

## SKBALLOON

Autor práce: Jaroslav Erdziak

Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra merania

[jaroslav.erdziak@kozmonautika.sk](mailto:jaroslav.erdziak@kozmonautika.sk)

Autori projektu: Erdziak J., Chrenko B., Kapus J., Kocka M., Krovina A., Krpalek L., Kutka A., Slosiar R., Zatko M.<sup>1</sup>

### Abstrakt

Moja práca sa zaoberá návrhom a vývojom stratosférického tzv. „near-space“ balóna. Jedná sa o návrh funkčnej platformy ktorá je schopná vynášať vedecký ako aj komerčný náklad do výšky približne 30Km s následným návratom na zem a jeho lokalizáciou.

### 1. Úvod

Problematikou výskumu vesmíru sa zaoberajú organizácie z celého sveta. V poslednej dobe Slovensko začalo zaostávať, preto vznikol tímový projekt SKballoon, ktorý mal vzbudiť záujem o vesmírnu vedu medzi širokou verejnosťou a pripomenúť dôležitosť kozmického výskumu.

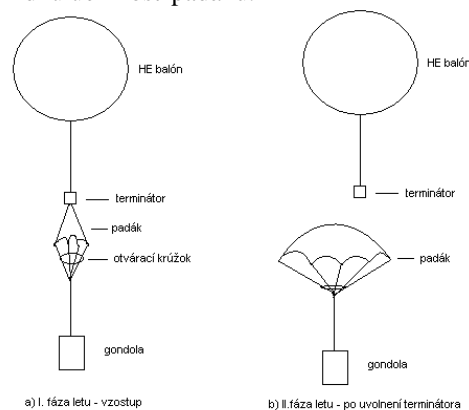
Hlavnou úlohou v tomto projekte bolo vytvorenie letuschopnej platformy s návratovým modulom (gondolou), do ktorej bude možné pridať rôzne vedecké zariadenia a senzory, akým je v tomto prípade detektor kozmického žiarenia. Ďalej ma zabezpečiť komunikáciu s pozemnou stanicou, vysielanie telemetrie a súradníc s polohou a výškou, aby bolo následne možné gondolu balóna lokalizovať a spracovať namerané dáta.

Ďalšou problematikou bolo samotné vynesenie zariadenie do čo najväčšej možnej výšky. S tým sa spája vyber vhodného materiálu balóna, vyber plynu, ktorým bude balón napustený a minimalizovanie hmotnosti zostavy.

### 2. Schéma zostavy

Obrázok objasňuje umiestnenie jednotlivých častí zostavy balóna. Pre pohon sme sa rozhodli použiť latexový meteorologický balón naplnený héliom. Ďalšou variantou bolo použitie vodíku, ktorý je ľahší ako hélium ale zároveň aj nebezpečnejší, preto sme použitie tohto plynu zavrhlí. Na obr. 1. sú znázornené dve časti letu – vzostup a) a návrat b). Návrat gondoly začne buď prasknutím balóna po dosiahnutí max. výšky, alebo úmyselným odpojením terminátora rádiovým príkazom zo zeme, prípadne uplynutím vopred zvoleného času.

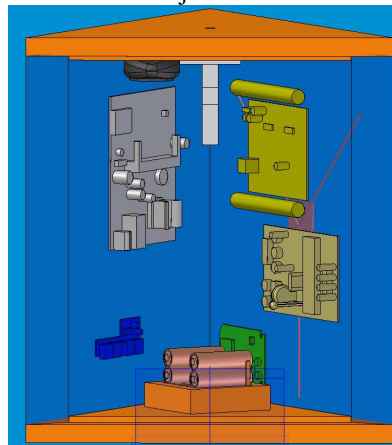
Terminátor sa samočinne odpojí aj po detegovaní prasknutia balóna (viď časť Detektor prasknutého balóna). Priebeh letu pokračuje II. fázou. Po odpojení balóna sa padák, vstupom do hustejšej atmosféry, samočinne otvorí a začne brzdiť pád. Otvárací krúžok slúži na správne otvorenie padáku. Bez neho by sa jednotlivé laná mohli do seba zamotať a tým znížiť brzdnú účinnosť padáku.



