



**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

**Ústav letadlové techniky**

**Kontejner pro expoziční biologický  
experiment na stratosférickém balonu**

**Exposure container for bio-experiment on  
a stratospheric balloon**

**Diplomová práce**

**2024**

**Libor Svoboda**

**Studijní program:** LETECTVÍ A KOSMONAUTIKA

**Studijní obor:** LETADLOVÁ A KOSMICKÁ TECHNIKA

**Vedoucí práce:** Mgr. Jaroslav Kousal, Ph.D.

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Svoboda** Jméno: **Libor** Osobní číslo: **503826**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav letadlové techniky**  
Studijní program: **Letectví a kosmonautika**  
Studijní obor: **Letadlová a kosmická technika**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Kontejner pro expoziční biologický experiment na stratosférickém balonu**

Název diplomové práce anglicky:

**Exposure container for bio-experiment on stratospheric balloon**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Proveďte rešenší biologických expozičních experimentů, zejména v prostředí stratosféry, popř. kosmického prostoru.
- 2) V součinnosti s vedoucím a externími konzultanty definujte klíčové vlastnosti pro návrh experimentu s expozicí (primárně) kultur řas na stratosférickém balonu.
- 3) Vytvořte koncepční návrh celého zařízení.
- 4) Vytvořte předběžný konstrukční návrh mechanické části kontejneru. Zaměřte se na minimalizaci hmotnosti experimentu.

Seznam doporučené literatury:

M. von Ehrenfried: Stratospheric Balloons - Science and Commerce at the Edge of Space, Springer Praxis Books, 2021  
+ další literatura dle doporučení vedoucího

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

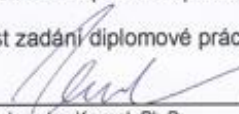
**Mgr. Jaroslav Kousal, Ph.D. ústav letadlové techniky FS**


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

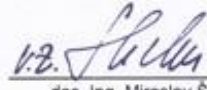
Datum zadání diplomové práce: **27.10.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **09.01.2024**

Platnost zadání diplomové práce:

  
Mgr. Jaroslav Kousal, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

  
Ing. Milan Dvořák, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

27.10.2023

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Kontejner pro expoziční biologický experiment na stratosférickém balonu“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce. Veškerá použitá literatura a zdroje jsou uvedeny v příloženém seznamu zdrojů.

V Praze 9.1.2024

Ing. Libor Svoboda

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu Mgr. Jaroslavu Kousalovi, Ph.D., za odborné rady, připomínky a vedení práce. Dále bych chtěl bych poděkovat RNDr. Janě Kvíderové, Ph.D., z Botanického ústavu Akademie věd ČR a RNDr. A Tomáši Petráskovi PhD., z Fyziologického ústavu Akademie věd ČR za odborné konzultace.

## Anotační list

Název práce: Kontejner pro expoziční biologický experiment na stratosférickém balonu

Název práce v angličtině: Exposure containment for bio-experiment on stratospheric balloon

Rok zpracování: 2024

Studijní program: Letectví a kosmonautika

Ústav: Ústav letadlové techniky

Vedoucí práce: Mgr. Jaroslav Kousal, PhD.

Rozsah: počet stran 98

počet obrázků 52

počet tabulek 3

počet příloh 4

Klíčová slova: Stratosférický, Konceptní návrh zařízení, tlakové čidlo, kultury řas, konstrukční návrh

Key words: Stratospheric, Conceptual design of equipment, pressure sensor, algae cultures, structural design

Anotace: Tato práce se zabývá návrhem kontejneru pro expoziční biologický experiment na stratosférickém balonu. V úvodu je představena problematika biologických expozičních experimentů. Dále je provedena rešerše čtyř experimentů, které byly uskutečněny v zahraničí a v České republice. Je

proveden koncepční návrh celého zařízení. Konstrukční návrh mechanické části kontejneru sestává z volby základních rozměrů a rozmístění jednotlivých součástí.

Abstract:

This work deals with the design of a container for an exposure experiments is presented. Furthermore, a search is made of four experiments that were carried out abroad and in the Czech Republic. A conceptual design of the entire device is carried out. The structural design of the mechanical part of the container consists of the choice of basic dimensions and the distribution of individual components.

# Obsah

<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>13</b>
<b>2 BIOLOGICKÉ EXPOZIČNÍ EXPERIMENTY .....</b>	<b>15</b>
2.1 E-MIST .....	15
2.1.1 Vzorky .....	15
2.1.2 Užitečné zatížení .....	16
2.1.4 Postupy pro pozemní a letový provoz .....	19
2.1.5 E-MIST-vyhodnocení.....	19
2.2 MARSBOX.....	20
2.2.1 Užitečné zatížení .....	21
2.2.2 Stratosférický letový experiment.....	23
2.2.3 Profil letu balónem .....	25
2.2.4 Zpracování po letu.....	26
2.2.5 Marsbox-vyhodnocení.....	27
2.3 BIOPAN A EXPOSE.....	27
2.3.1 BIOPAN .....	27
2.3.2 EXPOSE.....	29
2.3.3 Biopan a Expose - vyhodnocení.....	30
2.4 StratoBox.....	31
2.4.1 Cíl projektu.....	31
2.4.2 Letový experiment.....	32
2.4.3 Stratobox-vyhodnocení.....	33
2.5 Stratocaching.....	34
2.5.1 Balon a letový profil.....	34
2.5.2 Gondola Dropion .....	35
2.5.3 Stratocache .....	35
2.5.4 Dropion 2.....	36
2.5.6 Stratocaching-vyhodnocení .....	38
2.6 Závěr řešerše .....	38
<b>3 KONTEJNER PRO EXPOZIČNÍ BIOLOGICKÝ STRATOSFÉRICKÝ EXPERIMENT .....</b>	<b>40</b>
3.1.Koncepční návrh kontejneru .....	41

3.1.1 Neřízený balón.....	41
3.1.2 Napájení za letu .....	43
3.1.3 Potřebná kapacita.....	43
3.1.4 Umístění vzorků na kontejneru .....	43
3.1.5 Integrace vzorků .....	44
3.1.6 Uložení zařízení v kontejneru.....	44
3.1.7 Ovládání zařízení a úložiště dat.....	44
3.1.8 Záznam provedení experimentu .....	44
3.1.9 Servomotor .....	45
3.1.10 GPS modul.....	45
3.1.11 Izolace.....	45
3.1.12 Čidlo tlaku .....	46
3.1.13 Čidlo teploty .....	46
3.1.14 Senzor UV záření .....	46
3.1.15 Senzor VIS viditelného světla .....	46
3.1.16 Hmotnost použitého zařízení .....	47
3.1.17 Lineární servo .....	47
3.1.18 Návrátové zařízení.....	47
3.2 Konstrukční návrh kontejneru.....	48
3.2.1 Použitý balón .....	49
3.2.3 Baterie.....	49
3.2.4 Umístění krabiček se vzorky .....	50
3.2.5 Použité krabičky pro vzorky.....	51
3.2.6 Vnitřní prostor kontejneru .....	51
3.2.7 Arduino Nano R3 .....	52
3.2.8 Instalace kamery ve flash disku.....	53
3.2.9 Servo STX 5 .....	54
3.2.10 GPS Lokátor TKSTAR.....	55
3.2.11 Materiál stěny kontejneru .....	56
3.2.12 Čidlo tlaku .....	69
3.2.13 Platinový teplotní senzor PT1000 .....	70
3.2.14 Senzor UVB/UV záření ML8511 .....	71
3.2.15 Senzor VIS světla .....	71
3.2.17 Hmotnost kontejneru se zařízením .....	73
3.2.18 Návrh a umístění návratového zařízení .....	75
3.2.19 Provozní parametry přístrojů a blokové schema .....	80
3.3 Postup montáže kontejneru .....	81
3.4 Umístění zařízení na kontejneru.....	83
3.5 Provoz kontejneru .....	84
<b>4. ZÁVĚR .....</b>	<b>84</b>
Seznam zdrojů .....	86



<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>90</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>92</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>93</b>
<b>Přílohy.....</b>	<b>94</b>

## Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotka	Název
$\dot{Q}_P$	[W]	tepelný tok stěnou kontejneru
$A_K$	[m <sup>2</sup> ]	plocha vnitřního prostoru kontejneru
$T_{in}$	[K]	teplota uvnitř kontejneru
$T_{ex}$	[K]	teplota vně kontejneru
K	[-]	součinitel prostupu tepla
$\alpha_{in}$	[W/m <sup>2</sup> K]	součinitel přestupu tepla mezi vnitřní stěnou a mezní vrstvou vzduchu
$\delta_k$	[m]	tloušťka stěny kontejneru
$\lambda$	[W/m <sup>2</sup> K]	součinitel tepelné vodivosti stěny kontejneru
$\alpha_{ex}$	[W/m <sup>2</sup> K]	součinitel přestupu tepla mezi vnější stěnou a mezní vrstvou vzduchu
$N_u$	[-]	Nusseltovo číslo
L	[m]	charakteristický rozměr
$\lambda$	[W/mK]	součinitel tepelné vodivosti
$Re$	[-]	Reynoldsovo číslo
$Pr$	[-]	Prandtlovo číslo
$v$	[m.s <sup>-1</sup> ]	rychlost proudění vzduchu
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	hustota vzduchu
$\nu$	[m <sup>2</sup> /s]	kinematická viskozita
$\eta$	[N.s/m <sup>2</sup> ]	dynamická viskozita
$c_p$	[kJ/kg.K]	měrná tepelná kapacita
$\dot{Q}_E$	[W]	tepelný tok emisivitou
$\epsilon$	[-]	součinitel emisivity
A	[m <sup>2</sup> ]	plocha kontejneru
$\sigma$	[J/K]	Boltzmannova konstanta
$T_{k,ex}$	[K]	teplota vnější stěny kontejneru
$\dot{Q}_A$	[W]	tepelný tok absorpcí slunečního záření
$\epsilon_A$	[-]	součinitel absorpce

$A_s$	$[m^2]$	plocha kontejneru ozářená sluncem
$S_D$	$[W/m^2]$	intenzita přímé sluneční radiace
$S_0$	$[W/m^2]$	sluneční konstanta
$Z$	$[-]$	součinitel znečištění ovzduší
$H$	$[^\circ]$	výška nad obzorem
$\Delta$	$[^\circ]$	sluneční deklinace
$T$	$[h]$	sluneční čas
$Q$	$[J]$	celkový tepel. tok stěnou kontejneru
$m_i$	$[kg]$	hmotnosti jednotlivých zařízení uvnitř kontejneru
$c_i$	$[kJ/kg.K]$	měrné tepelná kapacita součástí uvnitř kontejneru
$\Delta T_{in}$	$[K]$	rozdíl teploty uvnitř kontejneru
$Q_{Tst}$	$[W]$	tepelný výkon ve stratosféře
$\Delta T_{sv}$	$[K]$	rozdíl teplot ve stratosféře a při startu
$Q_{Tv}$	$[W]$	tepelný výkon během výstup
$W_{Tst}$	$[Wh]$	elektrická energie ve stratosféře
$t_{st}$	$[s]$	čas ve stratosféře
$W_{Tv}$	$[Wh]$	elektrická energie během výstupu
$t_v$	$[s]$	čas během výstupu
$W_C$	$[Wh]$	celková elektrická energie
$C$	$[Ah]$	elektrická kapacita
$U_{\text{čl}}$	$[V]$	napětí článku
$C_{1,min}$	$[Ah]$	elektrická kapacita jednoho článku
$W_{1\text{čl}}$	$[Wh]$	elektrická energie jednoho článku
$W_{3\text{čl}}$	$[Wh]$	elektrická energie jednoho článku
$P_{min}$	$[W]$	minimální výkon
$U_{min}$	$[V]$	minimální napětí
$I_T$	$[A]$	proud topného segmentu
$R_{TZ}$	$[\Omega]$	odpor zkráceného topného segmentu
$R_{TC}$	$[\Omega]$	odpor celého topného segmentu
$G_{TZ}$	$[S]$	vodivost zkráceného topného segmentu
$G_{TC}$	$[S]$	vodivost celého topného segmentu
$L_{TP}$	$[\%]$	poměrná část délky topného segmentu

