

---

# Technická zpráva - Automatický vypouštěč meteobalónů

Eva Pomíchalová

Jakub Kákona

Ondřej Hanus

Pavel Jícha

Zbyněk Poskočil

19. května 2013



---

## Abstrakt

Cílem tohoto projektu je vytvořit analýzu funkčních řešení, na jejichž základě bude možné v budoucnu realizovat projekt Automatický vypouštěč meteobalónů (včetně vytvoření samotného meteobalónu). Z tohoto důvodu je tedy potřeba provést rešerši následujících problémů: již hotová řešení meteorologických balónů či jejich částí (elektronika, senzory, zdroje hélia, materiál balónu), možnosti bezdrátového přenosu dat z meteobalónu do pozemní stanice a omezení týkající se jednotlivých vysílacích pásem, návrh části se vzduchotechnikou, která bude automaticky plnit balón héliem a mechanismu jeho uzavření/zatavení a dále pak návrh konstrukce krytu vypouštěče s důrazem na možná řešení automatického otevírání jeho střechy. Součástí této fáze bude také, na základě provedených analýz, vytvoření funkčního prototypu mechaniky a jejího ovládání pro napouštění balónu a jeho následné uzavření.



## Obsah

<b>1 Automatický vypouštěč meteobalónů</b>	<b>4</b>
1.1 Pozemní vypouštěcí box . . . . .	4
1.1.1 Technické parametry . . . . .	4
1.1.2 Diagnostika poruch . . . . .	5
1.1.3 Meteorologická data . . . . .	5
1.1.4 Mechanická konstrukce . . . . .	5
<b>2 Firmware pozemní stanice</b>	<b>6</b>
2.1 Real-time operační systém . . . . .	6
2.2 Vysvětlení funkce firmwaru . . . . .	6
2.2.1 Blikání LED . . . . .	6
2.2.2 Vypouštění . . . . .	7
2.2.3 Příjem příkazu od uživatele . . . . .	8
2.2.4 Příjem dat z GPS modulu . . . . .	8
2.3 Uživatelské rozhraní terminálu . . . . .	8
2.4 Balónová sonda . . . . .	11
2.4.1 Technické parametry . . . . .	11
2.4.2 Legislativní požadavky . . . . .	12
2.5 Řídicí systém sítě . . . . .	14
2.5.1 Zpracování dostupných dat . . . . .	14
2.5.2 Rozhodovací proces . . . . .	14
2.5.3 Správa systému . . . . .	14
<b>3 Problémy a jejich řešení</b>	<b>14</b>
<b>4 Pneumatická část napouštěcího systému</b>	<b>15</b>
4.1 Tlaková nádoba . . . . .	15



# 1 Automatický vypouštěč meteobalónů

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 vypuštění klasických meteorologických **radiosond**.

## 1.1 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 vypuštění sondy.

### 1.1.1 Technické parametry

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 USB variantou **USB232R01B**. Další možnosti připojení jsou následující:

- Ethernet - modul **ETH01A**
- Konvertor z TTL na sběrnici CAN **TTLCAN01B**
- Konvertor z TTL na sběrnici RS485. **TTLRS48501A**
- 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 bootloaeru.

Jako hlavní řídicí MCU této jednotky byl vybrán ARM STM32F103R8T v modulu **STM32F10xRxT01A**. Firmware je pak dále popsán v kapitole 2.



**Napájení systému** 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.

### 1.1.2 Diagnostika poruch

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

### 1.1.3 Meteorologická data

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

### 1.1.4 Mechanická konstrukce

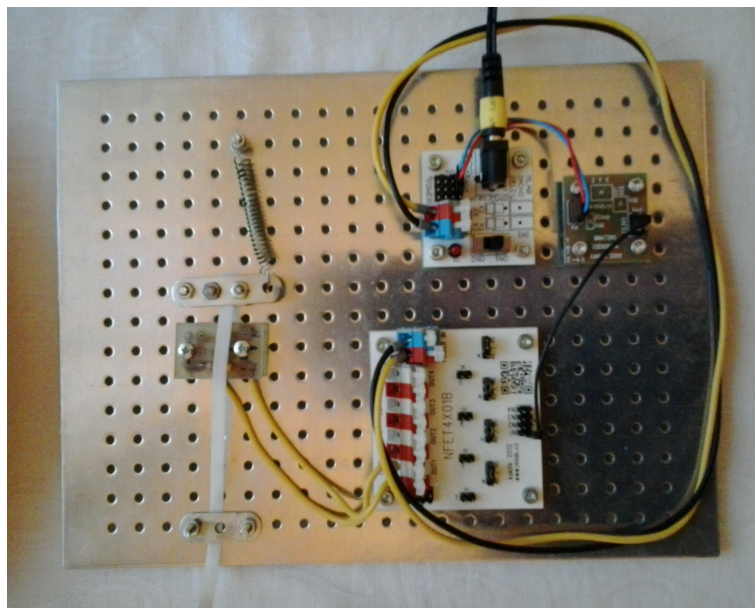
Svařovaná plastová bedna s odstranitelným víkem. Dostatečně těsná, aby nebyla zajímavá pro hlodavce a další havěť. Konstrukce navržena tak, aby umožnila vypouštění i současných profesionálních balónových sond. Aktivace mechanických prvků přepálením vlákna uzavření balónu zatavením hrdla