Obr. 1. Orientačná schéma zostavy

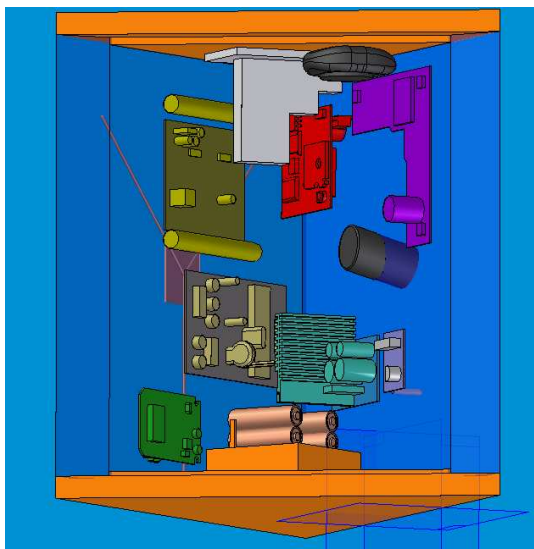
### 3. Gondola

Gondola je návratový modul zostavy. Je vytvorená z extrudovaného polystyrénu kvôli tepelnej izolácii a tlmeniu nárazu pri pristáti. V nej je uložená všetka elektronika ako je znázornené na Obr. 2. a Obr. 3.



Obr. 2. Rozloženie jednotlivých modulov v gondole.

<sup>1</sup> Autori projektu uvedený v abecednom poradí

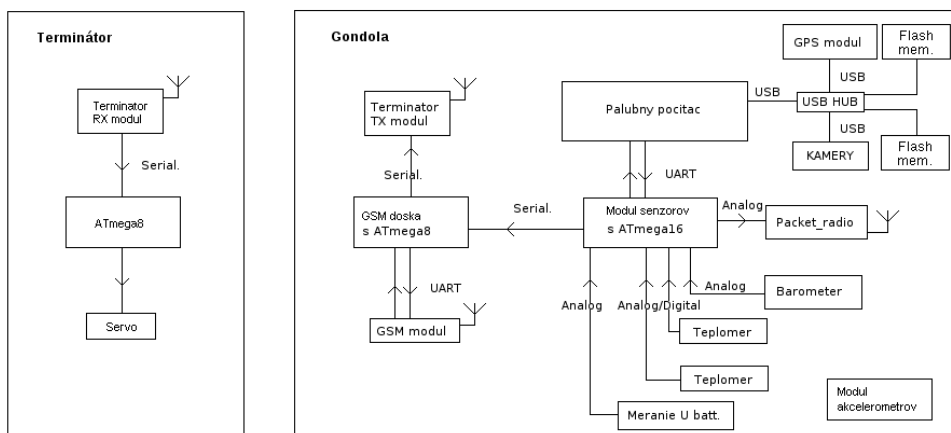


Obr. 3. Rozloženie jednotlivých modulov v gondole.

Tab. 1. Zoznam modulov.

č.	Názov modulu	Farba ozn. (Obr.2. a Obr.3.)
1	Palubný počítač	Šedá
2	Doska senzorov	Tmavá žltá
3	Detektor kozmického žiarenia	Žltá
4	Doska akcelerometrov	Fialová
5	GPS modul	Čierna
6	GSM modul	Červená
7	UHF TRX modul (Vysielačka)	Zelená
8	Anténa	Ružová
9	USB kamera	Čierna
10	Zdroj	Modrá
11	Detektor prasknutého balóna	Biela
12	Batérie	Oranžová

### 3.1. Bloková schéma



Obr. 4. Bloková schéma zostavy.

Na blokovej schéme je vidieť zapojenie jednotlivých modulov ako aj komunikačné zbernice. Keďže doska palubného počítača mala k dispozícii len jeden sériový a jeden USB port zvolili sme nasledovné zapojenie. Ku USB portu sa prostredníctvom rozbočovača pripájajú pamäťové disky, GPS modul a kamera. Prostredníctvom sériového portu je pripojený modul senzorov. Tento komunikuje po jednovodičovej zbernici s GSM modulom, ktorý bol bezdrôtovo pripojený k modulu terminátora.