$R_{1T}$	[ $\Omega$ ]	odpor jedné části topného segmentu
$A_p$	[ $m^2$ ]	plocha padáku
$M_{uz}$	[kg]	hmotnost užitečné zátěže
$g$	[ $m \cdot s^{-2}$ ]	gravitační zrychlení
$\rho_{vz}$	[ $kg/m^3$ ]	hustota vzduchu
$C_d$	[-]	odpor padáku
$v_{pk}$	[ $m \cdot s^{-1}$ ]	rychlost při přistání kontejneru
$F_x$	[N]	rázová síla při otevření padáku
$(C_D S)_p$	[ $m^2$ ]	plocha padáku
$Q$	[Pa]	dynamický tlak
$C_x$	[-]	koeficient podle tvaru padáku
$X_1$	[-]	zmírňující koeficient
$v_{op}$	[ $m \cdot s^{-1}$ ]	rychlost při otevření padáku

# 1 ÚVOD

Extremofil je organismus, který je tolerantní k extrémům životního prostředí a který se vyvinul tak, aby optimálně rostl za jedné nebo více z těchto extrémních podmínek. Extremofilní organismy jsou primárně prokaryotické (archaea a bakterie), s několika eukaryotickými příklady. [17] Extremofily jsou definovány podmínkami prostředí, ve kterých optimálně rostou. Organismy mohou být popsány jako acidofilní (optimální růst mezi pH 1 a pH 5); alkalifilní (optimální růst nad pH 9); halofilní (optimální růst v prostředí s vysokou koncentrací soli); termofilní (optimální růst mezi 60 a 80 °C); hypertermofilní (optimální růst nad 80 °C); psychofilní (optimální růst při 15 °C nebo nižší, s maximální tolerantní teplotou 20 °C a minimálním růstem při nebo pod 0 °C); piezofilní nebo barofilní (optimální růst při vysokém hydrostatickém tlaku); oligotrofní (růst v nutričně omezeném prostředí); endolitické (růst v hornině nebo v pórech minerálních zrn); a xerofilní (růst v suchých podmínkách, s nízkou dostupností vody). Některé extremofily jsou adaptovány současně na více namáhání (polyextremofilní); běžné příklady zahrnují termoacidofily a haloalkalifily. Extremofily jsou biotechnologicky zajímavé, protože produkují extremozymy, definované jako enzymy, které jsou funkční za extrémních podmínek. Extremozymy jsou užitečné v postupech průmyslové výroby a výzkumných aplikacích, protože mají schopnost zůstat aktivní za náročných podmínek (např. vysoká teplota, tlak a pH), které se v těchto procesech typicky používají. Studium extremofilů poskytuje pochopení fyzikálně-chemických parametrů definujících život na Zemi a může poskytnout pohled na to, jak život na Zemi vznikl. Postulace, že na primitivní Zemi existovaly extrémní podmínky prostředí a že život vznikl v horkém prostředí, vedly k teorii, že extremofily jsou pozůstatky prvotních organismů, a jsou tedy modely starověkého života. Extremofily mají výzkumný význam také v oblasti astrobiologie. Extremofily, které jsou aktivní při nízkých teplotách, jsou v této oblasti obzvláště zajímavé, protože většina těles ve sluneční soustavě je zamrzlá. Objev mikroorganismů s neobvyklými biochemickými vlastnostmi, jako je schopnost využívat ke svému růstu arsen místo fosforu, je také zajímavý pro astrobiologii, protože mimozemská prostředí mohou upřednostňovat formy života, které využívají nebo jsou vytvořeny z prvků, které se v životě obvykle nenacházejí na Zemi. Pochopení limitů života na Zemi tedy poskytuje vědcům informace o možné existenci

mimozemského života a poskytuje vodítko o tom, kde a jak hledat život na jiných slunečních tělesech. [1], [2]

Zjištění limitů přežívání pozemských (mikro)organismů je jeden z cílů astrobiologie, tato data pomáhají s odhadem obyvatelnosti planet a měsíců, i s plánováním postupů planetární ochrany. Pro stanovení limitů přežívání se používají různé typy experimentů, mezi něž patří i expoziční experimenty ve stratosféře i ve vesmíru. Cílem je nejprve vybrat správný organismus. Pro něj je třeba vyvinout kontejner s expozičními komorami. Další studie této povahy mohou umožnit modely přežití pro mikroby cestující v horní atmosféře Země. Navíc měření odolnosti mikrobů spojených s kosmickou lodí v extrémních výškách může pomoci předpovědět jejich odezvu na povrchu Marsu. Střední stratosféra Země, asi 25 až 40 km nad mořem, připomíná povrchové podmínky Marsu, proto bychom mohli při letových stratosférických experimentech získat lepší porozumění přežití pozemských mikrobů na marsovských přistávacích modulech. Dále data z experimentů přežití by mohla přispět modely pro bioaerosoly přenášené na globálně cirkulujících větrech, což je životně důležité pro globální potravinové zabezpečení. [3]

## 2 BIOLOGICKÉ EXPOZIČNÍ EXPERIMENTY

### 2.1 E-MIST

Přežití a tranzit mikroorganismů v horní atmosféře Země je relevantní pro pozemské ekologie a astrobiologie. Proto bylo navrženo zařízení vystavující mikroorganismy ve stratosféře E-MIST. Vypuštěno bylo ve velkém vědeckém balónu z Nového Mexika 24. srpna 2014. Let ukazoval funkčnost E-MIST ve stratosféře, včetně mikrobiologických postupů a celkového výkonu přístroje. Vlastnosti E-MIST ukazují, že je možné provést přísně kontrolovaný mikrobiologický experiment ve stratosféře při sběru příslušných environmentálních dat. Mikroorganismy v horních vrstvách atmosféry jsou schopny dosahování vysokých nadmořských výšek silnými vztlakovými silami. Převládající větry mohou propojit vzdálené biomy Země a dobu zdržení v horních vrstvách atmosféry. Dochází tak k širší kombinaci vlivů na mikroby mimo rozsah běžných podmínek vyskytující se na povrchu (např. nižší tlak, vyšší ozáření, vysychání a oxidace). Letecký provoz může vyvolat výjimečné typy buněčného poškození nebo mutace. Některé bakterie nalezené v atmosféře mají rysy, které by mohly zlepšit vytrvalost buněk, opravu DNA a schopnost tvorby endospor. Zatímco mikrobiální přežití bylo zkoumáno pomocí komory pro simulaci prostředí a v malých meteorologických balónech, více komplexní jsou platformy pro řízené, dlouhodobé experimenty v horních vrstvách atmosféry. Studium mikrobiálního přežití v horní části atmosféry představuje dvě základní výzvy. Za prvé, odstranění potenciálních vlivů před letem a během výstupu, sestupu a přistání. Za druhé, udržování aseptických podmínek v uzavřeném prostoru systému užitečného zatížení pro zachování integrity testu. [4]

#### 2.1.1 Vzorky

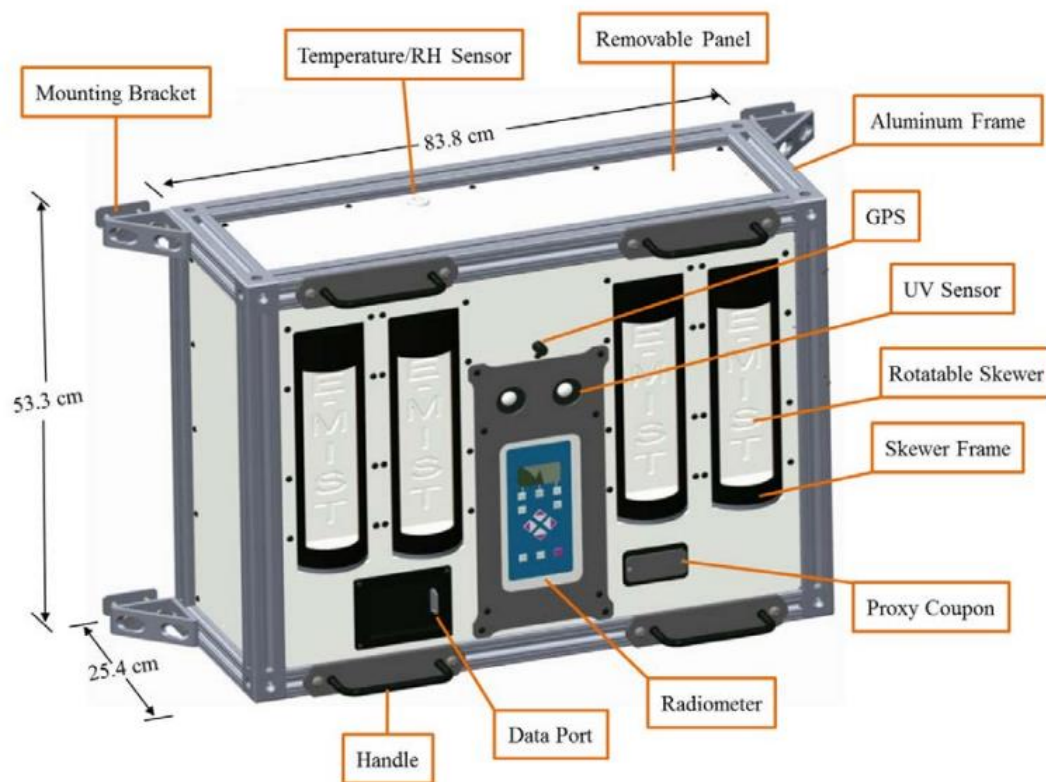
Byl použit *Bacillus pumilus* SAFR-032, původně izolovaný ze zařízení kosmické lodi v Jet Propulsion Laboratory. Kmen byl vhodným modelem mikroorganismu pro naši studii, protože odolnost jeho spor vůči extrémním podmínkám prostředí je dobře zdokumentována, je k dispozici genomická transkriptomická a proteomická analýza. Spory *Bacillus* se běžně vyskytují v horních vrstvách atmosféry. *Bacillus pumilus* SAFR-

032 byly původně pěstované na tryptickém sojovém agaru a inkubované při 32 °C po dobu 24 hodin. Zásoba spor byla resuspendována ve sterilní deionizované vodě, vystavena teplotnímu šoku (80 °C po dobu 15 minut) a skladována při koncentraci 108 CFU/ml (jednotky tvořící kolonie) ve skleněných zkumavkách při 4 °C. Pro vytvoření jednotné monovrstvy spor na hliníkové destičce, byly zředěné vzorky roztoku nanášeny na povrch a ponechány zaschnout po dobu 4 hodin v tmavé digestoři s laminárním prouděním ve standardní místnosti při teplotě 25 °C a tlaku 1013 mbar. Všechny destičky byly přes noc sterilizovány v peci na sucho při 130 °C a ochlazeny na 24 °C. [4]