**Akční členy** Většina akčních členů je konstruována s důrazem na maximální spolehlivost. Akční členy proto jsou pružiny s přepalovacími PE pojistkami (silonové vlákno, nebo stuha přepalovaná výkonovým rezistorem) ke spínání proudu do rezistorů je využit modul **NFET4X01B**

Dále se nám podařilo sestrojít prototyp odpalování pružiny pro otevírání víka pozemní vypouštěcí stanice. Tento pokus nejlépe ilustruje toto [video](#).

U tohoto prototypu bylo zjištěno, že doba přepalování je poměrně dlouhá, což není vhodné. Jedním ze záměrů zhotovitele bylo nezničit odpor, což pravděpodobně nebude možné, aby doba spouštění nebyla příliš dlouhá.





Obrázek 1: Odpalovač víka

## 2 Firmware pozemní stanice

### 2.1 Real-time operační systém

Pro ovládání celého systému byl zvolen real-time operační systém (RTOS). Ten byl zvolen především pro zjednodušení 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 také s ním máme zkušenosti s programováním jiných aplikací pod procesory ARM a ovládáním modulů [stavebnice MLAB](#).

### 2.2 Vysvětlení funkce firmwaru

Aplikace pro ovládání odpalování se dá rozdělit na čtyři funkční bloky, které jsou realizovány pomocí vláken. Funkční diagram je zobrazen na Obr. 2. V následujících kapitolách bude podrobněji rozebrána funkce jednotlivých vláken aplikace.

#### 2.2.1 Blikání LED

V tomto vlákně 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.

### 2.2.2 Vypouštění

Toto vlákno se stará o 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

Ad. 1. 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 kroku.

Tím je otevření ventilu a tím pádem zahájení napouštění balónu. Tento krok není nijak v současné chvíli zpětnovazebně snímán - je dán pouze čas kdy je ventil otevřen. Do budoucna bychom rádi použili 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 stačit 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 a na terminál je vypsána informace o ukončení vypouštění a všechny výstupy jsou v neaktivním stavu.

Ad. 2. V případě příjmu zprávy, která příkazuje ukončení procesu odpalování, se deaktivují výstupy aktivní během vypouštění a uživatel je informován o úspěšném přerušení celé sekvence.

Ad. 3. 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, kterou 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.



### 2.2.3 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 dekoduje a následně provede a nebo je vypsána informace, že příkaz nebyl rozeznán.

### 2.2.4 Příjem dat z GPS modulu

Posledním vláknem využívaném ve firmwaru vypouštěče je vlákno, které se stará o příjem a dekodování NMEA zprávy posílané po sériové lince z GPS modulu [5]. 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.