### 3.2. Palubný počítač

Ako palubný počítač bol vybraný MikroTik Routerboard RBU441U 300MHz s RISC procesorom. K dispozícii má jeden Sériový port a USB port, ku ktorému je pripojený USB HUB (rozbočovač). Ako operačný systém na palubnom počítači je použitý Openwrt Linux verzie 10.03. Jeho úlohou bol zber a ukladanie dát z okolitých modulov, dekodovanie viet z GPS modulu, vytváranie reťazcov ktoré sa následne odosielať prostredníctvom vysielačky, fotenie a ukladanie fotografií na pamäťové USB SSD disky. Pri poklese napájacieho napätia a pri iných nepredpokladaných udalostiach ako aj pri zlyhaniach jednotlivých zariadení reštartoval všetky moduly vrátane seba.

### 3.3. GPS modul

Náš GPS modul nesie označenie USB GPS Receiver, SiRF Star III, NL-302U s procesorom StarIII. Pracuje na frekvencii 1575,42 MHz. Citlivosť aktívnej antény -159 dBm. Využíva protokol NMEA-0183.[2] Takisto ako všetky civilné GPS ma obmedzenia na zrýchlenie, rýchlosť a výšku. Maximálne zrýchlenie 4G, max. rýchlosť 515 m/s, max. výška 18 000 m, čo sme zistili až po štarte.

### 3.4. UHF TRX modul

Jedná sa o modifikovanú ručnú vysielaciu stanicu pracujúcu v pásme UHF na voľnej frekvencii 446.09375MHz FM (kanál PMR 8). Modul je zostavený z vysielачky SENCOR SMR500 a riadiaceho obvodu. Tento slúži na zapnutie stanice, následné zvolenie patričného kanálu a kontrolu chodu. Na pripojenie antény sme použili koaxiálny F konektor. Anténa je tvorená medeným vodičom s dĺžkou  $\lambda/4$  a protiváhou. Uvažovali sme aj o anténe typu HELIX, ale toto riešenie by neprimerane zvýšilo hmotnosť zostavy.

Keďže tento modul vysielачa je určený na prenos signálu v akustickom pásme, bolo potrebné vytvoriť modulátor, respektíve demodulátor, z digitálneho signálu. Na zakódovanie dát sme použili frekvenciu 900Hz pre log.0 a 1400 Hz pre log.1, na čo bol použitý frekvenčný modulátor XR2206. Podobne na demoduláciu prijímaného signálu sme využili frekvenčný komparátor XR2211. Tieto obvody používajú ladený RC rezonančný obvod, takže je jednoduché nastaviť zvolené frekvencie. Ich nevýhodou, kvôli takémuto rezonančnému obvodu, je teplotná nestabilita.

Vysielaný balík dát mal formát:

Výstraha – začiatok vysielania

Dĺžka balíka

Dáta – vnútorná teplota, vonkajšia teplota, napätie batérie, GPS súradnice vrátane výšky, tlak

CRC8 – opravný kód

### 3.5. GSM modul

Jedná sa o záložný modul v prípade zlyhania vysielачky, alebo iného prerušenia komunikácie. Používa priemyselný modul SIM300C, ktorý po sériovej linke, s rýchlosťou 38400 baud., riadi procesor ATmega8 prostredníctvom AT príkazov. Tento procesor zostavuje SMS správu zloženú s GPS súradnicami a počtu odoslaných balíkov cez UHF TRX modul. Program kontroluje registráciu modulu k sieti a periodicky odosiela SMS správy. Odoslanie nastane buď raz za hodinu, alebo pri registrácii k sieti, prípadne po zavolaní zo známeho čísla. Program udržuje GSM modul zapnutý a v prípade potreby ho reštartuje.

### 3.6. USB kamera

V tomto projekte bola použitá USB webkamera Canyon CNR-WCAM813. S možnosťou streamu, prípadne periodickým zasielaním fotiek. Kamera obsahuje CMOS snímač s rozlíšením 1,3Mpx (640x480) Webkamera bola zbavená klipu a pripojená k USB rozbočovaču. Do systému (OpenWrt) bolo nutné dodatočne pridať ovládače pre prácu s kamerou. Bohužiaľ jediná utilita, ktorá sa ukázala schopná spolupráce s webkamerou, bola utilita „motion“, ktorá je bežne používaná pri bezpečnostných systémoch.

