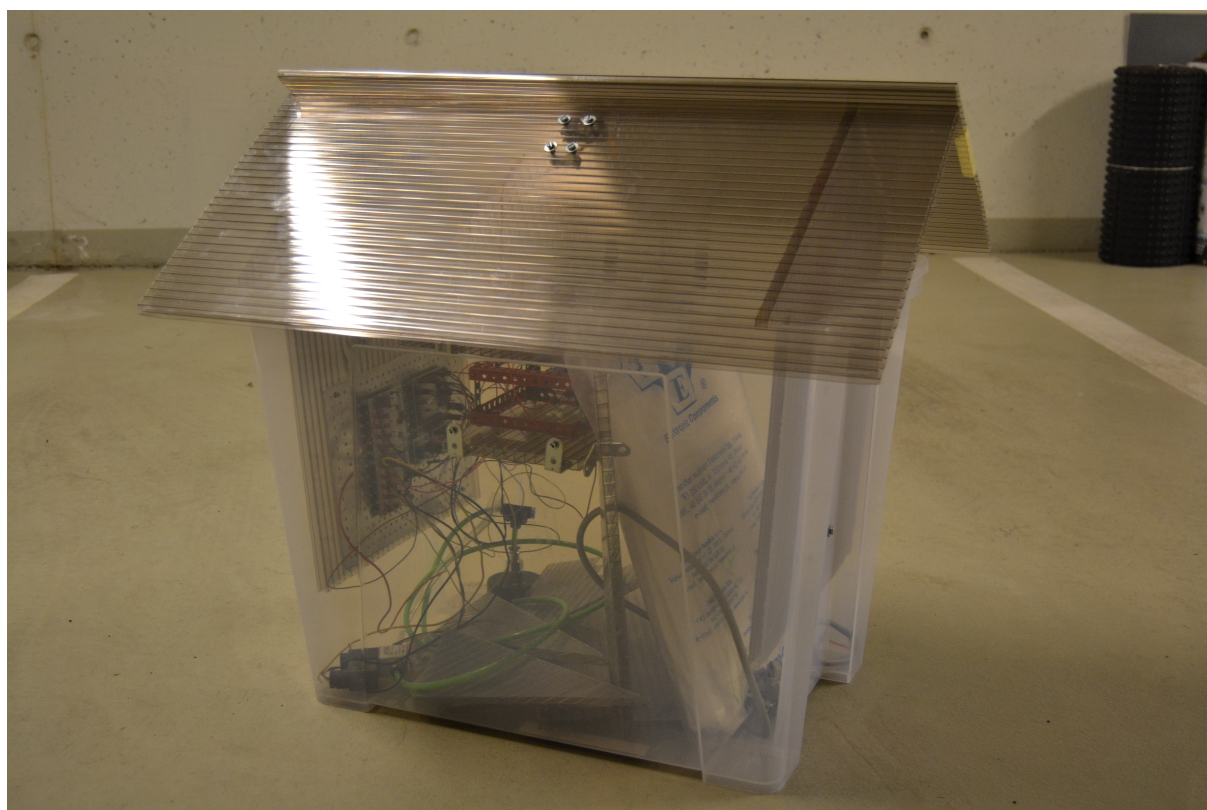


---

# Technická zpráva - Automatický vypouštěč meteobalónů ABL01A

Eva Pomíchalová, Jakub Kákona (kaklik@mlab.cz),  
Ondřej Hanus, Pavel Jícha, Zbyněk Poskočil

2. června 2013



pomiceva  
kakonjak  
hanuson1  
poskozby  
jichapav

---

## Abstrakt

V projektu je vytvořeno funkční řešení, na jehož základě bude možné v budoucnu realizovat projekt Automatický vypouštěč meteobalónů. Z tohoto důvodu jsou řešeny následující problémy: konstrukce meteorologických balónů a jejich částí (elektronika, senzory, nosný plyn, materiál balónu), možnosti bezdrátového přenosu dat z meteobalónu do pozemní stanice, omezení týkající se jednotlivých vysílacích pásem, návrh metody napouštění balónu, která bude automaticky plnit balón héliem a metody jeho uzavření, dále návrh konstrukce zakrytování vypouštěče.



## Obsah

<b>1</b>	<b>Automaticky vypouštěný sondážní balon</b>	<b>5</b>
1.1	Cíle konstrukce systému . . . . .	5
1.1.1	Síť pro detekci dopadu meteorů . . . . .	5
1.1.2	Automatické vypouštění meteorologických radiosond . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Pozemní vypouštěcí box</b>	<b>6</b>
2.1	Potřebné parametry . . . . .	6
2.2	Elektronika pozemní stanice . . . . .	6
2.2.1	Napájení elektronických subsystémů . . . . .	7
2.3	Mechanická konstrukce . . . . .	7
2.3.1	Akční členy . . . . .	8
2.3.2	Otevírání střechy pozemní stanice . . . . .	9
2.3.3	Uzavírací mechanismus balónu . . . . .	10
2.3.4	Napouštěcí systém balónu . . . . .	12
2.4	Diagnostika stavu systému . . . . .	17
2.4.1	Meteorologická data . . . . .	17
2.5	Firmware pozemní stanice . . . . .	17
2.5.1	Real-time operační systém . . . . .	17
2.5.2	Funkce firmwaru . . . . .	18
2.5.3	Uživatelské rozhraní . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Balónová sonda</b>	<b>20</b>
3.1	Potřebné parametry . . . . .	20
3.1.1	Komunikace (Telemetrické údaje) . . . . .	20
3.1.2	Napájení sondy během letu . . . . .	23
3.1.3	Konstrukce . . . . .	23
3.1.4	Firmware . . . . .	23
3.1.5	Legislativní požadavky . . . . .	25
3.2	Meteorologický balón . . . . .	26
3.2.1	Svařování balónu . . . . .	26
3.2.2	Zpětný ventil . . . . .	26
<b>4</b>	<b>Řídicí systém sítě</b>	<b>28</b>
4.1	Zpracování dostupných dat . . . . .	28
4.2	Rozhodovací proces . . . . .	28
4.3	Správa systému . . . . .	28

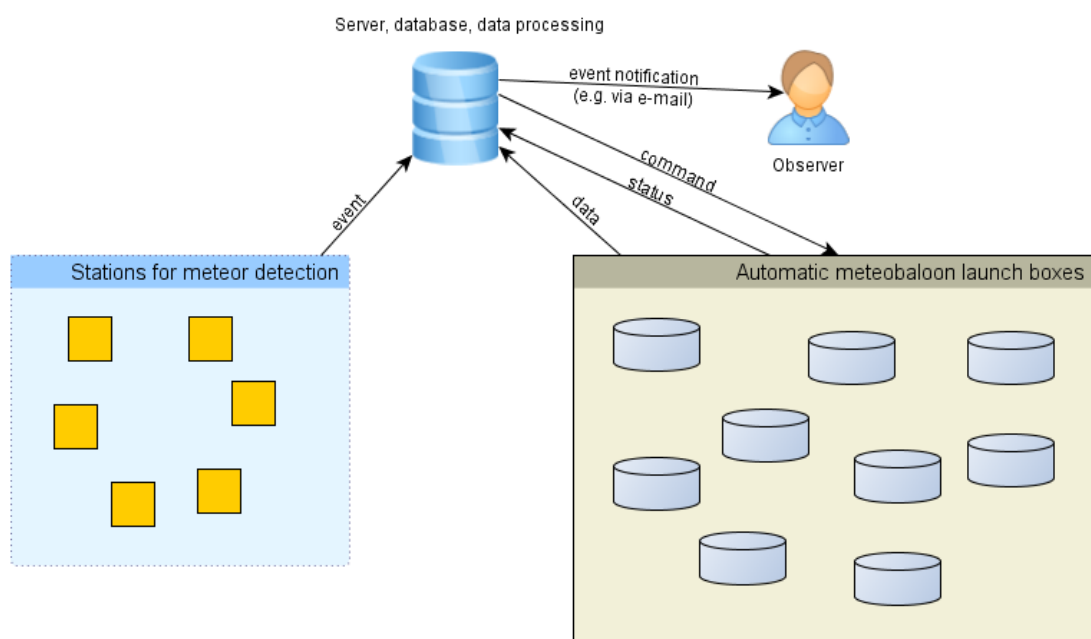


---

<b>5</b>	<b>Výsledky projektu</b>	<b>28</b>
5.1	Možnosti budoucího vývoje zařízení . . . . .	29
5.2	Doporučení pro další cvičení . . . . .	29
	<b>Literatura</b>	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>Slovník</b>	<b>30</b>



pomiceva  
kakonjak  
hanuson1  
poskozby  
jichapav



Obrázek 1: Schéma celé sítě

## 1 Automaticky vypouštěný sondážní balon

Účelem vývoje celého systému je plná automatizace procesu vypuštění balónu a jeho začlenění do složitější sítě měřících přístrojů.