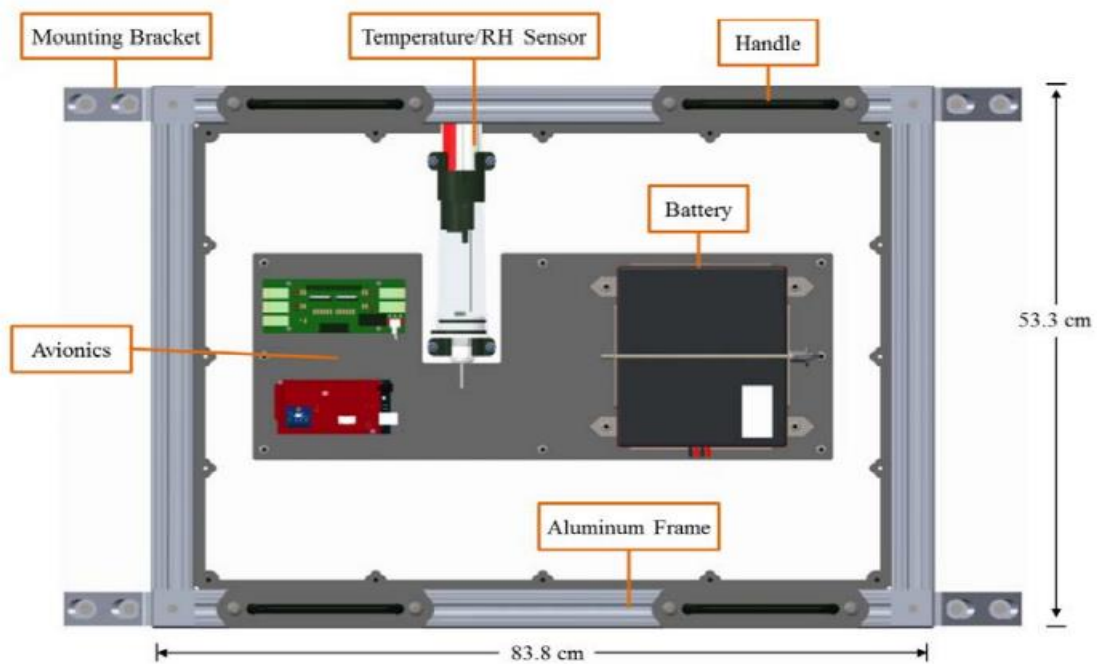
### 2.1.2 Užitečné zatížení

Exponování mikroorganismů ve stratosféře bylo umístěno na vnější stranu stratosférické balonové gondoly. Zařízení má čtyři nezávislé válce otočné o 180 °C pro vystavení vzorků ve stratosféře. Během výstupu nebo sestupu vzorky zůstaly uzavřeny v tmavých válcích při 25 °C. Každý válec je v hliníkovém rámu a nese deset samostatných, obdélníkových hliníkových destiček se vzorky spor uloženými na povrchu. Rozměry destiček byly 5,40 cm x 1,75 cm x 0,51 cm, včetně otvorů o průměru 0,28 cm na koncích pro montáž na válce. Hřídel uvnitř každého válce je připojena k převodovému systému poháněného motorem. Motory a ozubená kola drží pohromadě rám z hliníku s výřezy. Konzoly na zadní straně rámu byly použity k montáži na balonovou gondolu. Senzory, přístroje a počítač byly zabudovány do krytu. Ve středu systému byl samostatný radiometr se dvěma UV senzory, která měřila úroveň UV záření každých pět minut. Přední panel obsahoval dvě univerzální sériové sběrnice s USB porty. Systém GPS určuje zeměpisnou šířku a délku, pokud je letový počítač zapnutý. Mezi další hlavní součásti užitečného zatížení patří výškoměr, tři topná tělesa o výkonu 8,5 W, teplotní čidlo a čidlo vlhkosti. Napájení bylo generováno 14,8 V 25,2 Ah lithium-iontovou baterií o kapacitě 25,2 Ah, upevněnou pomocí držáku baterie. Topná tělesa byla použita, aby se za letu udržely senzory a nástroje uvnitř požadovaného rozsahu provozních teplot. Tepelný výkon byl řízen letovým počítačem. [4]

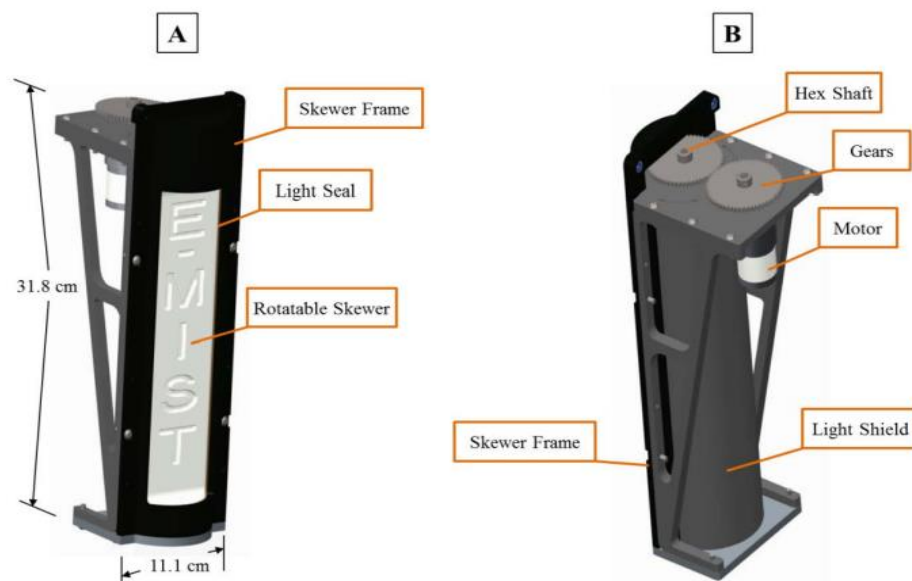




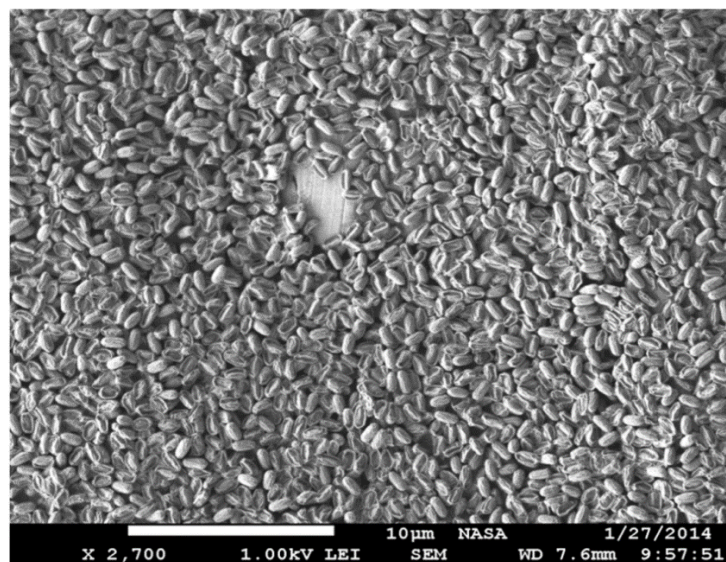
Obrázek č.1: Užitečné zatížení, namontované na vnější straně velké gondoly stratosférického balónu. Hmotnost užitečného zatížení byla 36 kg. [4]



Obrázek č.2: Čelní pohled na užitečné zatížení E-MIST s odstraněným předním panelem. Jsou zobrazeny komponenty, letový počítač, zdroj napájení a snímače teploty/relativní vlhkosti. [4]



Obrázek č.3: Model válce E-MIST. Dovnitř byly zapuštěny čtyři nezávisle rotující válce řízené letovým počítačem. Lehké těsnění a štít na každém válci zajistily, že expozice vzorku mikrobů byla omezena na cílovou nadmořskou výšku. Tato konstrukce minimalizovala vliv vnějšího prostředí během jiných letových činností (např. start, stoupaní, klesání a zotavení). Panel A ukazuje přední stranu, zatímco panel B zobrazuje motor a převodový systém na zadní straně každého válce. [4] (upravený překlad z originálu)



Obrázek č.4: Distribuce spor *Bacillus pumilus* SAFR-032 na vzorkové destičce E-MIST. Každá destička obsahovala přibližně  $1 \times 10^6$  spor. Povrch hliníkové destičky je viditelný v kruhové mezeře mezi spory. Měřítka na rastrovacím elektronovém mikrosnímku je 10  $\mu\text{m}$ . [4] (upravený překlad z originálu)

## 2.1.4 Postupy pro pozemní a letový provoz

Plně integrovaný zkušební let byl proveden ve velkém vědeckém balónu. Gondola byla vynesena do stratosféry balonem o  $10^5$  m<sup>3</sup> helia. Před letem byly destičky se vzorky instalovány na základní desky válců pomocí sterilních šroubů, šroubováku a kleští. Postup instalace byl prováděn za úsvitu za dobu 10 minut, což omezuje expozici vzorků na světlo a čerstvý vzduch. Celý povrch užitečného zatížení byl před instalací ořten isopropylem. Před montáží destiček byl dovnitř každého válce nastříkán sterilní vzduch. Nainstalované vzorky byly otočeny zpět do uzavřené polohy a ostatní nástroje uvnitř E-MIST byly zapnuty. Vzorky *Bacillus pumilus* SAFR-032 zůstaly v utěsněné poloze, dokud užitečné zatížení nedosáhlo nižší stratosféry (~20 km), v tomto bodě letový počítač otočil válci do venkovní polohy. Po krátkém otočení (2 s) se všechny válce vrátily do uzavřené polohy, kde zůstaly po zbytek letu. Gondola zůstala v letové výšce 37,6 km téměř 4 hodiny před začátkem 23minutového sestupu na padáku. E-MIST byl vypnut, odstraněn z gondoly a udržován při okolních podmínkách uvnitř klimatizovaného vozidla. O týden později, vzorky byly odeslány zpět do NASA Kennedy Space Center (KSC). Během zkušebního letu byly měřeny teplota, relativní vlhkost, atmosférický tlak a úroveň UV záření. Každý válec nesl 10 destiček bakterie *Bacillus pumilus* SAFR-032, 9 lícem nahoru a 1 obrácenou. Destičky lícem nahoru měly vystaveny stratosférické expozici, včetně ozáření slunečním světlem; kdežto obrácené destičky byly podrobeny všem ostatním stratosférickým účinkům, kromě slunečního záření. Rotace válců trvala pouze 2 s. Dvě sady byly připraveny pro pozemní kontrolu destiček. Jedna sada byla převezena a další sada zůstala na KSC. Bylo důležité předcházet vlivu vnějšího prostředí. Jeden sterilní kontrolní vzorek byl také zahrnut, aby ukázal, zda byly vzorky chráněny před vnější kontaminací. [4]

## 2.1.5 E-MIST-vyhodnocení

U mise E-MIST zkušební let prokázal funkčnost a spolehlivost zařízení při vystavení organismů ve stratosféře. Získaná data mohou být cenná pro další výzkum. Při letu ve výšce 37,6 km kdy byla teplota vzduchu -67,5 °C, byla teplota avioniky uvnitř E-MIST -4,1°C. Nicméně některé přístroje nefungovaly správně. UV měření byla ztracena, protože samostatný radiometr byl vypnut během údržby užitečného zatížení. Získávání UV dat v experimentech bude kritické, protože studie prokázaly vztah mezi ozáření a bakteriální

inaktivací. Rotace válců se vzorky byla optimální. V zásadě budou destičky se vzorky dostávat téměř stejné množství slunečního světla, pokud se válce otáčejí rovnoměrně. Přerušovaný stíný gondoly, který přecházel přes válce byl dočasný, protože balón s gondolu byl neustále rotující.