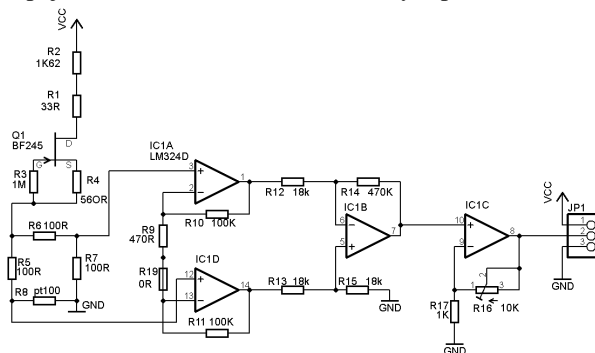
Obrázky boli periodicky ukladané (raz za 15 sekúnd) na pamäťové flash karty. Ostrenie kamery bolo nastavené na veľké vzdialenosti a programovo znížená svetlosť snímok.

### 3.7. Doska senzorov

Tento modul obsahoval senzory teploty, tlaku a vlhkosti.

Ako senzor vnútornej teploty bol použitý termistor v zapojení s predradným odporom. Napätie s tohto senzora bolo privádzané na vnútorný analógovo-číslicový prevodník (Ďalej len ADC) v Atmega16. Tento senzor bol umiestnený vo vzdialenosti 5cm od okolitej elektroniky, aby nedochádzalo k ohrievaniu od okolitých zariadení a tým k skresleniu merania.

Na meranie vonkajšej teploty sme použili senzor PT100. PT 100 je citlivý teplotne závislý senzor. Pri zmene teploty mení vnútorný odpor. Aby bolo možné previesť zmenu odporu na zmenu napätia (ktorú dokážeme merať), je potrebné napájať tento obvod konštantným prúdom. To zabezpečuje obvod prúdového zdroja. Tento obvod je tvorený rezistormi R1 a R2. Keďže tieto rezistory (ako každé iné) sú teplotne závislé a spôsobovali by chybu merania bolo nutné do obvodu vložiť korekčný člen tvorený tranzistorom Q1 typu JFET a odpormi R3 a R4. Pri vzraste prúdu sa na R3 a vytvorí úbytok napätia a tranzistor zvýši svoj odpor. Pri poklese prúdu je to naopak, tým je zabezpečené napájanie ďalšieho obvodu konštantným prúdom.



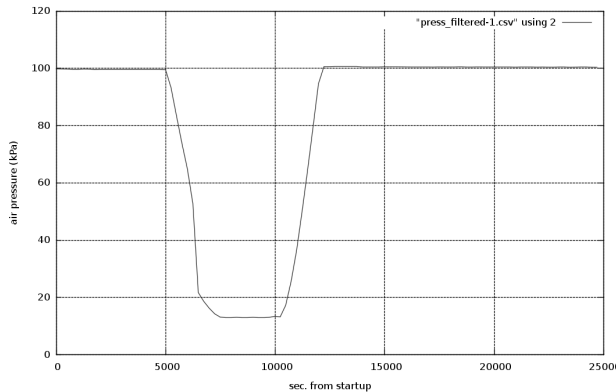
Obr. 5. Zapojenie senzora PT100.

Obvod tohto nevyváženého Wheatstonovho mostíka kompenzuje tepelnú závislosť (aj keď iba malú) prúdového zdroja.

Senzor PT100 je vo svojej podstate rezistor ako každý iný. Pri prechode veľkého prúdu by sa mohol nadmerne zahrievať a tým ovplyvniť meranie, preto je ho potrebné napájať malým prúdom (rádovo stovky  $\mu A$ ). Pri prechode tak malého prúdu na ňom vzniká aj malý úbytok napätia, ktorý nie je možné jednoducho merať. Kvôli tomu je potrebné vložiť do obvodu nízkošumový operačný zosilňovač. Keďže chceme merať napätie na Wheatstonovom mostíku je nevyhnutné toto napätie snímať diferencne. Je viacero známych obvodov zapojenia diferencných zosilňovačov ale nami použitý sa zdal byť najoptimálnejší čo sa týka citlivosti a

náročnosti zapojenia. Sensor bol umiestnený vo vzdialenosti 20cm od okraja gondoly.