### 1.1 Cíle konstrukce systému

Jde o inovativní přístroj, který může být využit v několika aplikacích vyžadujících přesná meteorologická měření sondou přímo v místě události.

#### 1.1.1 Síť pro detekci dopadu meteorů

Celý systém by měl být robotizovaným doplňkem sítě **radiových detektorů meteorů**, případně pak i její vizuální varianty (video pozorování a bolidové kamery).

Účel zařízení je zpřesnit odhad trajektorie temné dráhy meteoritu v atmosféře zavedením korekcí na proudění vzduchových mas během letu. A tím v důsledku zmenšit plochu dopadové elipsy meteoritu na zemský povrch.

Údaje o proudech v atmosféře budou získány balónovou sondou vypuštěnou bezprostředně po detekci průletu bolidu atmosférou. Místo vypuštění balónové sondy by



mělo být zvoleno automaticky na základě odhadu dráhy meteoru a známých souřadnic balónových sil v síti.

Důležitou součástí systému je plně robotizovaná vypouštěcí stanice (balónové silo), která umožní vypuštění sondy ze známých souřadnic bez zásahu lidské obsluhy. Vedlejším produktem takového vývoje bude zařízení schopné v budoucnu automatizovat i vypouštění klasických meteorologických **radiosond**.

### 1.1.2 Automatické vypouštění meteorologických radiosond

Meteorologické sondy jsou dnes prakticky výhradně vypouštěny ručně nafouknutím balonu vodíkem, jeho uvázáním na sondu a vypuštěním. Již dříve však bylo učiněno několik pokusů o automatizaci tohoto procesu [1]. Avšak zatím žádný nedosáhl praktického nasazení. Což je pravděpodobně způsobeno komplikovaností procesu a zajištěním spolehlivosti tohoto řešení. Náročnost úlohy se podstatně zjednodušuje v případě, že vypouštěcí systém bude konstruován na jednorázové použití, jako je tomu v případě aplikace v síti pro detekci dopadu meteorů.

V jiných meteorologických aplikacích může být přínosem jednak absence obsluhy a tím i možnost umístění přístroje do odlehlých oblastí. Ale i možnost mít měřicí přístroj připravený pro některou speciální meteorologickou událost.

## 2 Pozemní vypouštěcí box

Pozemní stanici balónové sítě tvoří kompaktní krabice obsahující techniku potřebnou k vypuštění balónové sondy. Zařízení je konstruováno tak, aby bylo schopné vydržet řádově několik roků v pohotovostním režimu, a čekat na příkaz k vypouštění sondy.

### 2.1 Potřebné parametry

Vypouštěcí box musí být konstruovaný tak, aby jeho součásti měly vysokou spolehlivost umožnil snadné připojení do sítě, umožňoval zároveň příjem telemetrie z vypuštěných sond.

### 2.2 Elektronika pozemní stanice

Většina řídicí elektroniky je složena z modulů **stavebnice MLAB**

Komunikace s řídicím systémem sítě stanic je aktuálně řešena terminálem na RS232 tvořeného modulem **RS232SINGLE01A** respektive jeho **Universal Serial Bus (USB)** variantou **USB232R01B**. Další možnosti připojení jsou následující:



- Ethernet - modul **ETH01A**
- Konvertor z **Transistor–transistor logic (TTL)** na sběrnici **Controller Area Network (CAN bus) TTLCAN01B**
- Konvertor z **TTL** na sběrnici RS485. **TTLRS48501A**
- **Global System for Mobile Communications (GSM)** výhodné pro odlehlé oblasti a odesílání informací o poruchách.
- **USB** - je přímo osazeno na použitém řídicím modulu a lze jej použít jako servisní terminál a k aktualizaci firmwaru pomocí bootloaderu.

Jako hlavní řídicí **Microcontroller (MCU)** této jednotky byl vybrán **Advanced RISC Machine (ARM) STM32F103R8T** v modulu **STM32F10xRxT01A**. Firmware je pak dále popsán v kapitole 2.5.

### 2.2.1 Napájení elektronických subsystémů

Ve vývojové fázi funkčního vzoru je napájení systému řešeno PC ATX zdrojem, ze kterého jsou využity +5 V a +12 V větve. Toto řešení se neukázalo jako příliš optimální vzhledem ke špatné spolehlivosti PC zdrojů při provozu s nízkou zátěží v dalším prototypu bude proto ATX zdroj pravděpodobně nahrazen jiným spínaným zdrojem určeným pro tento druh aplikace.

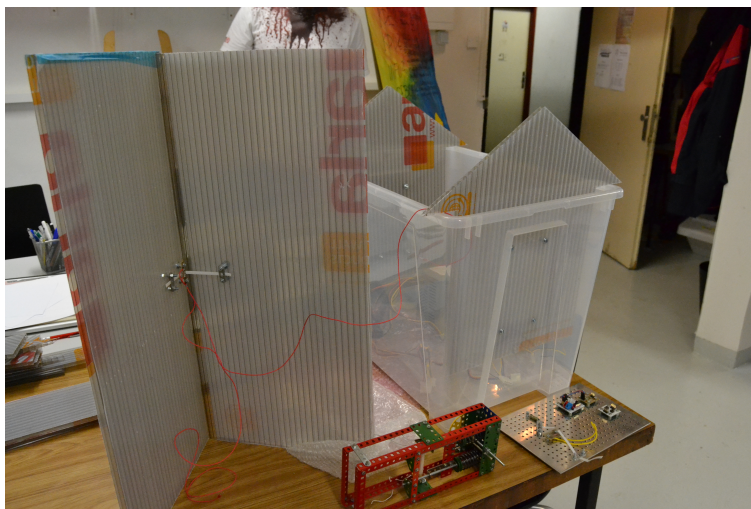
Výhodným řešením by také mohlo být využití fotovoltaických článků, které by v případě umístění na odsuvné střeše bylo možné využít k detekci zakrytí střechy.

## 2.3 Mechanická konstrukce

Základem prototypu vypouštěče je polypropylenová krabice o rozměrech 57x39x42 cm, z obchodního řetězce IKEA. Bočnice a střecha jsou vyřezány z dutinkového polykarbonátu (má dobrý poměr hmotnosti a pevnosti). Výsledné uspořádání je vidět na obrázku 2 a bylo takto navrženo za účelem snadného a spolehlivého otevírání střechy.

