

Stratosférická sonda JULO-X

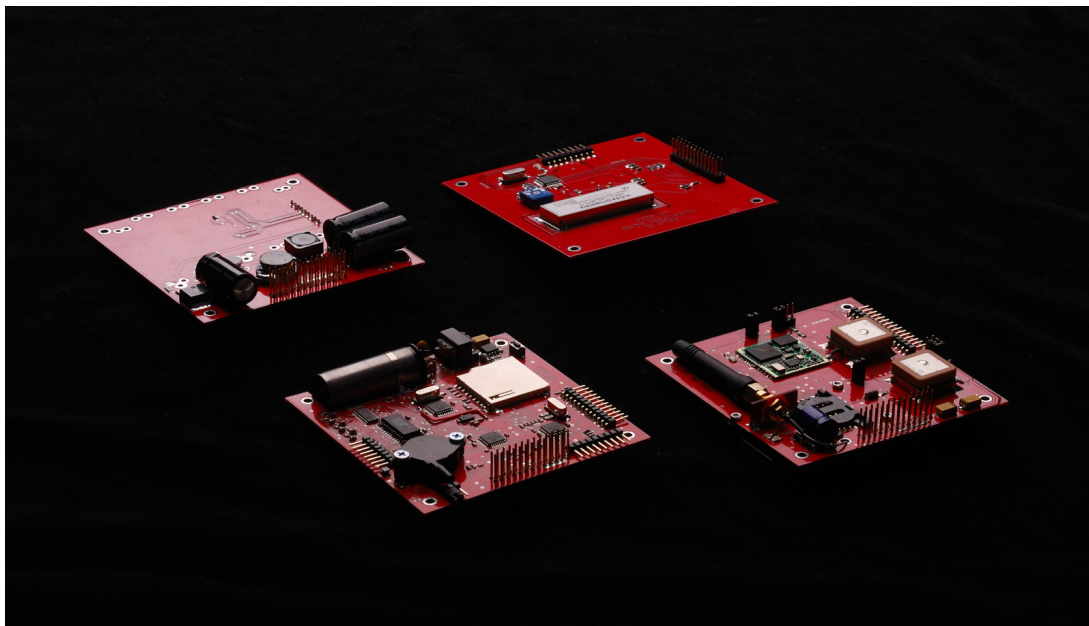
Technický popis riešenia

1. Úvod

Projekt skBalloon, v rámci ktorého bola platforma JULO-X vyvinutá vznikol v roku 2008. Prvý let tohto projektu - JULO1 bol uskutočnený v októbri 2010 a v rámci tohto letu boli overené myšlienky a technológie pre lety do stratosféry a bolo uskutočnených niekoľko amatérskych vedeckých experimentov. Na základe týchto poznatkov vznikla sonda JULO2, ktorá absolvovala svoj prvý štart v apríli 2012 a od tej doby má za sebou už necelú desiatku úspešných štartov s vedeckými aj komerčnými nákladmi. JULO-X je už 3. generáciou tejto sondy, v ktorej boli aplikované menšie zmeny a niekoľko vylepšení. Bola vyvinutá s ohľadom na viacnásobnú použiteľnosť a spoľahlivosť pri vypúšťaní vedeckých experimentov.

2. Technický popis

Stratosférická sonda JULO-X sa skladá z piatich modulov. Modul transciever (vysielačka), modul pre blízke dohľadanie (rádiomaják), napájací systém (PSU Board), doska senzorov na ktorej sa nachádza aj master procesor (palubný počítač) a systému pre zisťovanie pozície v reálnom čase. Samotné moduly medzi sebou komunikujú pomocou zbernice I2C. Moduly sú prepojené v stacku (board to board). Hardwarové riešenie zbernice je podobné riešeniu v mikrosatelitoch typu CubeSat. Okrem dátového prenosu je prostredníctvom tohto spojenia riešené aj napájanie a obslužné signály.