## 2.3 Uživatelské rozhraní terminálu

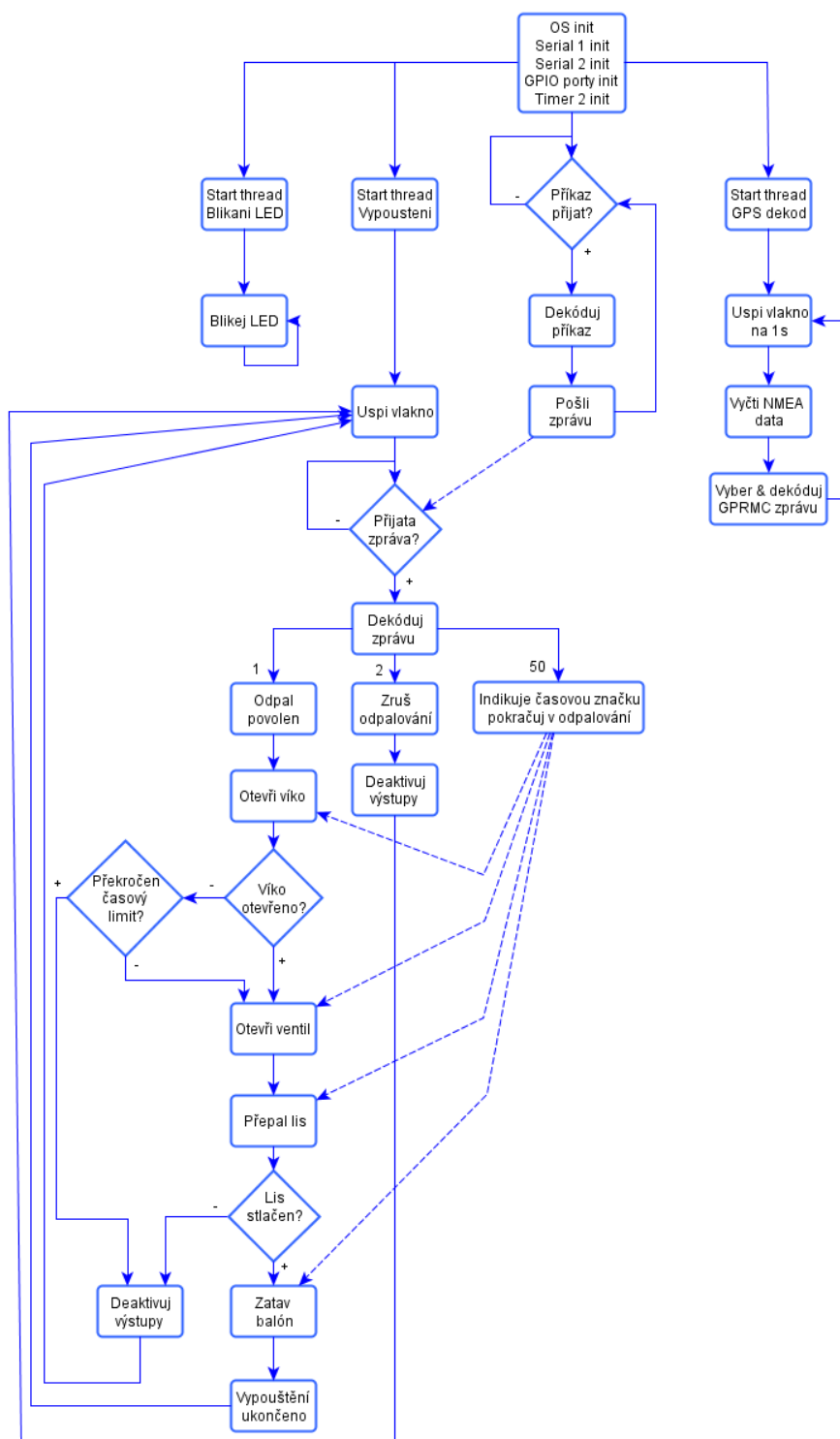
Při spuštění terminálu se po resetu programu procesoru vypíše úvodní zpráva s nápovědou, na kterých výstupních pinech procesoru jsou připojeny jednotlivé akční členy. Poté program přechází do pohotovostního režimu a čeká na příkaz od uživatele. Tyto příkazy jsou:

1. odpal
2. zrus (nebo písmeno "s")
3. help
4. 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 sensorů. Lze tak například zkontrolovat, že střecha není zajištěna, nebo že je lis již spuštěn.