Bočnice mají tvar obdélníku zkombinovaného s přesahujícím rovnoramenným trojúhelníkem. Obdélníková část bočnic je přišroubována ke krabici a na trojúhelníkové části je položena střecha, složená ze dvou desek. V produkční verzi by měla být konstrukce spodní části řešena polyfúzně svařovanou plastovou bednou z **Polyethylene (PE)** desek. Krabice musí být dostatečně utěsněna, aby nebyla zajímavá pro hlodavce a další havěť. Rozměry by měly být upraveny tak, aby umožnila vypouštění i současných profesionálních balónových sond. Boční profil krabice by pravděpodobně mohl být modifikován do trojúhelníku, což by umožnilo lepší kontrolu nad odpadávajícími díly střechy. Šikmé





Obrázek 2: Konstrukční díly pozemního vypouštěcího boxu

stěny přes které by se měla sesouvat střecha by navíc mohly být pokryty fotovoltaickými články, které by v zavřeném vyčkávacím stavu sloužily k výrobě elektrické energie pro napájení stanice a při otevření střechy by posloužily, jako zpětná vazba sesunutí desek.

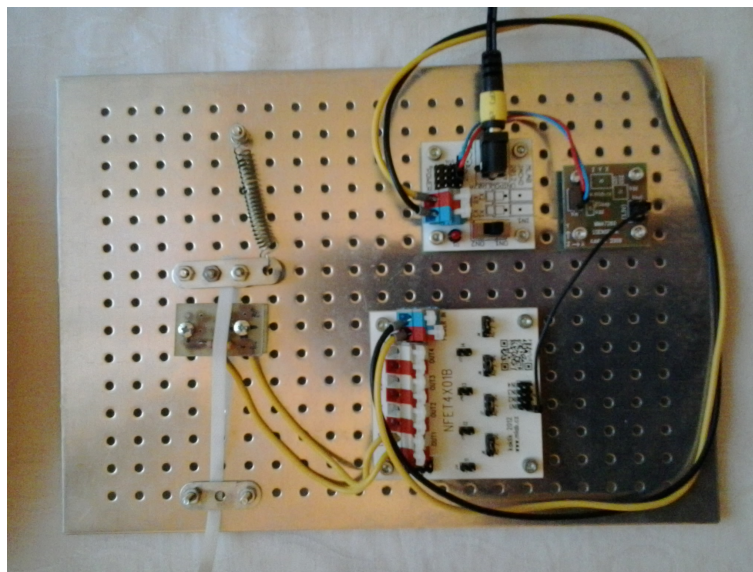
### 2.3.1 Akční členy

Většina akčních členů je konstruována s důrazem na maximální spolehlivost. Konstrukce akčních členů je převzata z kosmických technologií používaných na družicích Magion, proto jsou použity pružiny s přepalovacími **PE** pojistkami (silonové vlákno, nebo stuha přepalovaná výkonovým rezistorem) ke spínání proudu do rezistorů je využit modul **NFET4X01B** Nejdříve byl vyroben prototyp odpalování pružiny pro otevírání víka pozemní vypouštěcí stanice. Na kterém byla demonstrována funkčnost takového řešení. Tento pokus nejlépe ilustruje [dokumentační video](#).

U tohoto prototypu bylo zjištěno, že doba přepalování je poměrně dlouhá, v důsledku nízkého topného výkonu rezistoru ( $47 \Omega @ 12 V$ ) což nebylo vhodné. Bylo to důsledkem snahy zachovat cermetový rezistor pro opakované použití. V dalším experimentu byl rezistor nahrazen **miniaturní verzí** s odporem  $10 \Omega$ , avšak v tomto případě došlo při napájení  $12 V$  k okamžitému přepálení odporu bez poškození zajišťovacího pásku. Při použití  $5V$  napájení již odpor vydržel a zároveň k přepálení zajišťovacího pásku došlo do 3s.







Obrázek 3: Testovací prototyp zajišťovacího mechanismu

### 2.3.2 Otvírání střechy pozemní stanice

Během návrhu optimální konstrukce pozemního vypouštěcího boxu bylo uvažováno několik metod otvírání krabice, na konec byla vybrána sedlová střecha složená ze dvou desek, které mohou vlastní vahou sklouznout po bočnicích.

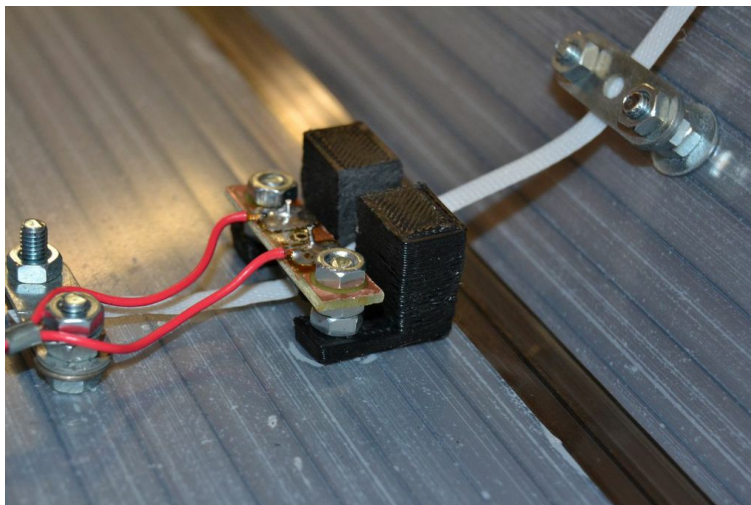
Tyto střešní desky, které se z důvodu vodotěsnosti navzájem překrývají, jsou uvnitř ve vrcholu střechy spojeny páskou. Při přetavení pásky rezistorem, se spustí vlivem gravitační síly po bočnicích na zem.

Při jednom z testovacích odpalů bylo zjištěno, že u tohoto řešení pro otevření střechy hrozí sesunutí pásky či silonu mimo rezistor. Tomuto bylo zabráněno vložením plastového dílu navrženého přímo pro tyto účely a vyrobeného pomocí 3D tiskárny. Tento článek fixuje pásek na rezistoru viz obrázek 4.

Sedlová střecha byla zvolena na základě následujících kritérií:

Dalším možným řešením otvírání střechy jsou panty. Tyto panty by držely střešní desky v zavřené poloze a po přepálení pásky rezistorem by se tyto desky vyklopily do stran, jak je znázorněno na obrázku 5. Pohyb, který by střešní desky musely vykonat, by byl zajištěn pružinami. Nejvhodnějším řešením je použití zkrutné pružiny u každého pantu.





Obrázek 4: Vodící článek pro vázací balíkový pásek (stuhu)

### 2.3.3 Uzavírací mechanismus balónu

Jako uzavírací a vypouštěcí systém balónu je použito odporové svařování. Toto svařování je umístěno v lisovacím mechanismu, který má za úkol stisknout nohavici balónu, jež přivádí nosný plyn do balónu. V poslední fázi činnosti tohoto mechanismu je nohavice příčně přetavena. Tím dojde k uzavření přívodu do balónu a zároveň k odpoutání balónu od uzavíracího systému. K uvolnění balónu je potřeba dostatečný vztlak, jenž přetrhne natažený materiál a uzavřený balón pak začne stoupat.