## 2.2 MARSBOX

Aby se zjistilo, kde může život přežít mimo Zemi, zkoumaly experimenty v oblasti vesmírné biologie a astrobiologie reakce pozemských organismů na simulované a skutečné vesmírné podmínky. Pochopení mikrobiálních adaptací na izolované i kombinované extrémní environmentální stresory pomáhá stanovit limity života na Zemi, jak jej známe a určit, zda by organismy ze Země mohly přežít na Marsu a upřesnit hledání života v jiných mimozemských biotopech. S výjimkou mise Viking byl Mars doposud nedostupný pro provádění řízených biologických experimentů. Extrémní pozemská analogová prostředí byla proto široce používána k testování přístrojového vybavení a mikrobiálního přežití. Typicky se analogová prostředí Marsu nacházejí na zemském povrchu v oblastech, kde krajně dominuje sucho, teplotní extrémy a zvýšená radiace. Například McMurdo Dry Valleys v kontinentální Antarktidě a vysoko položené pouště v Austrálii a Jižní Americe jsou často navštěvovanými analogovými destinacemi. Vysoko nad zemským povrchem ve stratosféře však existuje další analogové prostředí Marsu, které představuje jedinečnou kombinaci environmentálních prostředí, které se více podobají podmínkám na Marsu. Ve střední stratosféře jsou během dne současně přítomny následující faktory podobné Marsu: intenzivní ultrafialové záření v celém spektru, vysokoenergetické ionizující záření, vysychání, hypoxie a ultranízké teploty a tlaky. Dohromady tyto kombinované podmínky nelze přirozeně nalézt nikde na povrchu Země a bylo by náročné je snadno reprodukovat v laboratorních experimentech. [5]

Dosažení střední stratosféry je relativně snadno dosažitelné ve srovnání se suborbitálními a orbitálními kosmickými lety. Vědecké balóny ve vysokých nadmořských výškách se používají již více než osm desetiletí ke studiu atmosféry a atmosférických jevů a v poslední době jsou využívány pro provádění experimentů s biologickou expozicí. V misi MARSbox je využíván vědecký balón pro let do střední stratosféry (~ 38 km) k vystavení mikroorganismů podmínkám stratosféry a měření jejich přežití

a metabolických reakcí při monitorování úrovně ionizujícího záření a dalších podmínek prostředí. Čtyři mikroorganismy relevantní pro astrobiologii a vesmírnou biologii byly umístěny do užitečného zatížení. Dva bakteriální extrémofily, *Salinisphaera shabanensis* a *Buttiauxella*, byly zahrnuty, aby otestovaly hypotézu, že pozemské mikrobiální kmeny, izolované z extrémních prostředí analogického Marsu, mohou odolat stresovým faktorům prostředí podobného Marsu. Houba *Aspergillus niger* a bakterie *Staphylococcus capitis* byly do této studie zahrnuty, protože se jedná o oportunní patogeny spojené s člověkem a oba byly dříve detekovány na Mezinárodní vesmírné stanici (ISS). Je tedy pravděpodobné, že budou cestovat na Mars ve vesmírných misích s posádkou. Navíc spory by mohly odolávat cestování vesmírem na vnější straně kosmické lodi, proto je pochopení jejich potenciálu přežití v prostředí podobném Marsu předmětem zájmu planetární ochrany. Konstrukce MARSBOxu byla kompatibilní pro transportního a expozičního boxu (Trex-Box) z evropského projektu MASE. Pro přizpůsobení atmosférickým podmínkám Marsu byl Trex-Box během mise naplněn směsí Marsu při tlaku 5-10 mbar. [5]

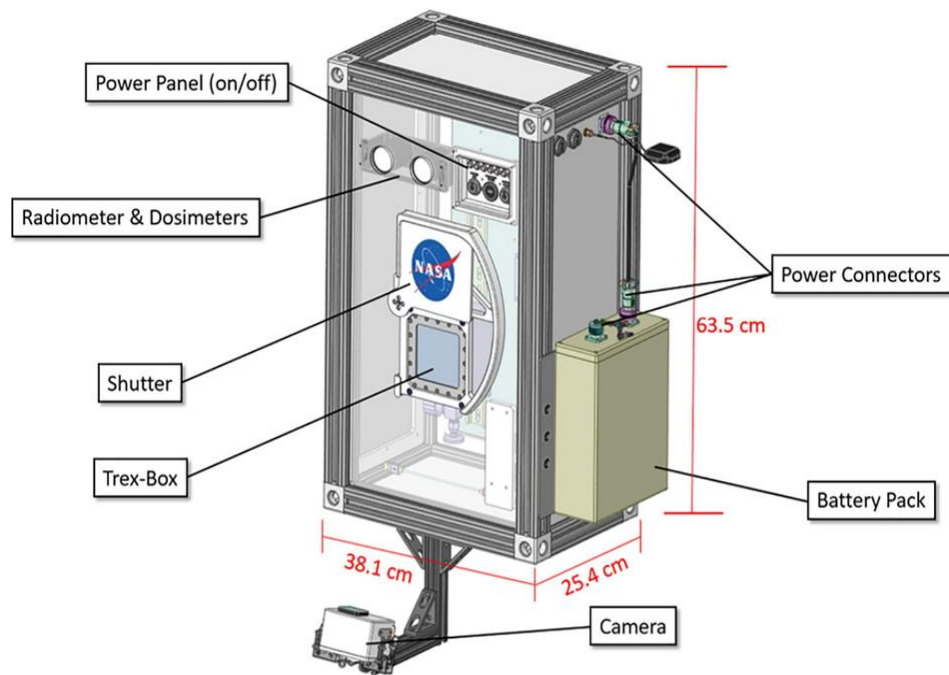


*Obrázek.5: Snímek z vrcholu užitečného zatížení MARSBOx a Trex-Box ve stratosféře během letu. [5]*

### **2.2.1 Užitečné zatížení**

Užitečné zatížení MARSBOx má rozměry 38,1 cm × 25,4 cm × 63,5 cm a hmotnost 18 kg. Bylo postaveno pro jednoduchou montáž a integraci do exteriéru velkých vědeckých balónových gondol. Biologické vzorky byly uzavřeny v tlakové, stíněné nádobě Trex-Box s otočnou clonou, která zabraňovala vystavení slunečnímu záření během výstupu a sestupu. Kryt Trex-Boxu bylo ze suprasilového skla, 8 mm silné,

s omezením průchodu 170 nm (s 0 % propustností) a fluoridem hořečnatým ( $MgF_2$ ), s limitem průchodu 110 nm. Během letu balónem kontroloval systém MARSBOX expozici UV záření tak, aby vzorky byly exponovány pouze ve stratosféře. Motory, ozubená kola byly drženy pohromadě rámem složeným z hliníkových dílů a 3 D tištěných ABS komponentů. T-drážkové hliníkové profily tvořily kostru užitečného zatížení s odnímatelnými hliníkovými panely s bílým práškovým nástřikem na každé straně MARSBOXu. K upevnění systému na gondolu balónu byly použity držáky na zadní desce. Datový port na předním panelu obsahoval micro-USB. Mezi další hlavní komponenty užitečného zatížení patřily tři tlakové senzory, čtyři teplotní senzory. Energie byla zajišťována lithium-iontovou baterií o napětí 14,8 V a kapacitě 25,2 Ah. MARSBOX může také využít přímé připojení ke zdroji energie balónové gondoly se vstupním rozsahem 9 V–36 V. Trex-Box lze naplnit plynem a utěsnit, což umožňuje uchovat trvalé složení plynu Marsu (0,17 %  $O_2$ , 95 %  $CO_2$ , 0,07 % CO, 2,6 %  $N_2$  a 1,9 % Ar) v průběhu experimentu při tlaku podobném na Marsu (7 mbar). Trex-Box umožnil testování čtyř různých mikroorganismů bez vzájemné kontaminace, protože každý organismus byl umístěn do jedné ze čtyř sekcí. [5]

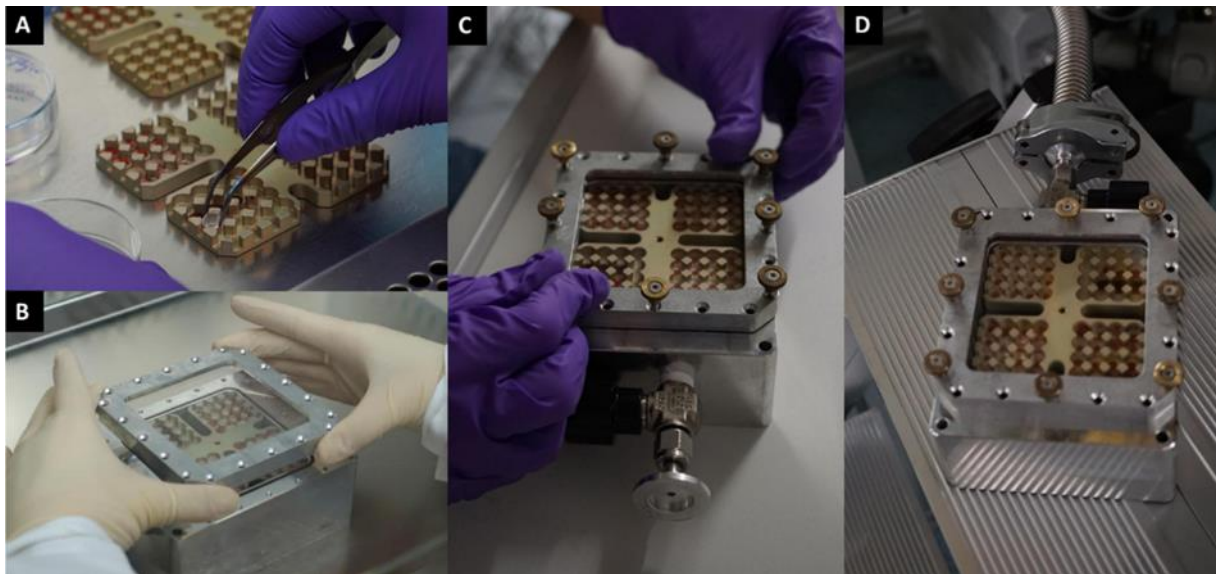


Obrázek č.6: Model s označením užitečného zatížení MARSBOx. [5]

## 2.2.2 Stratosférický letový experiment

Trex-Box se skládá ze dvou hliníkových 64 jamkového nosičů vzorků, z nichž každý obsahuje křemenné destičky s mikrobiálními vzorky, které byly buď vystaveny přímému stratosférickému UV záření (exponovaná vrchní vrstva) nebo chráněná proti UV záření (stíněná spodní vrstva). Křemenné destičky byly vlepeny do nosiče vzorků pomocí biokompatibilního vulkanizačního adheziva pro kosmické experimenty. Pro každou experimentální skupinu byly použity tři křemenné destičky pro pozemní laboratorní kontrolu a zůstaly v normálních atmosférických podmínkách při teplotě 22 °C až do analýzy. Během 5 měsíců trvání experimentu byly letové i kontrolní vzorky uchovávány vysušené na křemenných destičkách.