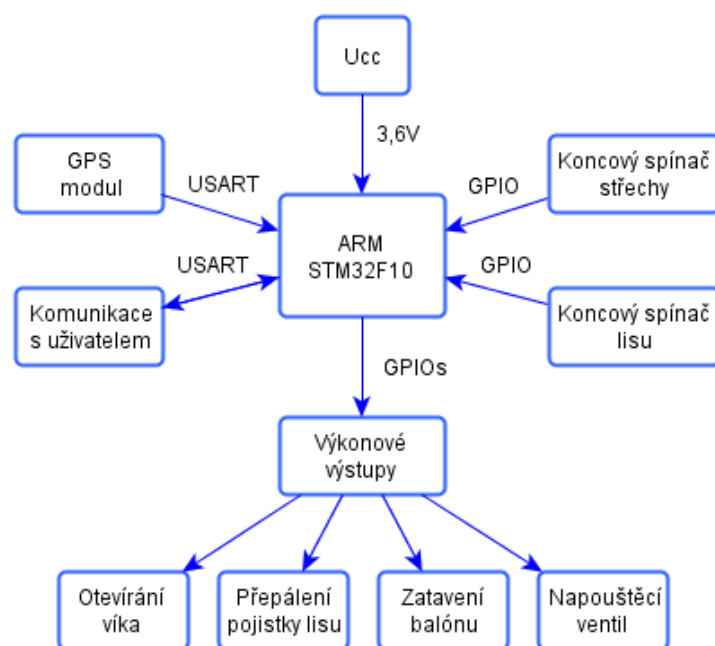






Obrázek 2: Funkční diagram firmwaru Automatického vypouštěče





Obrázek 3: Blokové schéma pozemního vypouštěcího boxu



## 2.4 Balónová sonda

Neletový prototyp sondy bude vyvinut za použití modulů stavebnice **MLAB ATmegaTQ3201A, SDcard01B, GPS01A**

### 2.4.1 Technické parametry

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

#### 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>

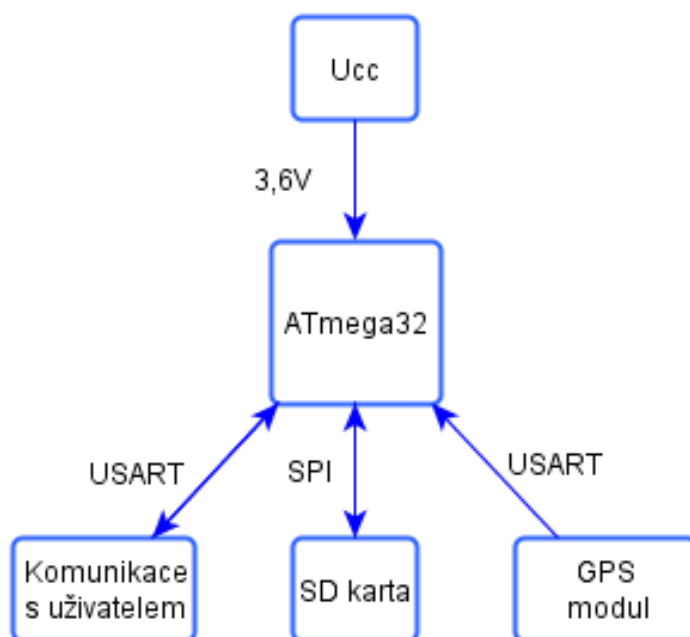
GPS je potřeba vybrat tak, aby fungovala i ve větších výškách. <sup>3)</sup>

#### Napájení sondy během letu

- **Lithiový článek** (negeneruje teplo, minimální provozní teplota je -60 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.





Obrázek 4: Blokové schéma balónové sondy

### Konstrukce

- Balón - **PE** pytel (kvůli životnosti v zabaleném stavu - guma s časem degraduje) <sup>4)</sup>
- Možnost dálkového odpojení balónu od sondy (ukončení stoupání)
- Prototyp plněný **heliem**, i ekologičtější. A vodík navíc lze vyrábět chemicky přímo během vypuštění sondy).
- Splnění požadavků na bezpečnost provozu (letovou, majetkovou a personální)

### Firmware

- Záznam dat v gondole balónu mikroSD karta

#### 2.4.2 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 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 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

- Navrhnout bezpečnou sondu, která splní požadavky ÚCL na bezpečnost letu.
- Řídit stoupání a aktivně zabránit vzniku kolize. (Takový systém by mohl zároveň zjednodušit návrat sondy podobně jako [zde](#))
- Autodestrukce při hrozící srážce.



## 2.5 Řídicí systém sítě

### 2.5.1 Zpracování dostupných dat

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

### 2.5.2 Rozhodovací proces

Použití nějakého 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.

### 2.5.3 Správa systému

- Registrace jednotlivých stanic a správa uživatelů v kooperaci s projektem [Astrozor](#)

## 3 Problémy a jejich řešení

Dosud jsme narazili hned na několik problémů, které ovlivnili naše další rozhodování a realizaci. Mezi ně patří:

- Potíže s legislativou - omezení týkající se povolení vypuštění balónu. Jedná se předně o omezení váhová a materiálová.
- Nemožnost použití vodíku - tato možnost byla jednoduše vyloučena.
- Baterie a jejich odolnost vůči mrazu - navrhováno několik variant, v současné době ještě nemáme vybránu jednu konkrétní.
- Dostupnost materiálů - aktuálně potíže s dopravou tlakových lahví s héliem.

Navrhovaná řešení jednotlivých problémů jsou uvedena v technické části vždy u příslušné kapitoly.