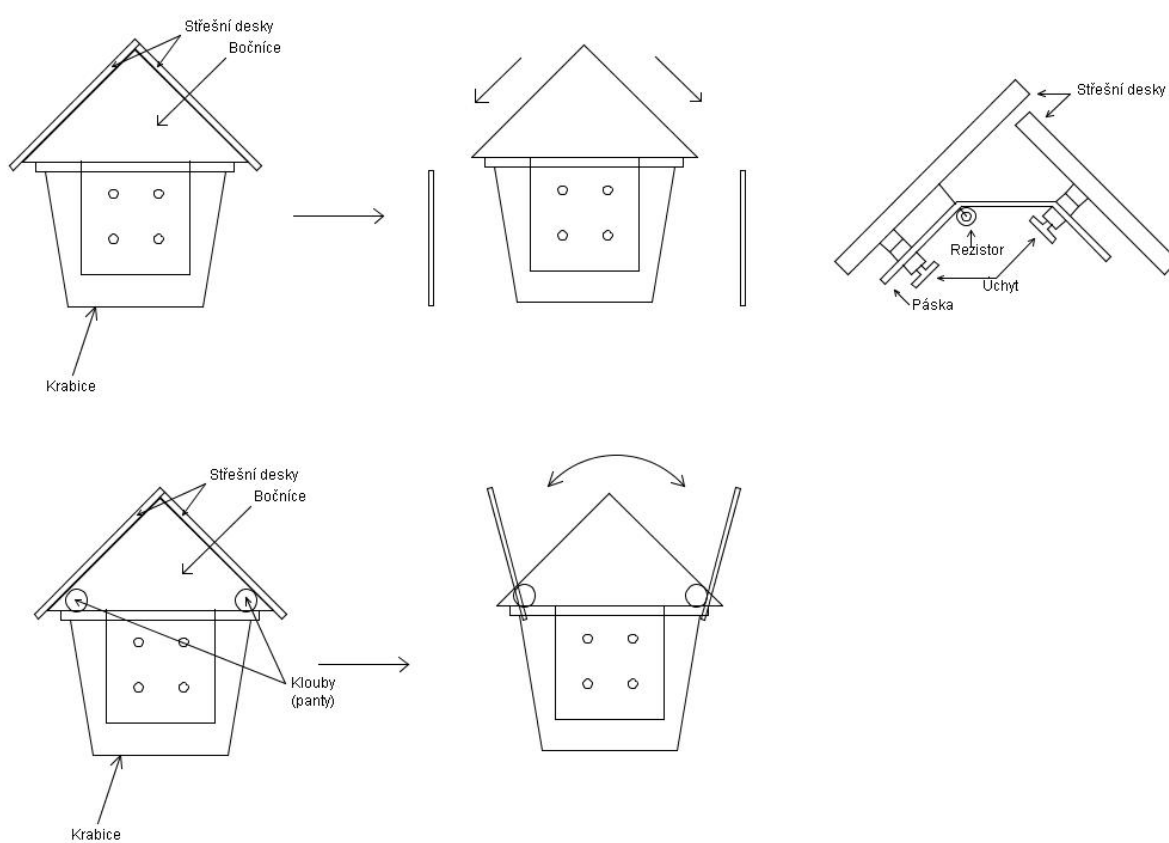
Lis je tvořen pohyblivou přítlačnou plochou a pevnou zarážkou s odporovým drátem.<sup>1</sup> Přítlačná plocha je schopna posuvného pohybu po kolejnicích s přírazem k pevné zarážce. O přítlak se starají dvě pružiny umístěné na kolejnicích za plošinou, jak je vidět na obrázku 6.

Pro snadnější rozevírání lisu a jeho spuštění je použit naviják, který přitahuje přítlačnou plošinu. Po dostatečném rozevření lisu, je naviják zajištěn páskou, která je vedena přes rezistor. Lis je aktivován tak, že rezistor přetaví pásku, zajišťující naviják. Naviják se uvolní a pružiny sevrou lis.

Na pevné zarážce je natažen odporový drát, který má za úkol přetavit nohavici stisknutou lisem. Aby nedošlo k příliš rychlému přetavení nohavice, je přes odporový drát přetažen pauzovací papír. Pro lepší účinnost systému je pauzovacím papírem potažena i přítlačná plošina. Pauzovací papír se postará o lepší rozložení tepla a zároveň brání přitavení nohavice k lisu. V dalších experimentech by bylo zajímavé vyzkoušet použití papíru na pečení.

<sup>1</sup>KANTHAL 0,7 x 0,1 mm:  $R = 20,81 \Omega/m$  od firmy ELCHEMCO spol. s.r.o.

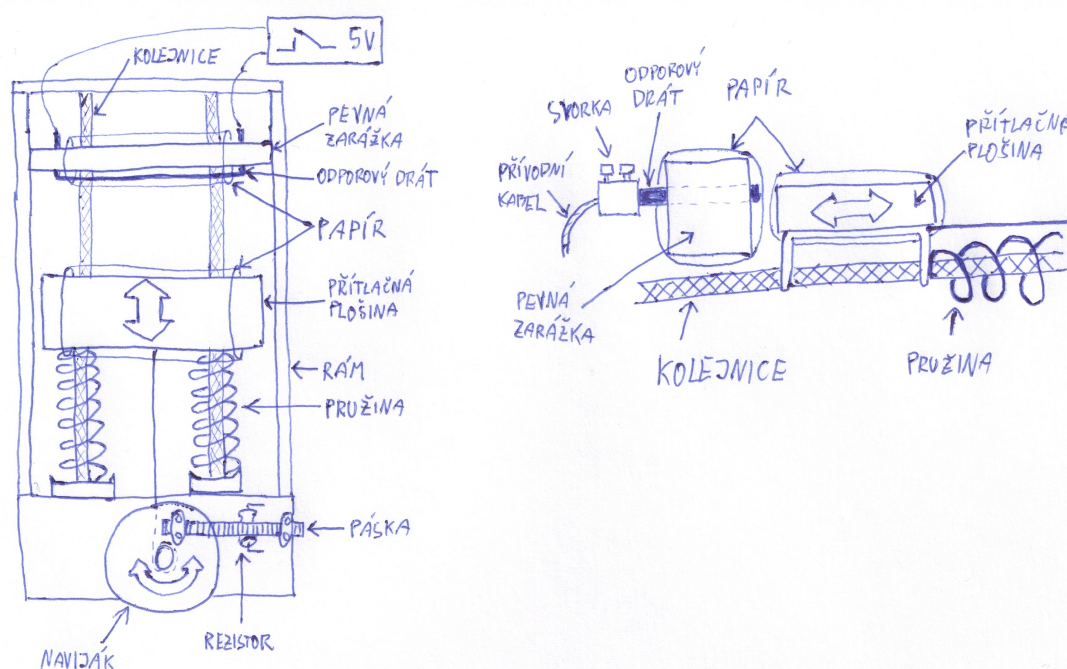




Obrázek 5: Otevírání střechy



Pro správnou funkci lisu je důležitá poloha, ve které doléhá přítlačná plošina k zarážce. Přítlačná plošina musí doléhat tak, aby její horní hrana byla v zákrytu s horní hranou odporového drátu. Pokud by plošina byla posunuta výše, došlo by sice k přetavení, ale balón by se nedokázal vlastní silou odpoutat od systému, protože by byl stále držen lisem. Pokud by plošina byla posunuta níže, nedošlo by k správnému uzavření a odpoutání balónu. Při správném nastavení plošina doléhá přesně na hraně odporového drátu, dojde k uzavření balónu a jeho následnému odpoutání. Správné nastavení je znázorněno na obrázku 6.



Obrázek 6: Náčres uzavíracího mechanismu balónu

### 2.3.4 Napouštěcí systém balónu

Pneumatika napouštěče balónu řeší problém dávkování nosného plynu do balónu. Pro experimenty s funkčním vzorem přístroje bylo jako nosný plyn vybráno helium (bezpečný inertní plyn).

Pro dávkování nosného plynu do balónu byly uvažovány dva koncepty.