Obr.1. Jednotlivé moduly stratosferickej sondy JULO-X

2.1 Transciever (vysielačka)

V tomto module je použitý vysielač HX1 na vysielačej frekvencii **144.800 Mhz**. Vysielané sú packety kompatibilné so štandardom **APRS** (Automatic Packet Reporting System). Zostavovanie packetov a FM modulácia vysielačného signálu je riešená v jednočipovom mikroprocesore rodiny AVR pripojeného k I2C zbernici. Samotný modifikovaný sínus je generovaný na primitívnom digitálno-analógovom prevodníku (DAC) a vedený do vysielačky. Výkon vysielača HX1 je **500 mW**. Packet je generovaný a vysielačný každých **23 sekúnd**.

Reálny príklad packetu APRS zo sondy JULO-X:

```
OM3KEG11>APAVR0,RELAY,WIDE22:<UI>:/142208z4809.55N/01703.83EO310/000/A=000695  
/G2#G761,696,737,16
```

/142208z	deň a čas vo formáte /DenDenHodinaHodinaMinutaMinutaz, príklad ukazuje 14. deň v mesiaci, čas 22 hodín, 08 minút.
4809.55N	zemepisná šírka vo formáte stupneStupneMinutyMinuty.DesatinyDesatinyN (pevný počet miest)
/01703.83EO	zemepisná dĺžka vo formáte StupneStupneMinutyMinuty.DesatinyDesatinyEO (pevný počet miest)
310	azimut v stupňoch (pevný počet miest, vždy 3)
/000	rýchlosť v uzloch (knots, pevný počet miest, integer)
/A=000695	výška nad hladinou mora v metroch (pevný počet miest, integer)
/G2	označenie z ktorej GPS pochádzajú údaje (môže byť /G1, /G2)
#G761,696,737,16	zvyšná časť packetu (vid'. nižšie)

Zvyšná časť packetu môže byť jedna zo 4 nasledujúcich variánt, ktoré je potrebné rozlišovať podľa indikátora.

Prvý set:

#G761,696,737,16

#G	indikátor prvého setu
761	experimentálne dáta 1 (integer)
,696	experimentálne dáta 2 (integer)
,737	experimentálne dáta 3 (integer)
,16	radiácia (counts per min, integer)

Druhý set:

#P7616,215,2177,280,20,19

#P	indikátor druhého setu
7616	aktuálne napätie batérie [mV] (integer)
,215	aktuálny prúd z batérie [mA] (integer)
,2177	spotrebované miliwatthodiny od štartu [mWh] (integer)
,280	spotrebované miliamperhodiny od štartu [mAh] (integer)
,20	teplota spínacieho tranzistora [stup. C] (integer)
,19	teplota batérie [stup. C] (integer)

Tretí set:

#g680,35,37,37

#g	indikátor tretieho setu
680	experimentálne dáta 4 (integer)
,35	experimentálne dáta 5 (integer)
,37	experimentálne dáta 6 (integer)
,37	experimentálne dáta 7 (integer)

Štvrtý set:

#A155,9742,277,162

#A	indikátor štvrtého setu
155	vonkajšia teplota 1 vynásobená desiatimi! (integer) (Je potrebné vydeliť, v príklade je 15.5 stupňa Celsia)
,9742	atmosférický tlak vynásobený desiatimi! (integer) (Je potrebné vydeliť, v príklade je 974.2 hPa)
,277	relatívna vlhkosť vynásobená desiatimi! (integer) (Je potrebné vydeliť, v príklade je 27.7 %RH)
,162	vonkajšia teplota 2 vynásobená desiatimi! (integer) (Je potrebné vydeliť, v príklade je 16.2 stupňa Celsia)

2.2 Rádiomaják (Modul pre blízke dohľadanie)

Tento modul slúži na lokalizáciu balóna v rádiuse niekoľko 100 metrov. Je schopný pracovať niekoľko týždňov bez ohľadu na funkčnosť ostatných systémov. Slúži najmä na blízke dohľadanie v zložitom teréne so zlou viditeľnosťou (hustý les, kukuričné pole). Modul vysiela v pásme 70cm na frekvencii **434 Mhz**, čo je voľné rádioamatérske pásmo. Výkon modulu je **10 mW** čo plne postačuje na dohľadanie s priamou viditeľnosťou cca 2km (záleží od zvoleného prijímača). Obslužným mikroprocesorom je generovaný signál o frekvencii 1 kHz, ktorá je dobre počuteľná, po demodulácii aj akusticky (uchom).