Na meranie tlaku bol použitý sensor MPX4115A s analógovým výstupom. Výstupné napätie bolo prevádzané do digitálnej formy vnútorným ADC procesora ATmega16 a následne ukladané na pamäťové média. Vyhladený priebeh tlaku v závislosti od dĺžky letu je na Obr. 6.. Zlom na 15kPa spôsobil limit senzora a nie stabilná výška.



Obr. 6. Priebeh tlaku v závislosti od dĺžky letu.

Pre meranie vlhkosti bol vybraný sensor SHT71 od firmy SENSIRION. SHT71 je plne kalibrovaný sensor absolútnej vlhkosti a teploty.

Základný popis snímača:

rozsah merania rel. vlhkosti: 0 - 100%

rozlíšenie: 0.05 %RH

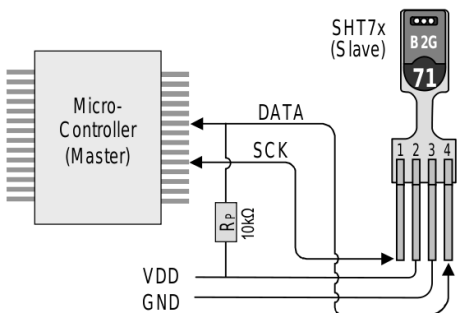
absolútna chyba:  $\pm 3$  %RH

rozsah merania teploty:  $-40 - +123.8$  °C

rozlíšenie: 0.01 °C

absolútna chyba:  $\pm 0.4$  °C

Komunikácia so sensorom je po 2-vodičovej zbernici, hardvérovo kompatibilnej so zbernicou i2c.



Obr. 7. Pripojenie senzora k riadiacemu procesoru [3].

### 3.8. Detektor prasknutého balóna

Táto súčiastka slúži na zistenie úbytku pnutia nosného lanka, na ktorom je zavesená gondola. Toto zariadenie má význam pri prasknutí balóna - spustí terminátor a odhodí zvyšky balóna aj s nepotrebnou časťou lanka. V takom prípade nehrozí ich zamotanie do padáka a následný tvrdý pád na zem. Ďalej slúži na zistenie v akej výške začal účinkovať padák. Spínač sa vtedy zas

vypne z dôvodu opätovného napnutia lanka. Pracuje na jednoduchom mechanickom princípe páka - pružina - vypínač.

Základný popis snímača:

hraničný ťah: 600g

výstup: logicky (spínač)

### 3.9. Doska akcelerometrov

Modul akcelerometrov je zostavený z trojice senzorov typu MAA7260QFS od FREESCALE SEMICONDUCTOR, aby bolo možné merať zrýchlenie gondoly vo všetkých 6. stupňoch voľnosti. Sensory sú od seba vzdialené 10cm v usporiadaní do L.

Trojsový akcelerometer MAA7260QFS má k dispozícii 4 stupne rozlíšenia:

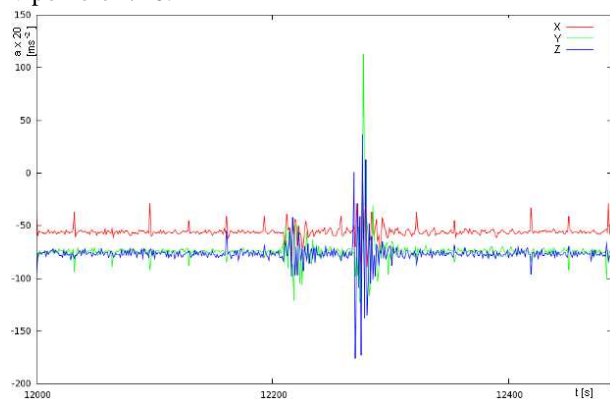
do 1.5 G

do 2.0 G

do 4.0 G

do 6.0 G

Rozlíšenie akcelerometra sa nastavuje 2 vstupmi. Tieto ovládal mikroprocesor podľa potreby (dynamicky mení). Výstupný analógový signál je vzorkovaný vnútorným ADC, s rozlíšením 10bitov, riadiaceho mikroprocesoru s frekvenciou 400Hz (pre každý kanál). Namerané údaje sú ukladané na samostatnú SD kartu, ktorá je pripojená priamo na SPI rozhranie mikroprocesoru Atmega8. Počas doby letu (asi 7 hodín) sa nahromadilo veľké množstvo údajov. Doposiaľ neboli spracované. Na Obr. 8. je zachytená časť priebehu z doby prasknutia balóna. Osi na grafe sú iba orientačné. Na X osi je čas od spustenia modulu akcelerometrov, na Y osi je zrýchlenie v osiach x,y,z v pomere 1/20.

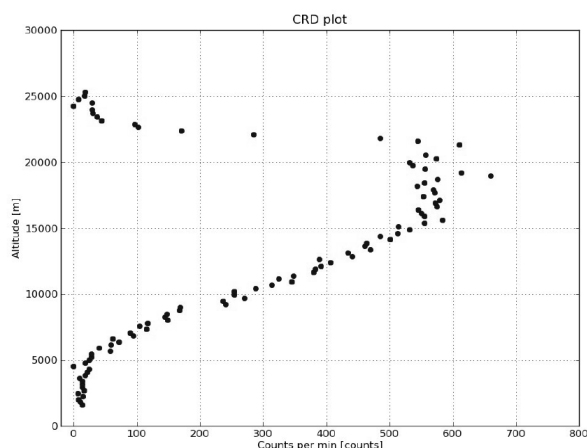


Obr. 8. Ukážka zaznamenaného zrýchlenia.

### 3.10. Detektor kozmického žiarenia

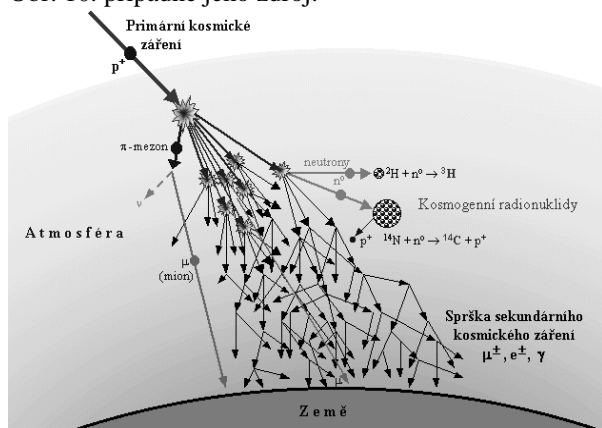
Detektor typu Cosmic Ray Detector (ďalej už len CRD) využíva na detekovanie vysoko energetických častíc Geiger-Muellerové (ďalej už len GM) počítadlá (trubice), prípadne fotonásobič so scintilátorom aby bolo možné detekovať o akú časticu sa jedná. GM trubica obsahuje dve elektródy umiestnené v zmesi

plynov. Elektródy sú napájané vysokým napätím cca 500V. Častica, ktorá vletí cez obal tejto GM trubice, zanechá v plyne ionizačnú stopu po ktorej sa následne šíri výboj. To spôsobí pokles napätia na trubici. Tento signál je následne spracovaný sériou tvarovacích obvodov. Upravený signál je privádzaný na externé prerušenie mikroprocesora ATmega16, ktorý zaznamenáva počet týchto impulzov za minútu. Na Obr.9. je znázornený nameraný priebeh žiarenia (pozadia) v závislosti od výšky.



Obr. 9. Krivka žiarenia v závislosti od výšky .

Takisto tu zreteľné vidieť výšku v ktorej dochádza k rozpadu týchto častíc. Tento jav bližšie opisuje Obr. 10. prípadne jeho zdroj.