1. Použití jednorázové plynové kartuše naplněné právě potřebným množstvím plynu.
2. Použití opakovaně plnitelné tlakové lahve





Obrázek 7: Konstrukce ventilu plynové kartuše s héliem

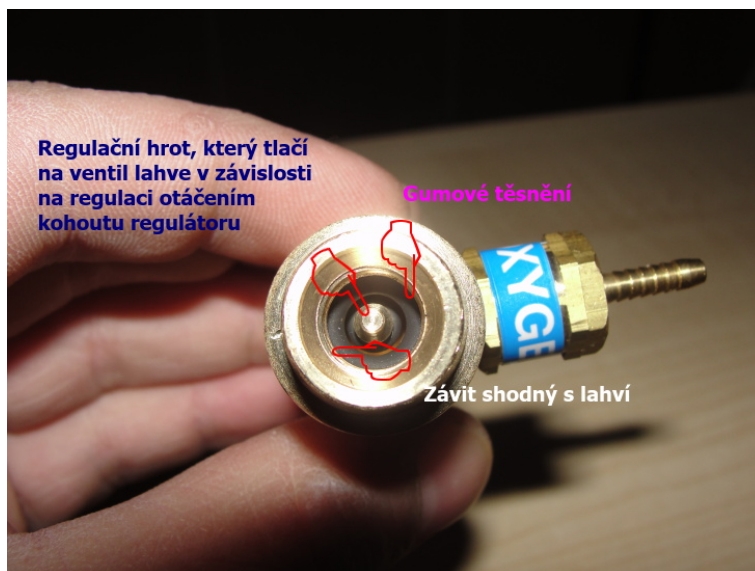
**Tlaková nádoba** Pro první případ uvažující jednorázovou plynovou náplň byla vybrána tlaková nádoba zobrazena na obrázku 7. Její původní plánované využití je pro miniautogeny a je plněna tlakem 100 bar. Výhodou je výstupní šroubení M10x1 a uzavírání tlačným kuželovým ventilem, který by mělo být možné uvolňovat šroubovacím mechanismem. Například s pružně uloženým trnem.

V originálním uspořádání je tlačný kuželový ventil otevírán redukčním ventilem, který je vidět na obrázku 8. Ten kromě kuželu a přitlačné pružiny obsahuje ještě i zpětný ventil s hadičníkem, který lze z těla redukčního ventilu odšroubovat.

Pro konstrukci prototypu napouštěče balónu bylo potřeba opakovaně experimentovat s procesem napouštění a problém opakovaného naplnění plynové kartuše a otevírání kuželového ventilu se nepodařilo z časových důvodů vhodně vyřešit. Z toho důvodu byla použita opakovatelně plnitelná tlaková nádoba v kombinaci s klasickým redukčním ventilem na kyslík. Helium je pak dávkováno elektromagnetickým ventilem 12.

Toto uspořádání má značnou nevýhodu. Helium je pod stálým tlakem ve značném objemu aparatury. Vlivem netěsností a difuze skrz materiály s nízkou hustotou, jako jsou například hadice, nebo pryžová těsnění helium postupně uniká. Toto chování bylo demonstrováno při zkouškách prototypu natlakováním asi 1m dlouhé hadice s průměrem 6 mm přes redukční ventil na jejím druhém konci pak byl připojený manometr, na kterém bylo možné sledovat klesání tlaku v hadici. Tlak z původních 0,4 MPa klesl během několika desítek minut na 0,2 MPa. Dále přes noc klesl až k nule. Hadice byla k regulačnímu ventilu





Obrázek 8: Redukční ventil



Obrázek 9: Znovuplnitelná lahev na technické plyny





Obrázek 10: Redukční ventil na vodík - tento ventil byl pořízen s očekáváním lepších parametrů, než ventil kyslíkový, má však ale levý závit. (Jako všechny ventily pro hořlavé plyny splňující normu)

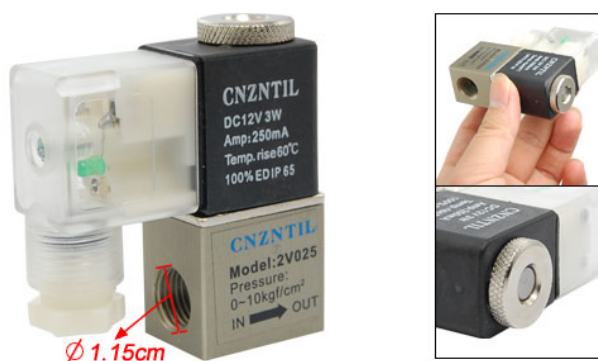




Obrázek 11: Redukční ventil na kyslík sloužící jako náhrada za vodíkový redukční ventil s levým závitem







Obrázek 12: Elektromagnetický dávkovací ventil

a manometru připojena kvalitními nástrčnými šroubeními pro technické plyny se závity těsněnými teflonovou páskou.

Je tedy zřejmé, že systém se stále otevřenou tlakovou lahví a regulačním ventilem nemůže být použit v produkční verzi zařízení, neboť nelze zaručit trvanlivost náplně v tlakové nádobě po delší dobu.

## 2.4 Diagnostika stavu systému

- Kontrola úspěšného startu (měření vztlaku balónu)
- Měření teplot, tlaku plynové náplně, průtoku média do balónu.
- Vlhkost uvnitř krabice (průsak a ztráta vodotěsnosti proražením, nebo netěsností střechy)

### 2.4.1 Meteorologická data

Základní meteorologické veličiny nutné pro rozhodnutí o startu jsou měřeny lokálně (teplota, tlak, relativní vlhkost, směr rychlost větru) automatickou meteostanicí **AWS01B** a lokálně zaznamenávány společně s údaji z **GPS01A** (pozice stanice a přesný čas) logu a reportu o průběhu startu.

## 2.5 Firmware pozemní stanice

### 2.5.1 Real-time operační systém

Pro ovládání celého systému byl zvolen **Real-time operating system (RTOS)**. Ten byl zvolen především pro zjednušení programování vypouštěče, konkrétně nastavování periférií



procesoru a řízení vícevláknové aplikace na něm běžící.

Jako **RTOS** pro tuto aplikaci tak byl zvolen **ChibiOS**, který splňuje standardní požadavky na **RTOS** a navíc s ním byly v týmu zkušenosti při programování jiných aplikací pod procesory **ARM** a ovládání modulů **stavebnice MLAB**.

### 2.5.2 Funkce firmwaru

Aplikaci pro ovládání odpalování je možné rozdělit na čtyři funkční bloky, které jsou realizovány pomocí vláken. Funkční diagram je zobrazen na obrázku 13. V následujících odstavcích bude podrobněji rozebrána funkce jednotlivých vláken aplikace.

**Blikání LED** V tomto vlákne je realizované prosté blikání LED, které slouží pro signalizaci běhu programu. Mezi tím, kdy dioda svítí a nebo je vypnutá, je vlákno uspáno. Tím je vyřešeno jak časování, tak úspora prostředků procesoru.

**Vypouštění** řeší kompletní sekvenci pro vypouštění balónu. Po spuštění a inicializaci proměnných spadne program do nekonečné smyčky, ve které je následně uspán a čeká na probuzení. To nastane ve třech případech:

1. Příjem příkazu pro odpal
2. Příjem příkazu pro zrušení odpalu
3. Probuzení od časovače

**Příjem příkazu pro odpal** Po příjmu příkazu, který zahajuje celou sekvenci odpalování se vypíše na terminál zpráva o zahájení vypouštění a sepne se pin, na kterém je připojen aktuátor, který otevírá víko krabice, ve které je balón uložen (v době vykonávání každého kroku je na terminál vypisována informace o tom, kolik procent z daného kroku je již vykonáno). Pomocí koncového spínače je snímána informace o tom, zda se střecha opravdu otevřela, pokud se tak nestalo, je celá sekvence ukončena. Pokud snímač indikuje otevření střechy, přistupuje se k dalším krokům. Tím je otevření ventilu a následné zahájení napouštění balónu. Tento krok není v současné době nijak zpětnovazebně snímán - je dán pouze čas, kdy je ventil otevřen. Do budoucna by bylo vhodné použití měření průtoku k získání informace, zda je balón opravdu napuštěn daným množstvím plynu.

Třetím krokem celé sekvence je přepálení plastové pojistky, která spouští tavící lis. Po pevně dané časové prodlevě, která by měla být dostačující pro přetavení, je pomocí koncového spínače zjištěno, zda se pojistka přetavila. Pokud ano, pokračuje se posledním krokem, pokud ne, dochází opět k přerušení odpalovací sekvence a návrat do výchozího stavu.



Posledním krokem je zatavení naplněného balónu. V tomto kroku je opět nadefinován čas, po který dochází k zatavování balónu pomocí odporového drátu. Po uplynutí nadefinované doby je balón zataven, na terminál je vypsána informace o ukončení vypouštění a všechny výstupy jsou v neaktivním stavu.