Obrázek 5: Konstrukce ventilu plynové kartuše s héliem

## 4 Pneumatická část napouštěcího systému

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

Pro dávkování nosného plynu do balónu byly uvažovány dva koncepty.

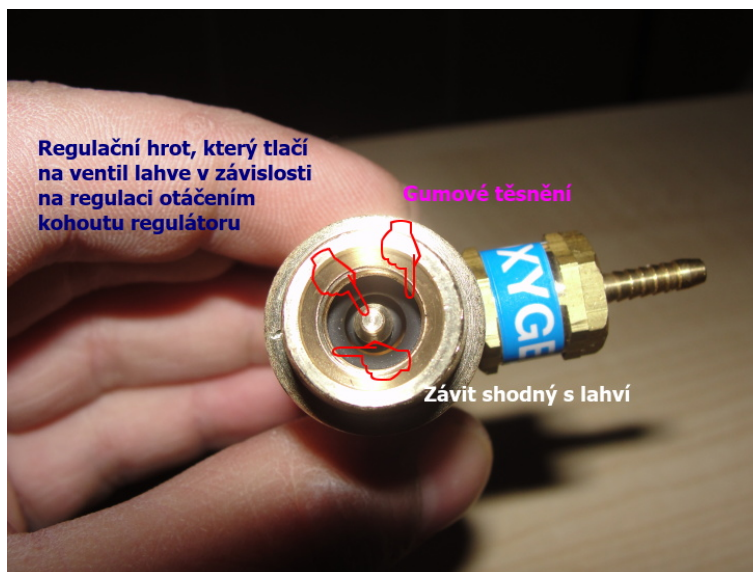
1. Použití jednorázové plynové kartuše naplněné právě potřebným množstvím plynu.
2. Použití opakovaně plnitelné tlakové lahve

### 4.1 Tlaková nádoba

Pro první případ uvažující jednorázovou plynovou náplň byla vybrána tlaková nádoba zobrazena na obrázku 5. 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 6





Obrázek 6: Redukční ventil

Ten kromě kuželu a přítlačné pružiny obsahuje ještě i zpětný ventil s hadičníkem, který lze z těla redukčního ventilu odšroubovat.

Pro konstrukci prototypu napouštěče balónu jsme ale potřebovali 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

Toto uspořádání má značnou nevýhodu, že helium je pod stálým tlakem ve značném objemu aparatury a vlivem netěsností a difuze skrz materiály s nízkou hustotou, jako jsou například hadice, nebo pryžová těsnění z ní tak 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. Kdy tlak z původních 0,4 MPa klesl během několika desítek minut na 0,2 MPa. A pak dále přes noc až k nule. Hadice byla k regulačnímu ventilu a manometru připojena kvalitními nástrčnými šroubeními pro technické plyny se závity těsněnými teflonovou páskou.

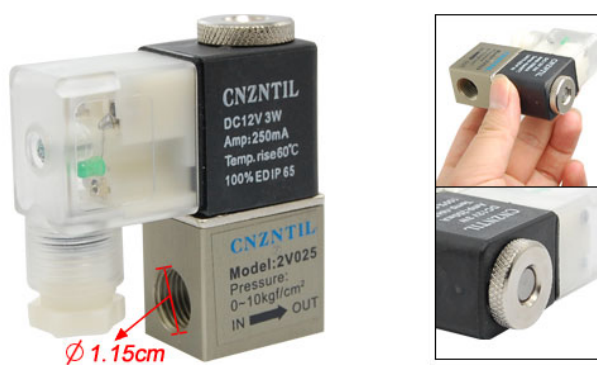
Je tedy jasné, že systém se stále otevřenou tlakovou lahví a regulačním ventilem nemůže být použit v produkční verzi zařízení, neboť nelze zaručit trvanlivost náplně v tlakové nádobě po delší dobu.







Obrázek 7: 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 8: Elektromagnetický dávkovací ventil



## Reference

- [1] například síť CEMeNt <http://cement.fireball.sk/>
- [2] radiosondy <http://www.radiosonde.eu/>, <http://www.radiosonda.sk/>
- [3] směrnice CoCom <http://en.wikipedia.org/wiki/CoCom#Legacyi>
- [4] projekt Mogul [http://cs.wikipedia.org/wiki/Projekt\\_Moguli](http://cs.wikipedia.org/wiki/Projekt_Moguli)
- [5] UBLOX. LEA-6 series [online]. 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.u-blox.com/en/gps-modules/pvt-modules/lea-6-family.html>
- [6] <http://www.chibios.org/dokuwiki/doku.php>