Obr. 10. Rozpad kozmického žiarenia v atmosfére.[4]

### 3.11. Zdroj napájania

Ako zdroj napájania bola použitá batéria 16. lítiových AAA článkov, ktoré mali najvýhodnejší pomer kapacita / hmotnosť. Napájacie napätie bolo upravované DC-DC meničmi vlastnej konštrukcie, lebo podobne priemyselné zariadenia nevyhovovali našim požiadavkám na toleranciu vstupného napätia, prípadne účinnosť.

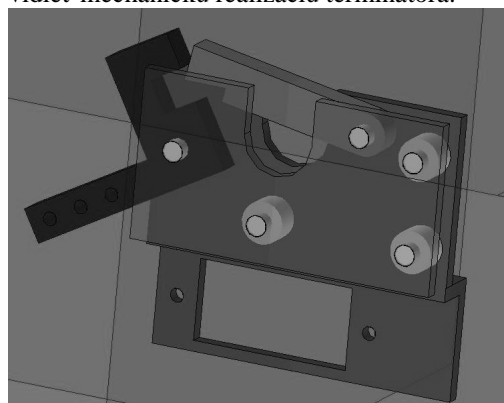
Parametre meničov :

Vstupné napätie 7-30V pri výstupnom napätí 5V a 3,3V,  
 12,8-30V pri výstupnom napätí 12V. Maximálny

dovolený odoberaný prúd 3A pre každú napäťovú úroveň. Účinnosť týchto meničov je cca 83% v závislosti od záťaže. Prúd odoberaný meničom bez záťaže je cca 8-20mA v závislosti od použitého PWM regulátora.

### 3.12. Terminátor

Terminátor je autonómne zariadenie (s batériou, rádioprijímačom, servom a mikropočítačom). Umožňuje predčasné odpojenie balóna od sústavy (predtým než balón sám praskne), buď príkazom na odpojenie prijatým cez radiokomunikáciu s pozemnou stanicou, alebo po uplynutí stanoveného času. V sústave balóna bude umiestnený nad padákom, pričom sa odpojí od padáka a uletí spolu s balónom (viď schéma letu). Odpojenie nastane aj po prasknutí balóna. Na Obr. 11. vidieť mechanickú realizáciu terminátora.



Obr. 11. Model konštrukcie terminátora.

Rádiový signál na ovládanie terminátora sa vysiela z gondoly, teda na prenosovú vzdialenosť cca 2m. Na tento účel boli použité RF moduly MHF-01 a MHF-02 MeTronix. Moduly pracujú vo voľnom pásme 433MHz, s FSK moduláciou.

mikroprocesor: ATmega8

RF prijímač: MHF-01

RF vysielač: MHF-02

Servopohon : HS55 11N/cm modelárske.

Napájanie :batéria 3xAAA lítiová.

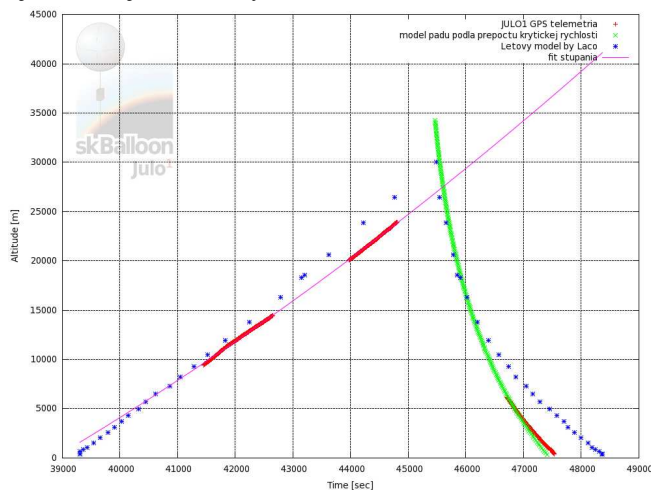
Servo bolo upravené odstránením pôvodného el. regulátora. Boli vyvedené priamo vývody z elektromotora. Spínanie je realizované MOSFET tranzistorom. Toto riešenie je opodstatnené z hľadiska jeho jednoduchosti a spoľahlivosti pri nízkych teplotách.

Terminátor je obalený v polystyréne jednak z dôvodu pracovných teplôt mikroprocesora, RF prijímača, batérie a serva. Ďalším dôvodom na obalenie je nebezpečie, ktoré predstavuje terminátor voľne padajúci z veľkej výšky.