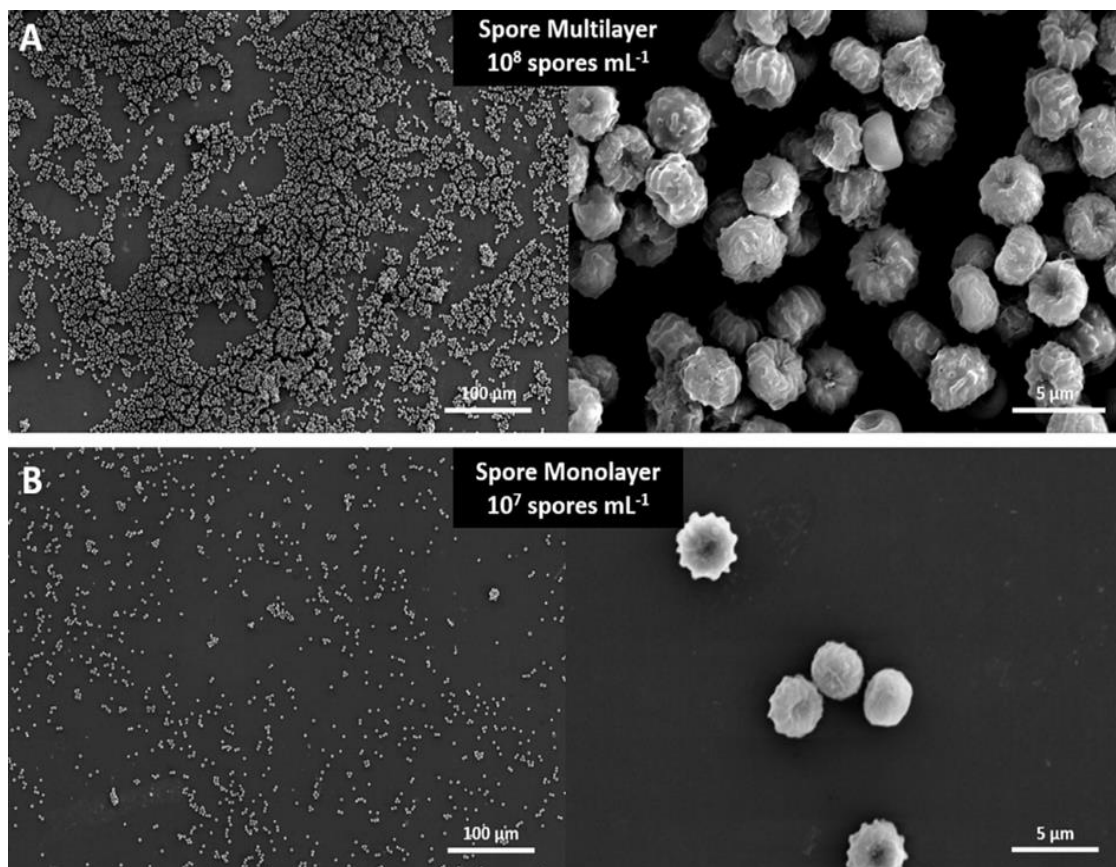




Obrázek č.7: A Křemenné destičky obsahující mikrobiální vzorky umístěné na Trex-Box; B zakrytí Trex-Boxu suprasilovým sklem, které umožňuje plnou expozici UV-VIS; C Utěsnění nádoby; D Zemská atmosféra je nahrazena směsí Marsu a plynu. [5] (upravený překlad z originálu)

Spory plísní *Aspergillus niger* a bakteriální buňky *Salinisphaera shabanensis*, *Staphylococcus capitis* a *Buttiauxella* sp. byly vloženy uvnitř užitečného nákladu MARSBOx naplněného umělou atmosférou Marsu a tlakem. Vysušené mikroorganismy byly buď vystaveny plnému UV-VIS záření (1148 kJ/m<sup>2</sup>) nebo byly před zářením odstíněny. Po 5hodinové stratosférické expozici byly vzorky testovány na přežití a metabolické změny. Spory z houby *A. niger* a bakterie *S. shabanensis* byly nejodolnější a *S. capitis* subsp. *capitis* přežil pouze experimentální podmínky chráněné proti UV záření. Výsledky potvrzují širokou variabilitu ve fenotypech přežití mikroorganismů spojených s kosmickou lodí a podporují hypotézu, že tyto organismy mohou být odolné vůči povrchu Marsu, pokud jsou neúmyslně doručeny misemi kosmických lodí. [5]

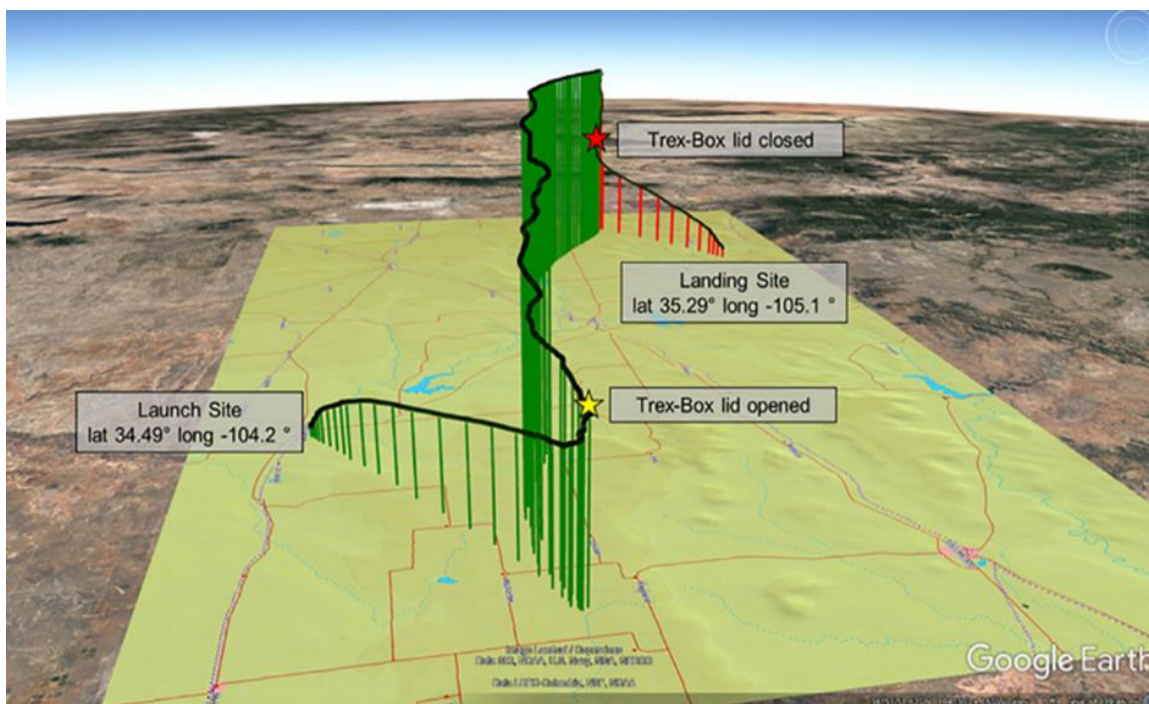




Obrázek č.8: Snímky spor *Aspergillus niger*. A) vícevrstvé ( $1 \times 10^8$  spor/ml) a B) monovrstvé ( $1 \times 10^7$  spor/ml). [5] (upravený překlad z originálu)

### 2.2.3 Profil letu balónem

Balón stoupal 2,5 hodiny, dokud nedosáhl průměrné nadmořské výšky 38,2 km, kde setrval 4 hodiny, následoval 35minutový sestup na padáku a přistál 172 km západně od místa startu. Expozice vzorku začala během stoupaní ve 21,4 km s otevřením závěrky Trex-Box a skončila o 5 hodin a 19 minut později uzavřením závěrky Trex-Box během klesání ve 22,0 km. Dozimetr byl zapnut, když bylo užitečné zatížení ve výšce 3,07 km, a zůstal zapnutý až do výšky 1,75 km nad místem přistání balónu.



Obrázek č.9: Dráha letu balónu s MARSBox. Hvězdičky označují otevírání a zavírání víka Trex-Boxu, což odpovídá začátku a konci expozice UV-VIS záření. [5]

## 2.2.4 Zpracování po letu

Po 5hodinové stratosférické expozici byly vzorky testovány na přežití a metabolické změny. Po doručení vzorků byl Trex-Box otevřen v anaerobní komoře, aby byla zajištěna konstantní nízká relativní vlhkost (<13 %). Křemenné destičky obsahující vysušené buňky a spory byly odejmuty z nosiče a umístěny do 2ml Eppendorfových zkumavek. Pro získání spor *A. niger* byly přidány 2 mm skleněné kuličky. Zkumavky byly vortexovány po dobu 30 s, aby se buňky oddělily od disku, a výsledná suspenze byla použita pro následné analýzy. Spory z houby *A. niger* a buňky bakterie *S. shabanensis* byly nejodolnější s 2 až 4 log redukcí. Exponované *Buttiauxella* sp. byla zcela inaktivována (jak s expozicí UV záření, tak bez ní) a *S. capitissubsp. capitis* přežil pouze experimentální podmínky chráněné proti UV záření (snížení o 3 log). [5]

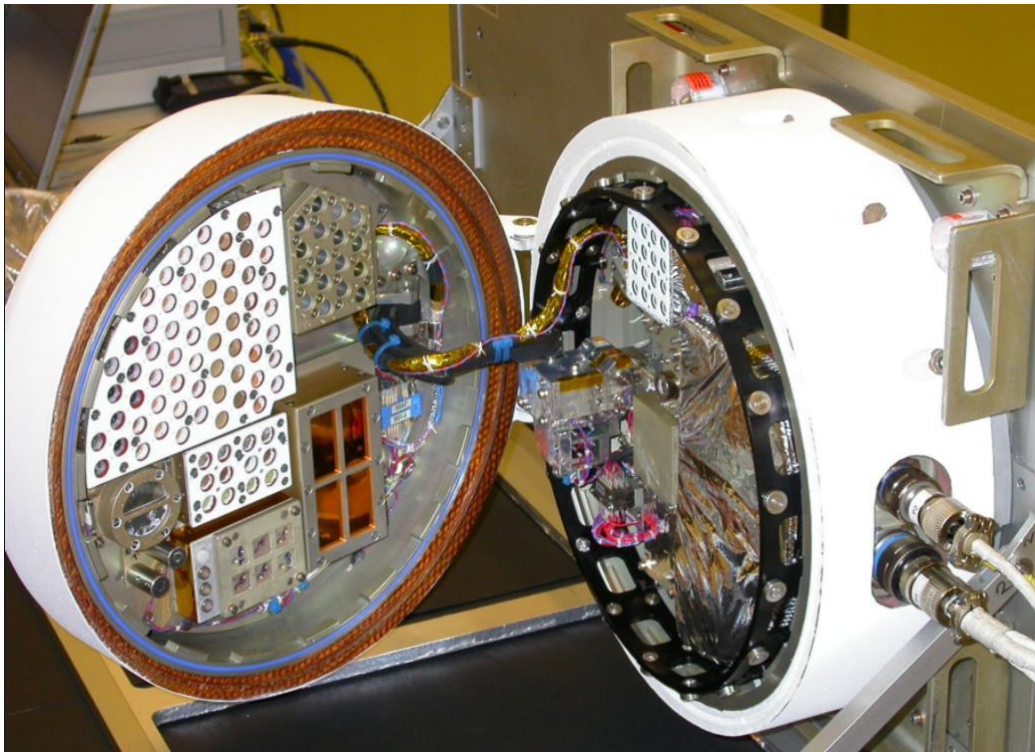
## 2.2.5 Marsbox-vyhodnocení

V misi Marsbox se ukázalo, že spory z houby *A. niger* a buňky z bakterie *S. shabanensis* byly nejodolnější. Exponované *Buttiauxella* byla zcela inaktivována a *S. capitissubsp. capitis* přežily pouze experimentální podmínky chráněné proti UV záření. Výsledky ukazují širokou variabilitu přežití mikroorganismů spojených s kosmickou lodí a podporují hypotézu, že tyto houby mohou být odolné vůči povrchu Marsu, pokud jsou neúmyslně doručeny misemi kosmických lodí. [5]