2.3 Napájací systém (PSU Board)

Napájanie stratosferickej sondy JULO-X je riešené pomocou šestice lítiových článkov o kapacite približne **5000 mAh**, ktoré dokážu sondu napájať po dobu **12 hodín** bez prídavného experimentu (viď. sekcia 3.1). Keďže výstupné napätie batérií nie je vhodné na napájanie elektroniky sondy, bolo potrebné navrhnuť vysokoefektívne DC-DC (jednosmerné napätie) meniče. Tieto poskytujú napätie **3.3V a 5V**, ktoré napája ostatné systémy sondy. Na riadenie a monitorovanie spotreby je znovupoužitý mikrocontroller, ktorý zisťuje stav batérií, prúd tečúci z nich, ako aj odoberaný aj už odobraný výkon. Tieto informácie odosiela na uloženie master procesoru, ktorý následne tieto informácie ukladá na internú SD kartu. Maximálne odoberaný prúd je približne **2A**.

2.4 Sensor Board

Tento modul obsahuje senzory pre meranie základných aerologických veličín, ako teplota okolitého prostredia, relatívna vlhkosť a atmosferický tlak. Modul takisto obsahuje senzor pre meranie zrýchlenia vo všetkých troch osiach (akcelerometer) a digitálny kompas (magnetometer). Všetky zaznamenané data, spolu so stavom batérií (viď. sekcia 2.3) sú ukladané na internú SD kartu. Tento modul obsahuje aj spomínaný master procesor, ktorý riadi komunikáciu na zbernici a ukladanie dát. K tomuto modulu je možné pripojiť 8 analógových diferenciálnych signálov s rozsahom napätia 0 - 2,5V. Pre meranie je použitý 24 bitový sigma delta analógovo-digitálny prevodník. K tomuto modulu je možné pripojiť aj iné zariadenia komunikujúce po sériovej linke (UART) a jedno zariadenie s impulzným výstupom. Modul obsahuje počítadlo impulzov.