Z dôvodu obmedzenej pracovnej teploty použitých súčiastok do -40 stupňov bol implementovaný „vykurovací“ rezistor tepelne prepojený s mikroprocesorom a RF vysielačom pomocou AL plechu a teplovodivej pasty.

## 4. Analýza letu

Let trval približne 2,5 hodiny. Za ten čas balón vystúpil do výšky cca 26 km. Presnú výšku nepoznáme nakoľko GPS mala obmedzenie na 18 km (v praxi o niečo vyššie) a tlakový senzor na 15kPa. Priebeh stúpania ako aj klesania je zobrazený na Obr. 12..



Obr. 12. Dosiahnutá výška v závislosti od doby letu.

Počas celého letu sme mali s gondolou nadviazané rádiové spojenie. Výpadok spojenia nastal až vo výške 500m pri návrate.

Balón bol vypustený z Hvezdárne v Partizánske preletel cca 72 km a pristal v oblasti pri Nových Zámkoch.

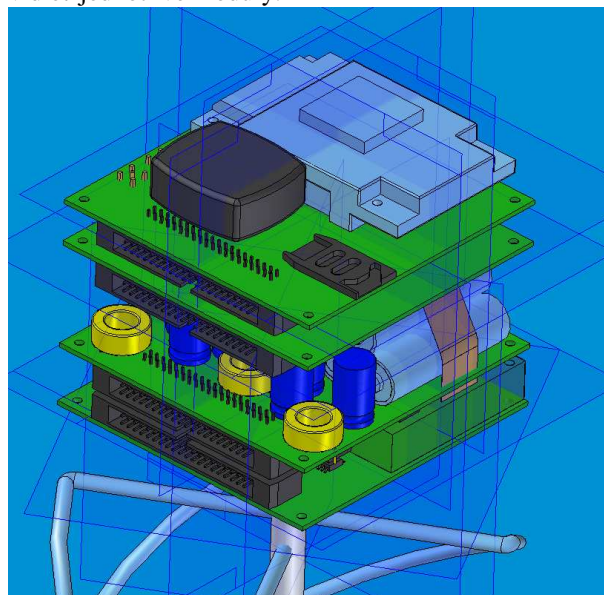
## 5. Záver

V tomto projekte sa nám podarilo dosiahnuť takmer všetky zvolené ciele. Počas letu nenastala žiadna nepredpokladaná situácia a gondolu sme po krátkom čase našli. Priebehy nameraných veličín sú uvedené vyššie. Pri pristátí sa zničilo jedno pamäťové médium, preto nemáme zaznamenaný priebeh teploty, vlhkosti a ani žiadnu fotografiu.

## 6. Pokračovanie v projekte

V blízkej budúcnosti plánujeme vypustiť 2. verziu tohto projektu. V nej by mali byť kritické systémy ako sú GPS a pamäťové média zdvojené. Takisto chceme

prejsť na plne modulárny systém. Pripravujeme sa na vypustenie mikrosatelitu typu CUBESAT, preto sa snažíme toto zariadenie snažíme postaviť podľa tohto vzoru. Pracovný model tejto verzie je na Obr. 13., kde vidieť jednotlivé moduly.



Obr. 13. Model projektu verzia 2.

## 7. Odkazy na literatúru

- [1] Projekt skBalloon  
<http://kozmonautika.sk/obsah/projekt-skballoon>
- [2] NAVILOCK NL-302U, GPS modul, 20 kanálů, Sírř Star III, USB  
<http://www.eod.cz/pocitace-a-komponenty/notebooky/prislusenstvi/navilock-nl-302u-gps-modul-20-kanalu-sirř-star-iii-usb>
- [3] Datasheet SHT7x  
<http://techwiki.kozmonautika.sk/lib/exe/fetch.php?media=datasheet-humidity-sensor-sht7x.pdf>
- [4] Ullmann, V., KOSMICKÁ JADERNÁ ALCHYMIE aneb O PŮVODU PRVKŮ  
<http://astronuklfyzika.sweb.cz/KosmickaAlchymie.htm>