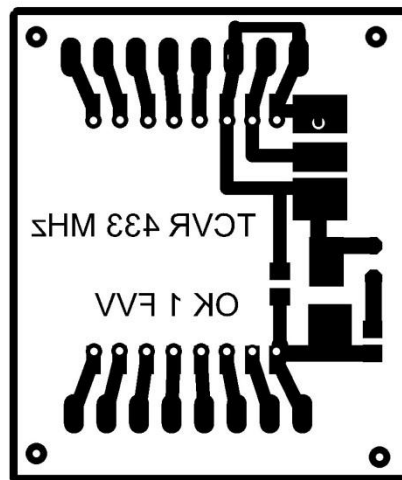
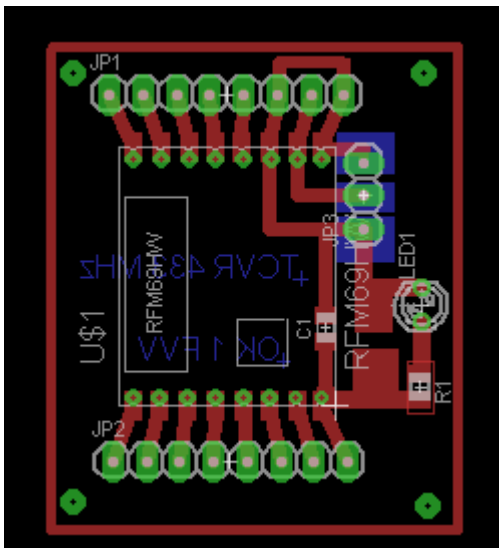




Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-22 PCB počítačové desky pozemní stanice



Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-23 TCVR pozemní stanice



Obrázek Chyba! V dokumentu není žádný text v zadaném stylu.-24 PCB TCVR pozemní stanice

## Kapitola 3

### Software

Tvorba software (firmware) je poměrně jednoduchá vzhledem k použití vývojového prostředí i jazyka Arduina a knihoven systému Arduino pro sériovou komunikaci UART (s vysílačem a s GPS), I2C (s čidly) a SPI (s mikro SD kartou).

#### 3.1 Programová obsluha čidel

Programovou obsluhu čidel si ukážeme na příkladě čidla atmosférického tlaku . Na začátku sketchu uvedeme použité knihovny a vytvoříme instanci bmp třídy Adafruit\_BMP085\_Unified . Poté, jak je v Arduino sketchi běžné, uvedeme definice metod setup() a loop() . To je podstatný rozdíl od jazyka C++. Jsou použity místo metody main() v C++. V metodě setup nejprve nastavíme parametry sériové komunikace. Poté se zavolá metoda bmp.begin()) instance bmp a provede se kontrola její úspěšnosti. Pokud se inicializace nepodaří, vypíše se chybová hláška.

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BMP085_U.h>

Adafruit_BMP085_Unified bmp = Adafruit_BMP085_Unified(10085);

void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Pressure Sensor Test"); Serial.println("");

  /* Initialise the sensor */
  if(!bmp.begin())
  {
    /* There was a problem detecting the BMP085 ... check your connections */
    Serial.print("Oops, no BMP085 detected ... Check your wiring or I2C ADDR!");
    while(1);
  }
}
```

Obrázek 3-3 Ukázka programové obsluhy čidla na Arduino

Dále již probíhá veškerá činnost ve smyčce loop(), která je k vidění na obrázku 3.2 na straně 28.

```
void loop(void)
{
  /* Get a new sensor event */
  sensors_event_t event;
  bmp.getEvent(&event);
```



```

/* Display the results (barometric pressure is measure in hPa) */
if (event.pressure)
{
  /* Display atmospheric pressue in hPa */
  Serial.print("Pressure:  ");
  Serial.print(event.pressure);
  Serial.println(" hPa");

  /* Calculating altitude with reasonable accuracy requires pressure
  * sea level pressure for your position at the moment the data is
  * converted, as well as the ambient temperature in degress
  * celcius. If you don't have these values, a 'generic' value of
  * 1013.25 hPa can be used (defined as SENSORS_PRESSURE_SEALEVELHPA
  * in sensors.h), but this isn't ideal and will give variable
  * results from one day to the next.
  *
  * You can usually find the current SLP value by looking at weather
  * websites or from environmental information centers near any major
  * airport.
  *
  * For example, for Paris, France you can check the current mean
  * pressure and sea level at: http://bit.ly/16Au8o1
  */

  /* First we get the current temperature from the BMP085 */
  float temperature;
  bmp.getTemperature(&temperature);
  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.print(temperature);
  Serial.println(" C");

  /* Then convert the atmospheric pressure, and SLP to altitude
  * Update this next line with the current SLP for better results
  */
  float seaLevelPressure = SENSORS_PRESSURE_SEALEVELHPA;
  Serial.print("Altitude:  ");
  Serial.print(bmp.pressureToAltitude(seaLevelPressure,
                                     event.pressure));