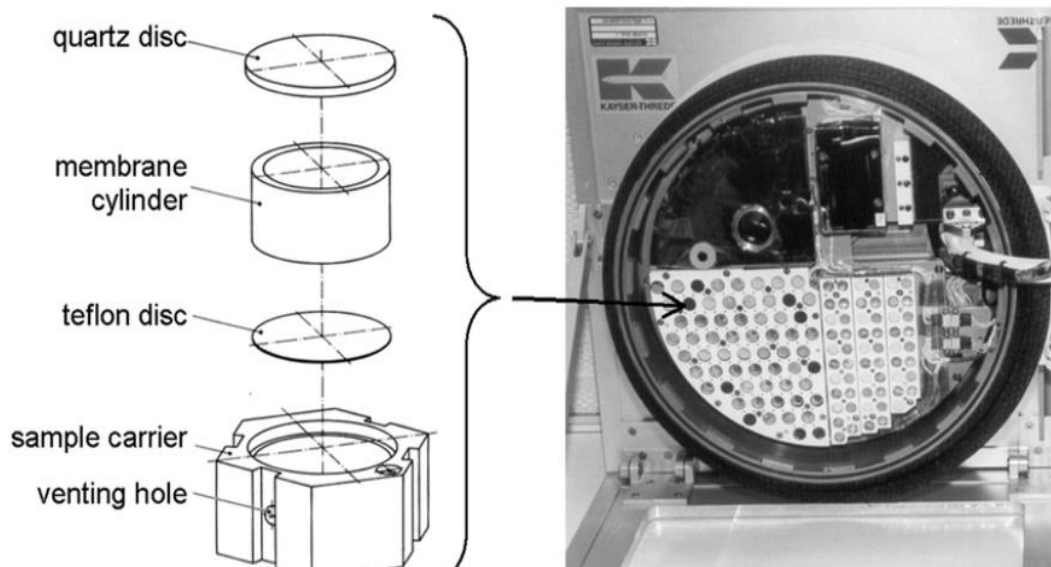
## 2.3 BIOPAN A EXPOSE

### 2.3.1 BIOPAN

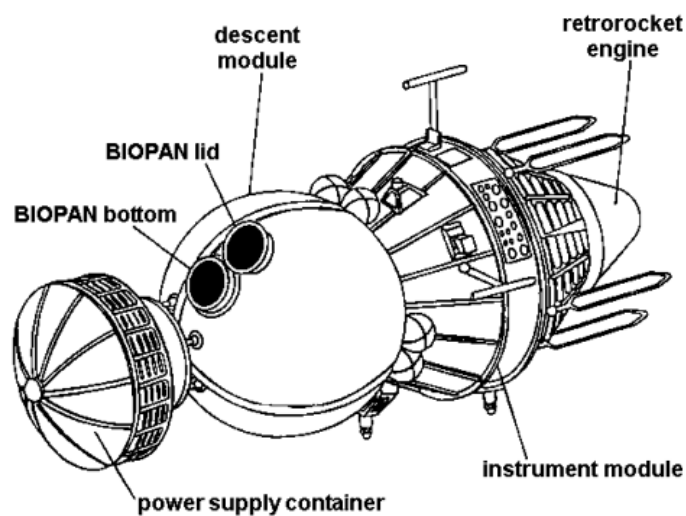
Evropská platforma pro expozici ve vesmíru, kterou pro ESA vyvinula společnost Kayser (Německo), která nabízí krátkodobé letové příležitosti (dvoutýdenní lety) pro astrobiologický výzkum na nízké oběžné dráze Země. Je navržen jako experimentální kontejner ve tvaru pánve, který lze připevnit na vnější povrch jeho nosiče, ruské kapsle FOTON. Obě zařízení, BIOPAN a EXPOSE jsou primárně navrženy k astrobiologickým experimentům a mohou podpořit výzkum života či organismů na jiných planetách s možností přenosu života mezi planetami. Dosud provedené experimenty s BIOPAN zahrnují bakteriální spory smíchané s půdní analogií Marsu k testování toxicity půdy Marsu při ozařování ve vesmíru slunečním UV zářením při úrovních dávek a vlnových délek srovnatelných s těmi na Marsu (experiment MARSTOX), vzorky permafrostové půdy s jejich vnořenými přírodními prastarými bakteriemi spory (experiment PERMAFROST) a lišejníky (experiment LICHENS) a kvasinky (experiment YEAST), kde se zkoumají biologické účinky nízkoenergetických protonů. Další experiment relevantní pro exo-astrobiologický výzkum na Marsu navržena pro další let BIOPAN v roce testoval součásti přístroje Life Marker Chip (LMC), analytického nástroje pro misi ESA ExoMars, zaměřenou na provádění detekce života. Tento přístroj bude testován během mise ve vesmírném prostředí, konkrétně na stabilitu molekulárních složek (protilátky a fluorescenční barviva) a integritu mikročipů při kosmickém letu. [6]



Obrázek č.10: BIOPAN otevřený během letu, aby vystavil experimenty prostředí vesmíru. [6]



Obrázek č.11: Hardware experimentu "SURVIVAL" umístěný uvnitř zařízení BIOPAN. Pohled na rozložený nosič vzorku. [6]

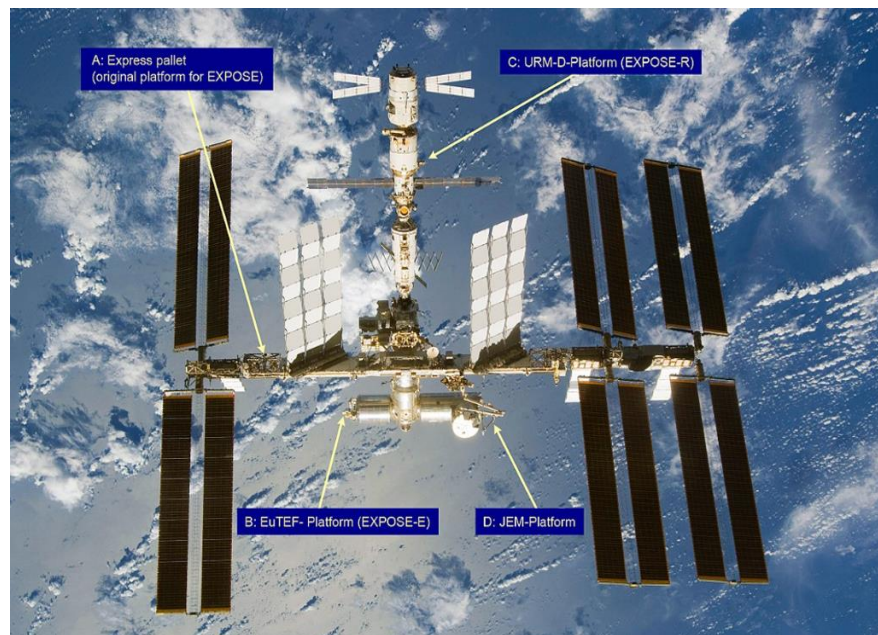


Obrázek č.12: Umístění BIOPANU na povrchu kapele FOTON [6]

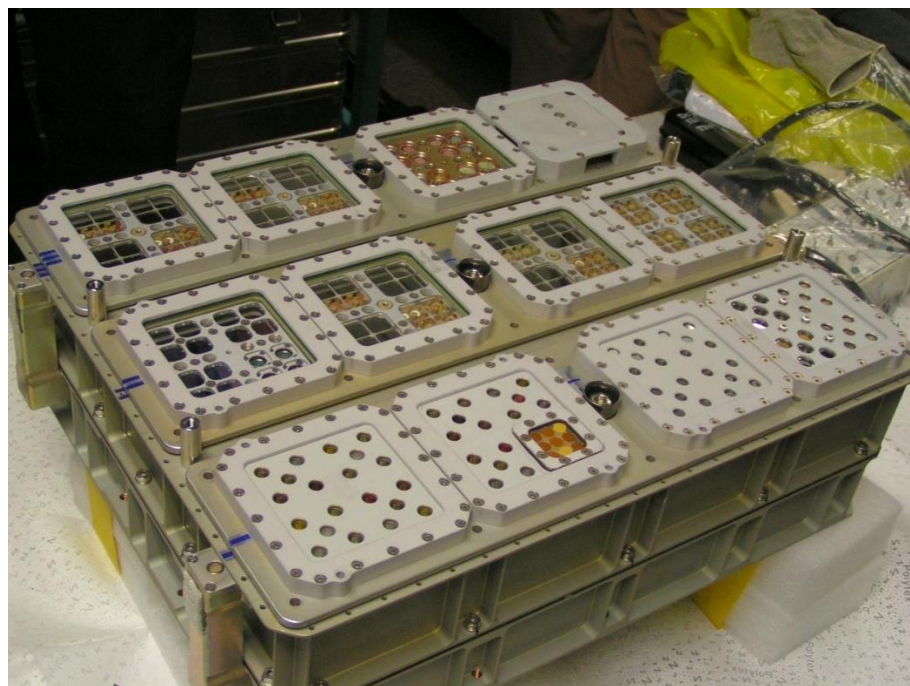
### 2.3.2 EXPOSE

Jde o víceúčelové zařízení umístěné na Mezinárodní vesmírné stanici (ISS) určené pro astrobiologii. EXPOSE byla vyvinuta Evropskou kosmickou agenturou (ESA) pro dlouhodobé lety do vesmíru a byla navržena tak, aby umožňovala vystavení chemických a biologických vzorků kosmickému prostoru a zároveň zaznamenávala data během expozice. EXPOSE má několik cílů, specifických pro každý experiment, ale všechny spojené s doménou astrobiologie. Jejich společným cílem je lépe porozumět podstatě a vývoji organické hmoty přítomné v mimozemském prostředí a jejich potenciálním důsledkům v astrobiologii. [7]





Obrázek č.13: Umístění EXPOSE na ISS. [7]



Obrázek č.14: EXPOSE je vybavena třemi deskami pro různé biologické vzorky

### 2.3.3 Biopan a Expose - vyhodnocení

Výsledky z Biopanu ukazují, že osmofilní mikrobi přežili 2týdenní expozici. Hlavní příčinou buněčné smrti bylo poškození DNA. Počet zlomů řetězce v DNA z buněk vystavených vakuu UV záření byl větší než buněk vystavených pouze vakuu. U Expose

byly vzorky uchovávané ve tmě, ale vystavené vesmírnému vakuu, měly  $90 \pm 5$  % míru přežití ve srovnání s pozemními kontrolami. U vzorků vystavených plnému UV záření po dobu více než rok nebylo zjištěno žádné přežití. Vzorky vystavené oslabenému UV záření vykazovaly omezené přežití. Výsledky této studie jsou relevantní pro pochopení adaptace a evoluce života a budoucnosti života mimo Zemi. Mají přínos pro pochopení meziplanetárního přenosu životaschopných mikrobů prostřednictvím meteoritů a prachových částic a kosmických lodí a fyziologii halofilů. [8]