**Příjem příkazu pro zrušení odpalu** V případě příjmu zprávy, která přikazuje ukončení procesu odpalování, se deaktivují výstupy aktivní během vypouštění a uživatel je informován o úspěšném přerušení celé sekvence.

**Probuzení od časovače** Pro přesné časování během celého procesu odpalování je využito funkce časovače. Ten se v každém kroku odpalování sepne na určitou dobu, která je celočíselným násobkem celkové doby, jež se čeká v daném kroku. Tento postup byl zvolen z toho důvodu, aby mohla být průběžně aktualizována zpráva pro uživatele vyjadřující čas, který zbývá do ukončení daného úkolu.

**Příjem příkazu od uživatele** Pro komunikaci s uživatelem je využito sériové linky. Ta se využívá jak pro informování uživatele o aktuálním stavu programu, tak zároveň k příjmu příkazů od uživatele. Celý algoritmus příjmu příkazu spočívá ve vyčítání znaků zadaných uživatelem znak za znakem až do té chvíle, kdy je stisknut ENTER a nebo je překročena maximální délka příkazu. Poté se buď zadaný příkaz dekóduje a následně provede a nebo je vypsána informace, že příkaz nebyl rozeznán.

**Příjem dat z GPS modulu** Posledním vláknem využívaném ve firmwaru vypouštěče je vlákno, které se stará o příjem a dekódování NMEA zprávy posílané po sériové lince z GPS modulu [2]. Každou vteřinu je vyčítána NMEA zpráva a z ní je vybrána GPRMC zpráva, ze které je následně získána informace o aktuálním čase, datu a poloze stanice. Tato informace slouží jednak pro přesné logování událostí a zároveň v budoucnu pro snadné lokalizování vypouštěcí stanice.

### 2.5.3 Uživatelské rozhraní

Při spuštění terminálu se po resetu programu procesoru vypíše úvodní zpráva s nápovědou, na kterých výstupních pinech procesoru jsou připojeny jednotlivé akční členy. Poté program přechází do pohotovostního režimu a čeká na příkaz od uživatele. Tyto příkazy jsou:

- odpal
- zrus (nebo písmeno "s")
- help



- check

Příkaz **odpal** spustí vypouštěcí sekvenci probuzením daného vlákna pro vypouštění. Příkaz **zrus** zastaví vypouštěcí sekvenci, pokud byla zahájena a informuje o tom výpisem o ukončení vypouštění. Zároveň jde vypouštění zrušit okamžitě stisknutím "s" bez nutnosti potvrzovat příkaz enterem. Příkaz **help** vypíše stejnou úvodní zprávu jako po resetu programu. Poslední příkaz **check**, lze použít pro kontrolu stavu vypouštěče před začátkem vypouštění. Po zadání tohoto příkazu jsou na terminál vypsány informace o aktuálních stavech použitých senzorů. Lze tak například zkontrolovat, že střecha není zajištěna, nebo že je lis již spuštěn.

## 3 Balónová sonda

Hlavním úkolem meteorologické sondy je v případě použití systému ke zpřesnění dráhy dopadu meteoru změřením směrů a rychlostí větru. Z tohoto hlediska jde proto o meteorologickou sondu označovanou jako **Rawinsonde**. Neletový prototyp sondy byl experimentálně sestaven z modulů stavebnice **MLAB**

**ATmegaTQ3201A**, **SDcard01B**, **GPS01A**.

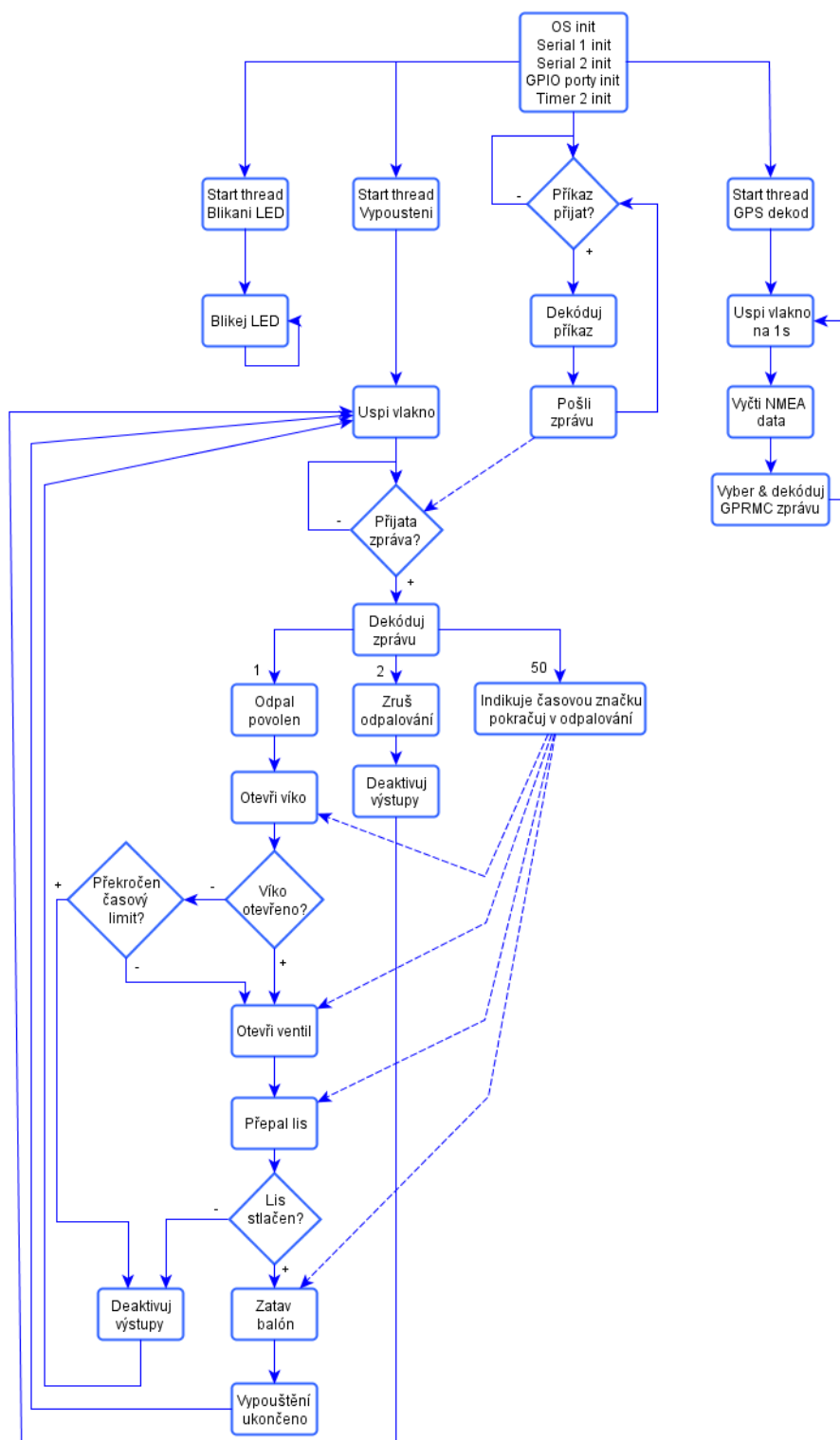
### 3.1 Potřebné parametry

GPS na sondě by měla být udržovaná ve stavu FIX, aby pak nedocházelo ke zpoždění vypuštění v důsledku čekání na fix.