  Serial.println(" m");
  Serial.println("");
}
else
{
  Serial.println("Sensor error");
}
delay(1000);
}

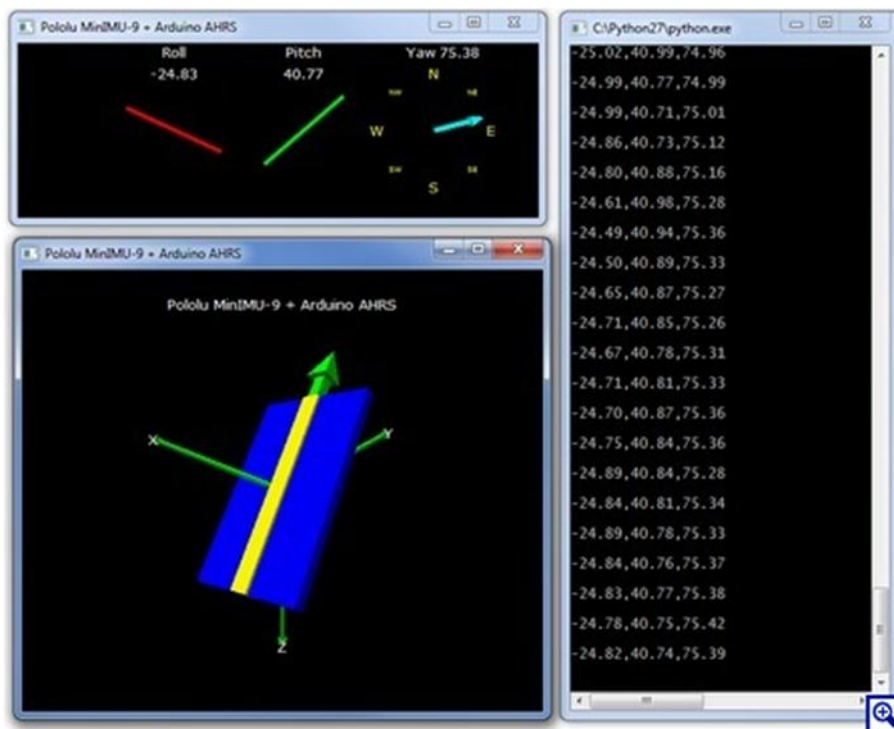
```

Obrázek 3-4 Metoda loop, kde proběhne veškerá činnost

Nejprve se v ní zavolá metoda `getEvent` , poté v `event.pressure` získáme hodnotu atmosférického tlaku v hPa a ještě zavoláme metodu `getTemperature` která poskytne hodnotu naměřené teploty. Nakonec je volána metoda `delay`, která pozdrží průběh smyčkou, neboť se měření má provádět 1 x za sekundu.

### 3.2 Grafické zpracování dat programem MinIMU9

Grafický program MinIMU9 je napsán v jazyce Python a slouží k zobrazování 3D veličin z magnetometru, gyroskopu a akcelerometru:



**Visualization of AHRS orientation calculated from MinIMU-9 readings.**

Obrázek 3-5 Program na zpracování dat v MinIMU9

## Závěr

Naším úkolem bylo navrhnout a zrealizovat zařízení Cansat, které by náš tým použil ve finále evropské soutěže ESA v červnu 2016 v Portugalsku. Naší první verzi se nám podařilo splnit požadavky zadání, nicméně je zde stále možnost dalšího vylepšování systému na základě jeho testování, kalibrace čidel a zejména vlastního zpracování dat a jejich interpretace.

## Citovaná literatura

- [1] V. Váňa, „Co je to Cansat,“ Časopis praktická elektronika, p. 25, 11 2013.
- [2] V. Váňa, „Čidla pro CanSat a Raspberry PI,“ Časopis praktická elektronika, pp. 20 - 22, 11 2014.
- [3] V.Váňa, "Podpora technických projektů nadaných studentů SPŠE Ječná 2016", SPŠE Ječná, písemná část projektu v rámci žádosti o grant MHMP Celoměstské programy pro podporu vzdělání 2016.
- [4] <http://www.pololu.com/>
- [5] „Arduino,“ [Online]. Available: <http://arduino.cc/>.
- [6] „STMicroelectronics,“ [Online]. Available: <http://www.st.com>.
- [7] „CanSat Ječné,“ [Online]. Available: <http://www.spsejecna.net/cansat/>.
- [8] [http://doc.open-cosmos.com/Qbcan\\_user\\_manual](http://doc.open-cosmos.com/Qbcan_user_manual)
- [9] „ESA,“ [Online]. Available: <http://www.esa.int/ESA>.

[10] <https://www.pololu.com/product/2468>