## 2.4 StratoBox

### 2.4.1 Cíl projektu

V rámci mezinárodního projektu NEARSPACE CZ, ve spolupráci s projektem “Věda jede“ byla vypuštěna na začátku května 2022 k hranicím vesmíru stratosférická balónová sonda StratoBox 3.0 (navazující na projekt Stratobox 1.0) s experimenty žáků a studentů SŠ a VŠ, která vznikala ve spolupráci s předními odborníky na kosmické počasí, fyziku a chemii atmosféry, astrobiologii a dálkový průzkum Země. Projekt si klade za cíl ukázat atraktivní vědecká témata a možnosti nových technologií tak i příležitosti spojené s rozvojem kosmického průmyslu v ČR, ve vědě a výzkumu či sektoru inovačních high-tech firem a technologických start-upů. Na projektu se podílí vědci a inženýři z více než desítky pracovišť Akademie věd, vysokých škol a inovačního průmyslu. Sonda jejich experimenty vynesete na několik hodin až k hranicím vesmíru. Po přistání pak budou moci získaná data společně s námi vyhodnotit. Vývoj robotické sondy zajišťuje v rámci svých vzdělávacích aktivit Talent centrum průmyslu 4.0 – Technecium. Základem byl výběr organismu, kterým byly řasy *parachlorella kessler* CCALA 253. Letový experiment byl umístěn na expoziční destičce, která byla vynesena balonem do stratosféry. Čidla na gondole vysílala údaje o faktorech. Životaschopnost řasy byla prověřena vizuálně fluorescenčním měřením, které měří aktivitu fotosystému. Z kvantového výtěžku se zjistí životaschopnost řasových kolonií. Cílem bylo experiment opakovat s vylepšenou metodikou pro získání dalších dat a zvýšení relevance výzkumu. [11]

## 2.4.2 Letový experiment

Experiment byl rozdělen na tři části:

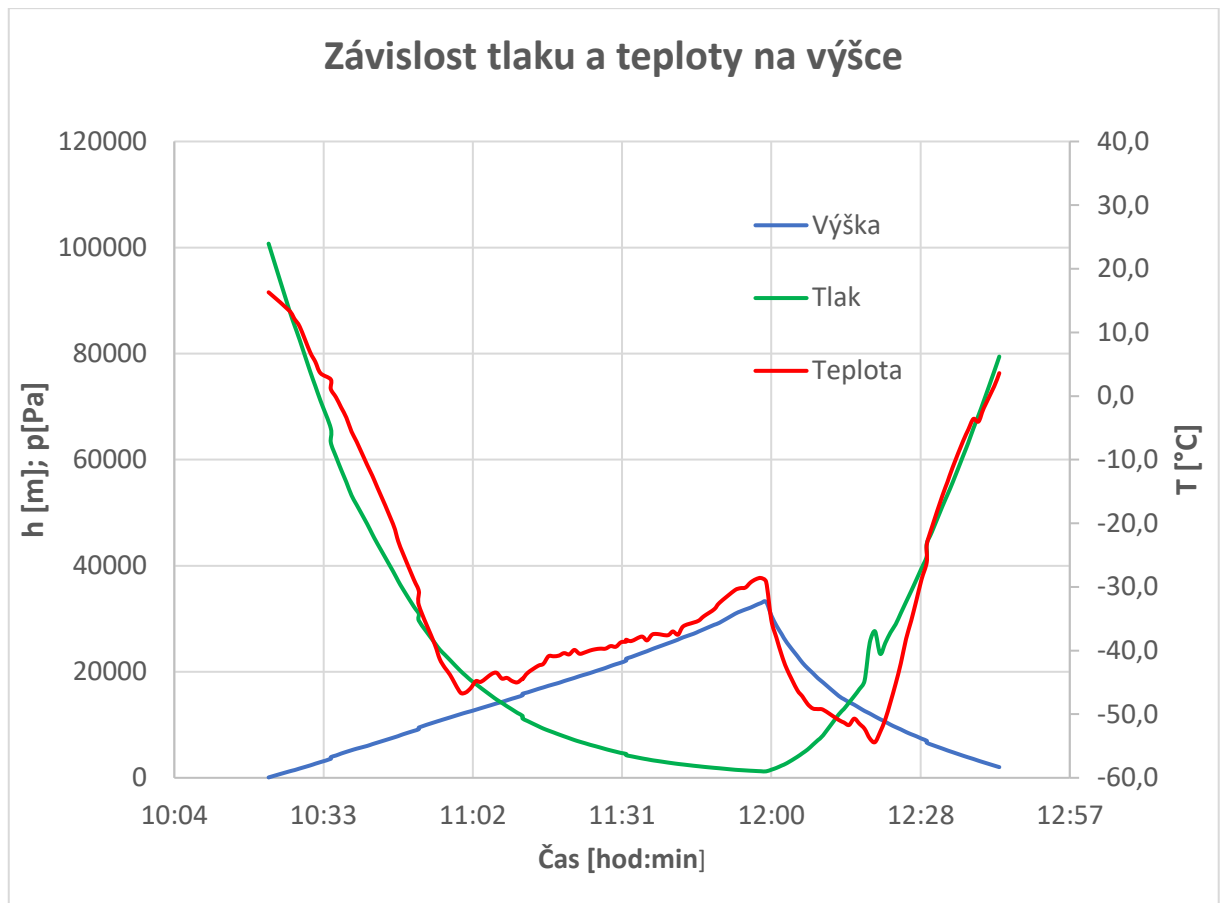
- Letový experiment:
  - otevřené destičky
  - uzavřené nestíněné (pouze pod plastovým víčkem)
  - uzavřené stíněné hliníkovou fólií (za účelem odstínění kosmického záření)
- Transportní kontrola: cestovala z laboratoře na letovou rampu a odsud na místo kam balon dopadl
- Laboratorní kontrola: zůstala v laboratoři a sloužila čistě jako kontrolní vzorek

Bylo provedeno několik misí. Stratobox 3 (5/22) z letiště Letkov u Plzně, Stratobox 4 (12/22) z letiště Plzeň Líně. [3]



Obr. č.15: Umístění užitečného zatížení na boxu. [11]





Obrázek č.16: Letový profil projektu Stratobox. [12]

### 2.4.3 Stratobox-vyhodnocení

Experiment Starobox vyhodnotil životaschopnost kolonií řas. Byly porovnány kvantové výtěžky. Největšímu stresu byly vystaveny otevřené vzorky u Stratoboxu 4. Řasy přežily a zregenerovaly se z podmínek ve stratosféře ve výšce 12-25 km, tlaku 49–21 hPa a teploty

-67°C. Výsledek ukázal, že řasy mohou být průkopnickým organismem při osidlování cizích planet. Může pomoci k tvorbě životního prostředí na těchto planetách. Při vzniku kosmických stanic produkovat biomasu a kyslík. Řasy a sinice jsou primárními producenty často i v extrémních podmínkách. Tato vlastnost by se dala využít pro detekci života na jiných vesmírných tělesech a mohly by zde být i základem života. Řasy jsou efektivnější než vyšší rostliny ve fixaci oxidu uhličitého, a tak by se těchto vlastností dalo využít i při stavbě různých bioreaktorů. [3]

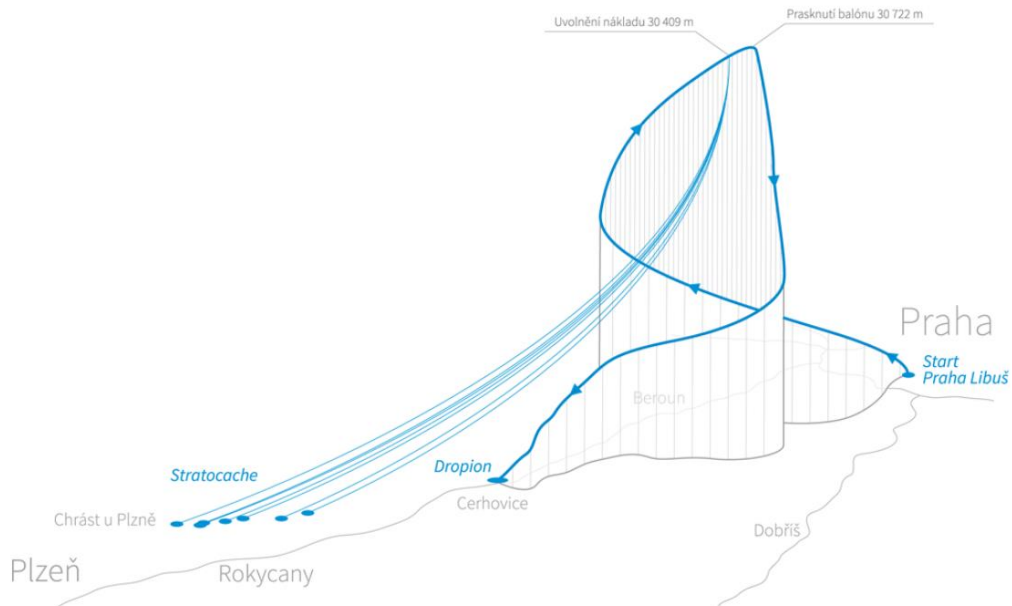
## 2.5 Stratocaching

Stratocaching je stratosférický neexpoziční experiment, který spojuje vypuštění stratosférického balónu s geolokační hrou pro veřejnost. Nápad pochází z dílny českého občanského sdružení Žádná věda. Z gondoly balónu ve výšce 30 kilometrů bylo vysláno k zemi 12 létajících kapslí v podobě velkého javorového semínka. Kapsle však svoji polohu nahlásí s pomocí GPS souřadnic, a podle těch je možné ji najít. [9]

### 2.5.1 Balon a letový profil

Latexový meteorologický balón plněný héliem vyletí až do stratosféry do výšky 30 kilometrů a výše. Při startu má průměr kolem 2,5 metru, ovšem ve stratosféře, kde nakonec praskne, dosahuje až 13 metru. Dolet balónu je elektronicky omezen na území České republiky. [9]

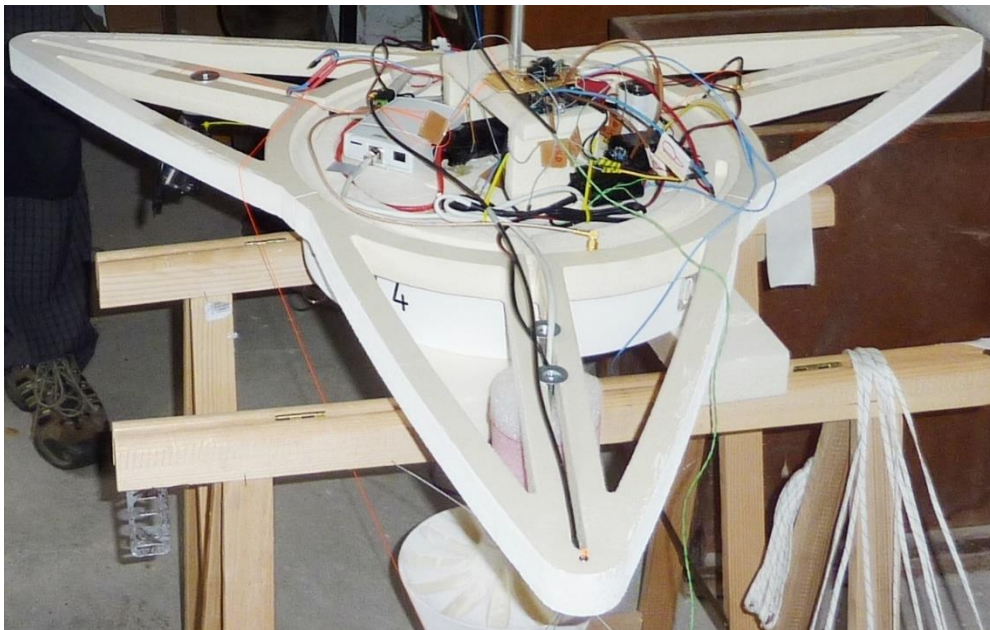
#### Průběh letu



Obrázek.č17: Letový profil Stratocachingu. [9]