#### 3.1.1 Komunikace (Telemetrické údaje)

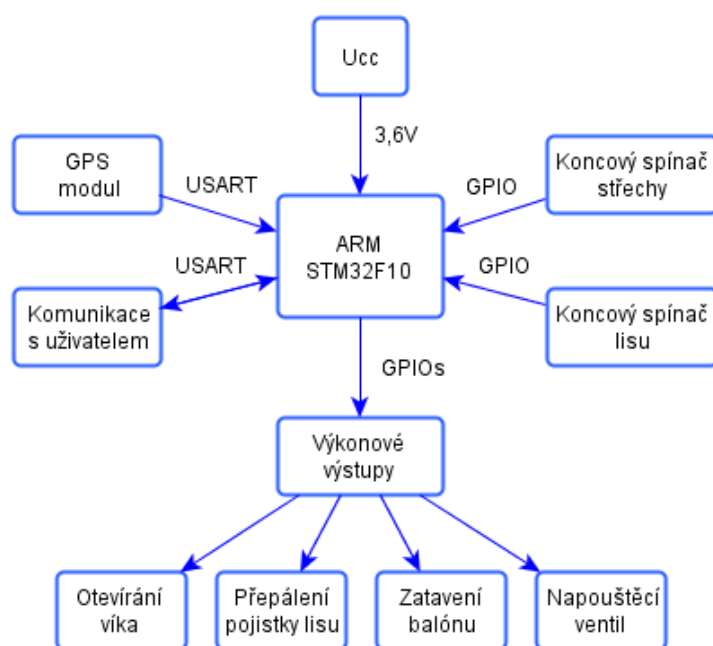
- Primárním cílem je měření rychlosti a směru větru ve známých bodech.
- GPS údaje 10Hz, textový výstup **NMEA**
- další veličiny jako teploty, tlaky atd. jsou volitelné.
- Radio maják a akustický maják
- Radiový přenos telemetrie v pásmu 27-450 MHz: možnost bezlicenčních pásem (SVN: VO-R-16, VO-R-10)
- Radiomoduly: <http://www.artbrno.cz>, <http://www.anaren.com>





Obrázek 13: Procesní diagram firmwaru pozemní stanice





Obrázek 14: Blokové schéma pozemního vypouštěcího boxu



GPS je potřeba vybrat tak, aby fungovala i ve větších výškách což je omezeno směrnicí CoCom.

Při realizaci sondy se může stát, že Úřad pro civilní letectví (ÚCL) bude zavrženo použití Global Positioning System (GPS) na palubě sondy a k měření pozice bude nutno využít jinou technologii. Například jednoduchý maják umístěný na sondě a Multilaterace [3]

### 3.1.2 Napájení sondy během letu

- Lithiový článek (negeneruje teplo, minimální provozní teplota je  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- Hořčíková baterie (generuje teplo pro temperování elektroniky)
- Stříbro-oxidový článek Vydrží nižší provozní teploty a je ekologicky nezávadný.
- Ideální by bylo použití superkapacitorů

Řešením problému s nízkou teplotou ve vyšších výškách by mohlo být predehřátí sondy při startu.

Komunikace a napájení za letu nebylo v rámci této fáze projektu finálně vyřešeno.

### 3.1.3 Konstrukce

- Balón - PE pytel (má vysokou životnost - pryž časem degraduje) [4]
- Možnost dálkového odpojení balónu od sondy (ukončení stoupání)
- Prototyp plněný heliem, ekologičtější. Další možností byl vodík, který lze vyrábět chemicky přímo během vypuštění sondy.
- Splnění požadavků na bezpečnost provozu (letovou, majetkovou a personální)

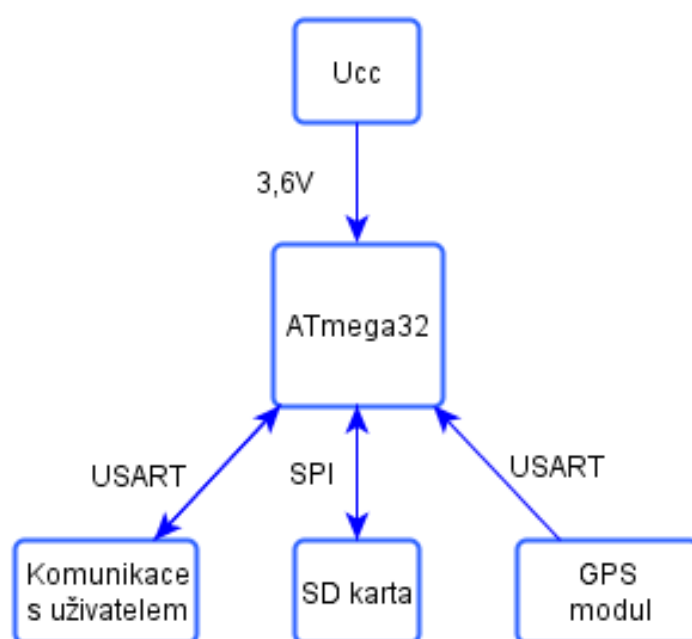
**Návrat sondy** Vzhledem k nákladnosti vybavení sondy by bylo výhodné, kdyby existovala možnost jejího návratu. Existuje několik návrhů návratových zařízení [5], existují také lovci radiosond, kteří by mohli pomoci s hledáním [6], [7]

### 3.1.4 Firmware

- Záznam dat v gondole balónu mikroSD karta

Toto řešení bylo zavrženo jako nevhodné z důvodu malé šance nalezení a návratu gondoly. Data bude nutné přenášet online na zem.





Obrázek 15: Blokové schéma balónové sondy





### 3.1.5 Legislativní požadavky

Pravidla pro lety volných balónů bez pilota jsou definovány v leteckých předpisech L-2 Pravidla létání, dodatek 5 a R.

**Kategorie balónu** Balón by měl spadat do kategorie B2, která je definována jako volný balón s objemem menším než  $3,25 m^3$ , přičemž žádný z rozměrů balónu nepřekračuje 2 m. Rozměr 2 m je rozměr při jeho maximálním naplnění/roztažení.

**Povolení vypuštění** Užitečné zatížení představují předměty a materiály, které by v případě střetu s letadlem mohly způsobit poškození letadla (zejména prskavky, svítící tyčinky, lámací světla, LED diody apod.) a jakékoliv zatížení o hmotnosti přesahující 0,1 kg. Vzhledem k této definici bude nutné mít pro provoz balónu povolení. Všechny informace ohledně letu (jako je datum, čas, místo vypuštění, užitečné zatížení atp.) musí být zveřejněny v Letecké informační příručce (AIP). Pro vypuštění ve zvláštních případech, jako je mimořádné pozorování, je potřeba upozornit prostřednictvím navigační výstrahy formou zprávy **Notice To Airmen (NOTAM)**, která se musí podat minimálně 24 hodin před vzletem balónu.

**Materiály** Balón nesmí být plněn hořlavými a výbušnými plyny s výjimkou povolení **ÚCL**. Omezení pro materiál antény ani baterií nejsou definovány. Materiál balónu také není definován, ale při použití balónu o vysoké svítivosti nebo zhotoveného z materiálů o velké světelné nebo radarové odrazivosti musí být oznámeno vypuštění balónu nejbližšímu stanovišti letových provozních služeb. Materiál (lano, provázek) spojující balón se sondou nesmí vydržet větší sílu než 230 N.

**Dostup** Pro dostup nejsou právní omezení.

**Místo vypuštění** Omezení se týká všech Zakázaných, Nebezpečných a Omezených prostorů, stejně jako dočasně aktivovaných prostorů v době jejich používání, s výjimkou kdy tak povolí **ÚCL** nebo kdy je prostor vyhrazen pro let předmětného balónu. Provoz balónu blízko hranic a letišť je problematický, nedoporučuje se.

### Řešení legislativních problémů

- Navržení bezpečné sondy, která splní požadavky **ÚCL** pro kategorii B2.
- Řízené stoupání a aktivní zabránění vzniku kolize. Takový systém by mohl zároveň zjednodušit návrat sondy viz [zde](#))



- Autodestrukce při hrozící srážce.

Bylo zvoleno první řešení, a to navržení bezpečné sondy spadající do kategorie B2. Finální systém bude muset být předložen k posouzení komisi na ÚCL.