2.5 Systém pre určovanie pozície

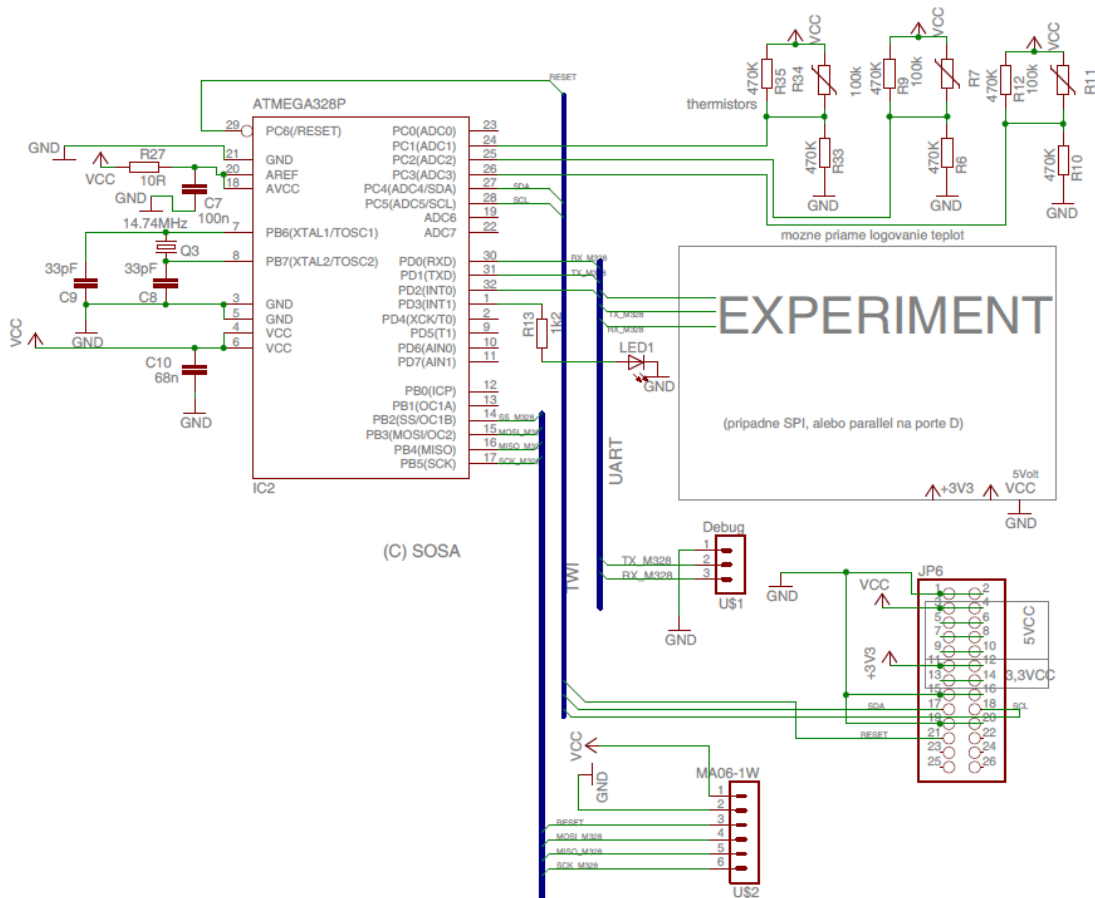
Na určovanie pozície sondy slúži dvojica GPS prijímačov. Zdvojený systém bol zvolený kvôli zvýšeniu spoľahlivosti. Presnosť určenia polohy je približne dva metre. Klasické komerčné GPS prijímače majú zvyčajne niekoľko obmedzení. Spravidla obmedzenie výškové a obmedzenie akceleračné. Po prekročení určitého trasholdu sa prijímač zablokuje a neposkytuje žiadne, alebo scestné data. Preto bolo nutné vyhľadať prijímač bez týchto obmedzení. V sonde sú použité dva typy GPS prijímačov. Jeden klasický s obmedzeniami, ktorého funkčnosť je zaručená približne do výšky 10km a druhý bez obmedzení. Zariadenie obsahuje takisto GSM modul, ktorý slúži na posielanie SMS správ s pozíciou sondy za predpokladu, že je prihlásený do siete (do výšky cca 1500m). Spravidla je tento modul využívaný po dopade sondy a strate rádiového APRS spojenia. Jeden z GPS prijímačov je napojený priamo na GSM modul z dôvodu určenia pozície ak všetko ostatné zlyhá.