## 3.2 Meteorologický balón

Balón pro meteorologickou sondu je samostatný problém neboť sonda stoupá během letu do výšek až 30 km a dochází tak k namáhání balónu rychlou změnou teploty a nízkými teplotami ( $-60^\circ$ ). Zároveň se přibližně 13x zvětší objem balónu.

Nosné meteorologické balóny jsou proto obvykle vyráběny z latexu. Jsou používány jako tlakové, což znamená, že nosný plyn je uvnitř pod stálým tlakem mírně větším, než je tlak okolního prostředí. Důvod jejich používání je pravděpodobně jednak historický a také důsledkem faktu, že jiné meteorologické balony se běžně komerčně nevyrábějí. Jejich rozměry a parametry jsou však pro toto využití nevyhovující, protože jejich hmotnosti se pohybují v rozsahu stovek gramů až jednotek kilogramů, přičemž nosnost je přibližně srovnatelná s jejich hmotností.

### 3.2.1 Svařování balónu

Vzhledem k nestandardním požadavkům proto bylo potřeba si svařit vlastní balón z PE fólie. K tomu byl využit polotovar známý jako hadice. Na balonu jsou pak pouze dva svařované spoje na spodní a horní části.

### 3.2.2 Zpětný ventil

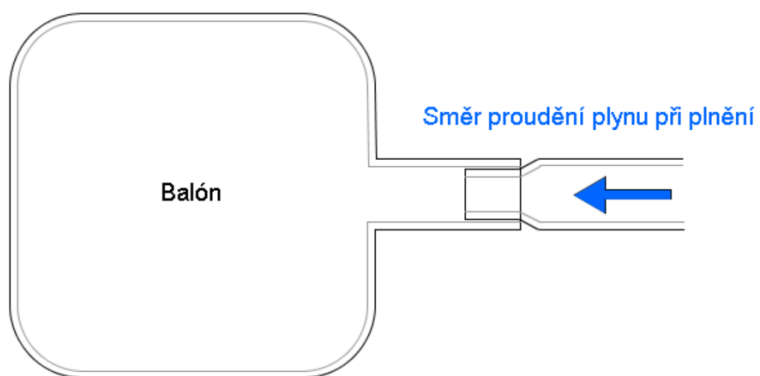
Při jednom pokusu (původně neúspěšném) o nastavení nohavice pro nafukování a zatahovování balónu se podařilo přijít na velice zajímavý, překvapivě jednoduchý a efektivní způsob řešení zpětného ventilu 16. Zatahovací mechanismus bude použit v každém případě, ale jako pojistku lze použít právě ventil popsany v následujícím odstavci.

V podstatě jde o přerušení nohavice a následné napojení „nasunutím“ jedné části do druhé (obrázek 17). Pokud je spodní část nasunuta do vrchní (připojené k balónu) a upevněna například pomocí lepicí pásky, bude možné balón bez problémů napustit. Ovšem při pokusu balón vypustit se zjistí, že je to téměř nemožné. Ta část nohavice, které je nasunutá uvnitř, se vlivem opačného tlaku vzduchu (nebo jiného plynu) zdeformuje a zablokuje průchod. Tímto způsobem lze velice levně, jednoduše a efektivně vytvořit zpětný ventil, který by měl být pro účely autovypouštěče naprosto dostačující.





Obrázek 16: Zpětný ventil v nohavici balónu - foto



Obrázek 17: Zpětný ventil v nohavici balónu



## 4 Řídící systém sítě

### 4.1 Zpracování dostupných dat

- Odhad vektoru meteoru v atmosféře
- Záznam dostupných meteorologických dat pro pozdější rekonstrukci meteorologické situace v průběhu události (družicové snímky, aktuálně měřené hodnoty ČHMÚ, radarové snímky)
- Sběr dat z jednotlivých stanic
- Výpočet vektoru a výškových profilů větru

### 4.2 Rozhodovací proces

Použití přesněji nedefinovaného skriptovacího jazyka pro popis procesu **ROS**

- Přidělení příkazu ke startu jednotlivým stanicím.
- Přeplánování startu v důsledku neúspěšného vypuštění nebo zamítnutí stanicí.
- Kontrola potenciálního narušení vzdušného prostoru a zakázaných zón na základě modelových předpovědí vycházejících z informací dostupných v době startu sondy.

### 4.3 Správa systému

- Registrace jednotlivých stanic a správa uživatelů v kooperaci s projektem **Astrozor**

V této fázi projektu nebyl Řídící systém podrobněji řešen, pouze počáteční návrhy.

## 5 Výsledky projektu

Byl vyvinut funkční vzor pozemní stanice automatického vypouštěče a demonstrován jeho fungující stav. Tento prototyp poslouží pro další experimenty a k dalšímu zdokonalení konstrukce. Na tomto projektu lze pokračovat i v dalších fázích. První nástin toho, co bude třeba vylepšit obsahuje následující kapitola.

V průběhu vývoje nastalo několik technických problémů. Navrhovaná řešení jednotlivých problémů jsou uvedena v technické části vždy u příslušné kapitoly.

Co se týká organizačních problémů v týmu, tak největší obtíží bylo poměrně dlouhodobé onemocnění jednoho člena týmu a následné zranění dalšího člena týmu. Vše se



nakonec s pomocí moderních technologií podařilo vyřešit a prototyp boxu byl úspěšně sestaven. Prodlevy v práci byly řešeny společnými víkendovými workshopy.

## 5.1 Možnosti budoucího vývoje zařízení

V produkční verzi zařízení bude potřeba zejména vylepšit mechanickou konstrukci vypouštěcího boxu tak, aby byla odolnější proti povětrnostním vlivům. Dále bude potřeba vylepšit firmware tak, aby časování sekvence fungovalo korektním způsobem.

## 5.2 Doporučení pro další cvičení

U tohoto konkrétního projektu byla největším nedostatkem výbava fakultních laboratoří. Balón byl svařován v dílně Fakulty strojní a finální box byl sestavován ve velice dobře vybavené **bastlárně** bloku 9 na Strahově. Poděkování patří především provozovatelům právě této Strahovské dílny, která byla týmu k dispozici bez jakýchkoli komplikací včetně kompletního vybavení.

## Reference

- [1] “A cost effective automatic balloon launcher.” <http://www.osti.gov/bridge/purl.cover.jsp?purl=/768881-IVNrh/native/768881.pdf>.
- [2] “National operational hydrologic and remote sensing center.” <http://www.u-blox.com/en/gps-modules/pvt-modules/lea-6-family.html>. UBLOX. LEA-6 series [online]. 2013 [cit. 2013-05-12].
- [3] “Multilateration - time difference of arrival.” <https://en.wikipedia.org/wiki/Multilateration>.
- [4] “projekt mogul.” [http://en.wikipedia.org/wiki/Project\\_Mogul](http://en.wikipedia.org/wiki/Project_Mogul).
- [5] “Autonomous parafoil return vehicle.” <http://mbed.org/users/lhiggs/notebook/autonomous-parafoil-return-vehicle/>.
- [6] “La chasse aux radiosondes par radiogoniométrie.” <http://www.radiosonde.eu/>.
- [7] “Stánka nadšenců pro hledání radiosond.” <http://www.radiosonda.sk/>.



## 6 Slovník

**ARM** *Advanced RISC Machine.*

**CAN bus** *Controller Area Network.*

**GPS** *Global Positioning System.*

**GSM** *Global System for Mobile Communications.*

**MCU** *Microcontroller.*

**NOTAM** *Notice To Airmen.*

**PE** *Polyethylene.*

**RTOS** *Real-time operating system.*

**TTL** *Transistor–transistor logic.*

**USB** *Universal Serial Bus.*

**ÚCL** *Úřad pro civilní letectví.*

Projekt byl realizován z prostředků firmy Universal Scientific Technologies s.r.o.



pomiceva  
kakonjak  
hanuson1  
poskozby  
jichapav