3. Payload

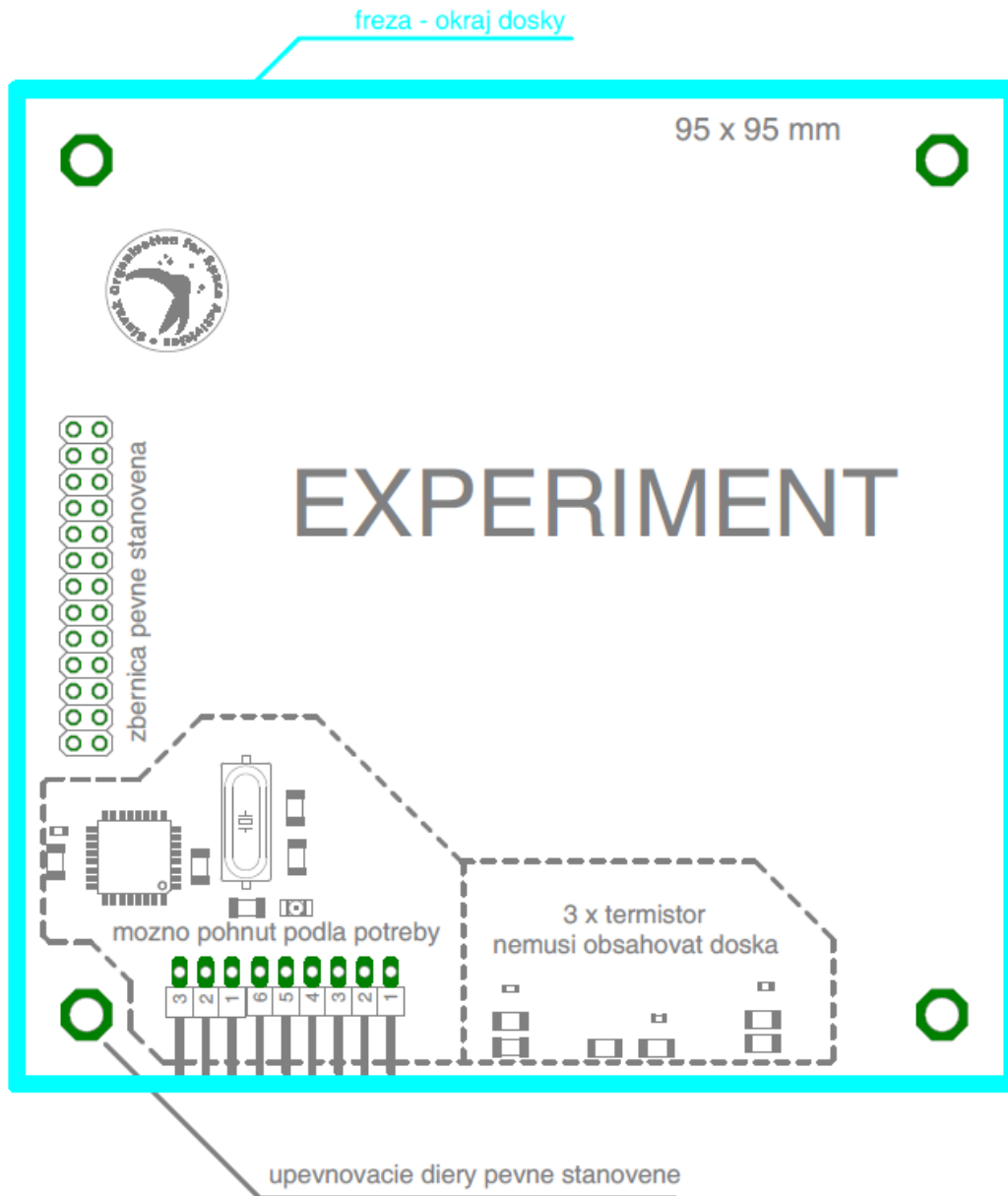
Sú dva spôsoby umiestnenia payloadu k sonde JULOX. Prvý spôsob je umiestnenie payloadu do gondoly spolu s obslužnou elektronikou a napojenie payloadu na štandardnú zbernicu. Druhý spôsob je externé uchytenie payloadu, avšak v tomto prípade musí byť sebestačný v zmysle potreby vlastného napájania a vlastnej obslužnej elektroniky.

3.1 Priame napojenie na zbernicu

Týmto spôsobom sa rozumie zapojenie payloadu do stacku (board to board) spolu s ostatnými obslužnými modulmi. V tomto prípade payload komunikuje po zbernici **UART, SPI, alebo paralelnej 8-pinovej zbernici** s vlastným obslužným procesorom. Tento procesor komunikuje po zbernici I2C s master procesorom (viď. sekcia 2.4). Z dosky payloadu je možné vyviesť externé senzory mimo gondolu (napríklad na ramená). Maximálny odoberaný výkon payloadu v priemere nesmie prekročiť **3W**. Viď. obr. 2 a 3.



Obr.2. Vzorová schéma dosky payloadu



Obr.3. Vzorový plošný spoj payloadu s určenými rozmermi

3.2 Externý payload

Spolu so sondou JULO-X je možné vypustiť aj externý payload, pokiaľ presahuje limity stanovené v sekcii 3.1, alebo ho nie je možné z iných dôvodov pripojiť k sonde ako štandardnú PCB. Rozmery a spôsob uchytenia nákladu sú vždy určené **po vzájomnej dohode** s realizátorom štartu. Externý náklad sa nesmie nachádzať nad gondolou, alebo v blízkosti GPS prijímačov a jeho hmotnosť nesmie prekročiť **1500g**.