## 2.5.2 Gondola Dropion

Technologicky vyspělá gondola zavěšená pod balónem, která při zpáteční cestě klesá na padáku. Elektronický systém Dropionu kontroluje průběh letu, vysílá na internet data o poloze a navíc zajišťuje přímý přenos videa. V nabitě poloze je středový teleskopický díl držen přes palník. Je umístěn uvnitř profilu v kovovém krytu. Když palník shoří, guma uvnitř cukne profilem cca o 20 centimetrů směrem dolů. Ve spodní poloze je doraz opět z latexové gumy, který profil měkce dobrzdí. Vznikne tak zároveň zpětný ráz, který je pojistkou, kdyby se náhodou některému semínku nechtělo ven. [9]

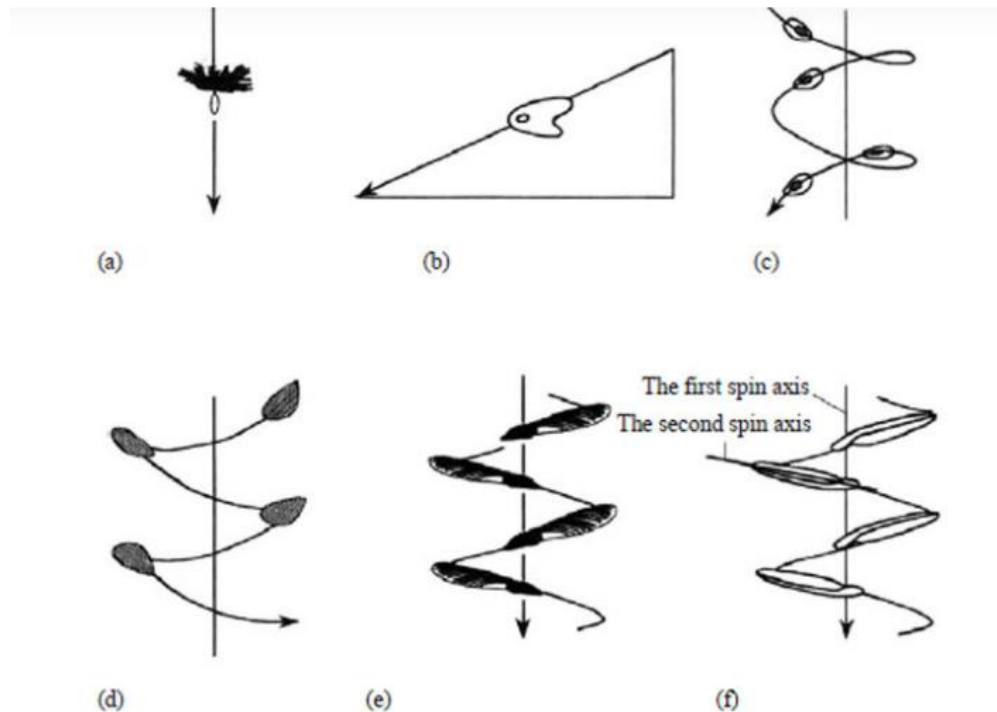


Obrázek.č.18: Gondola Dropion

## 2.5.3 Stratocache

Létající kapsle ve tvaru velkého javorového semínka, které se vypustí z Dropionu při letu ve stratosféře. Jde o zhruba padesátigramové stratokešky, které mají letět z výšky třiceti kilometrů tak, aby se “přiměřeně” rozptýlily. Jedná se o model javorové nažky s rotací kolem jedné osy. Stratocache měří 40 centimetrů, váží necelých 90 gramů a při dopadu na zem oznámí svou polohu všem přihlášeným účastníkům veřejné hry. Stratocache X je kapsle se stejným tvarem a rozměry jako Stratocache, jež tvoří malý „experiment v experimentu“. Nesou totiž odlišný náklad, první z nich využívá rádiové

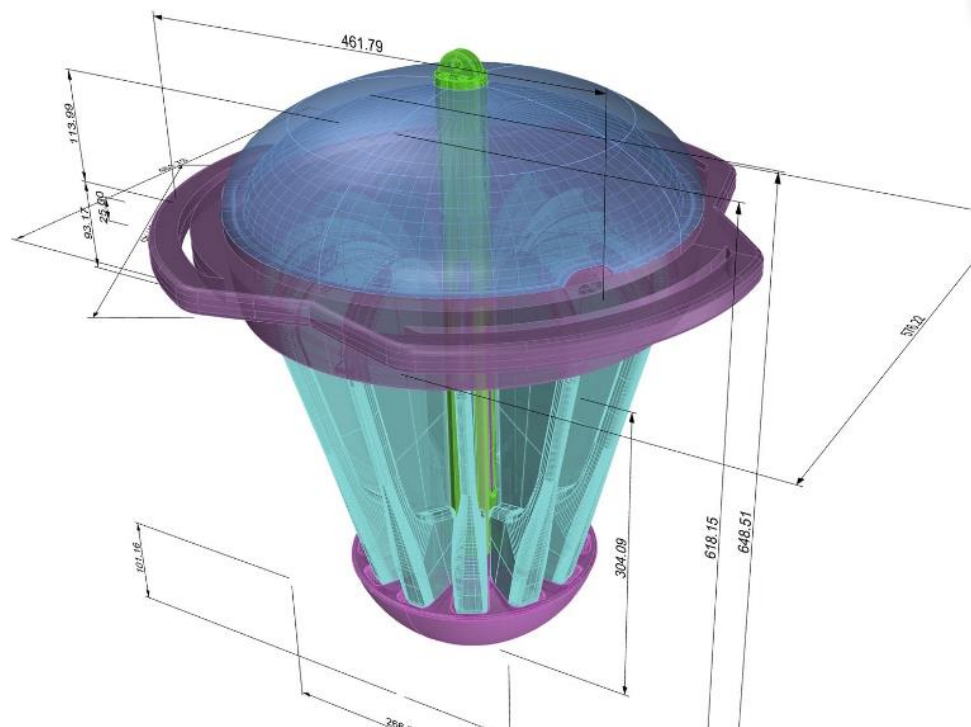
spojení technologie LoRa a nahlásí svou polohu zhruba 12 kilometrů před dopadem na zem. Druhá Stratocache X je vybavena pouze bzučákem a diodami. [9]



Obrázek. č.19: Stratocache. [10]

## 2.5.4 Dropion 2

Celý Dropion 2.0 byl nejprve namodelován ve 3D softwaru a poté kompletně vytištěn na 3D tiskárně. Některé díly byly vytištěny v tiskárně, jako například středovou teleskopickou tyč vytištěnou z „leteckého materiálu“ Ultem. Jiné komponenty byly zaformovány a odlity z polyuretanové pěny dodané firmou BASF. Vypěnění jednotlivých dílů provedla společnost Techwin. Gondola bude nově klesat na padáku PEGAS STRATO 72, který speciálně navrhla a ušila česká firma Pegas. Tento padák má při stejném výkonu téměř poloviční hmotnost oproti předchozímu. [9]



Obrázek. č.20: Gondola Dropion 2. [9]

## 2.5.5 Řídicí systém

Systém řízeného ukončení letu má za úkol odpálením pyropatron vypustit stratokešky a následně oddělit balon od Dropionu. Požadavky na systém vycházejí nejen z požadavků hry na řízené vypuštění stratokešek v určité výšce, ale i právě z nařízení ÚCL, podle kterého je nutné ukončit let v případě, že hrozí překročení státní hranice. Jako zdroj informací o poloze je použito GPS v modulech RTTY a APRS, které zajišťují vysílání telemetrie. Tím je zajištěna redundance systému. Srdcem počítače, dalo by se říci řídicí jednotky, je nyní mikrokontroler Atmega 328p, spojený přímo (resp. přes převodník napěťové úrovně) s moduly. Kromě souřadnic lze z GPS vyčíst také jejich přesnost, platnost, výšku, počet viditelných satelitů a přesný čas UTC. Mikrokontroler navíc sám počítá čas od zapnutí napájení, což činí systém též do jisté míry odolnějším proti poruše některého ze systémů. Mikrokontroler po zapnutí nejprve nějaký čas čeká, což je ochrana proti náhodnému odpálení na startu. Následně čte z GPS a data vyhodnocuje na základě poskytnuté přesnosti a počtu viditelných satelitů. K ukončení letu dojde, pokud balon vystoupá nad určitou výšku nebo pokud začne výšku prudce ztrácet či se vzdálí od místa

startu tak, že hrozí překročení státní hranice. Alternativně pro případ ztráty obou GPS je zde pojistka časová, která ukončí let po uplynutí nastaveného času bez ohledu na vše ostatní. To vše zajišťuje mikroprocesor s operační pamětí pouhé 2 kB. Ukončení letu probíhá tak, že se nejprve sepne relé roznětného okruhu vypouštění kešek a po minutě je stejným způsobem odpálena pyropatrona držící balon. [9]

### 2.5.6 Stratocaching-vyhodnocení

U stratocachingu jde o neexpoziční experiment.

## 2.6 Závěr rešerše

U mise E-MIST byly vzorky umístěny na vnější straně balónové gondoly ve čtyřech nezávislých otočných válcích v hliníkovém rámu. Sensory a měřicí přístroje byly uložena do krytu na stěně gondoly. Mechanické části jako motory a ozubená kola jsou uloženy v hliníkovém rámu. Napájení bylo zajištěno 14,8 V Li-ion-polymerovou baterií. Byly použity vyhřívací podložky, aby se za letu udržela provozní teplota pro přístroje uvnitř gondoly. Biologické vzorky v MarsBoxu byly uzavřeny v tlakové nádobě Trex-Box se clonou proti slunečnímu záření během výstupu. Sensory UV záření zajišťovaly měření během expozice ve stratosféře. Mechanická zařízení byla uložena v hliníkovém rámu. Další komponenty jako tlakové senzory a tepelné senzory jsou umístěny na čelní stěně boxu. energii zajišťuje 14,8 V li-ion-polymerová baterie umístěné na stěně boxu. Biopan je kontejner ve tvaru pánve, který je připevněný na povrch kapsle Proton. Kontejner lze otevřít a vystavit biologické vzorky vlivům kosmického prostoru. Expose je platforma s biologickými vzorky umístěná na vesmírné stanici ISS. Během expozice jsou zaznamenávána data. Kontejner Stratobox je z tlustostěnného polystyrenu. Vzorky jsou umístěny na expozičních destičkách. Pro destičku s otevřenou expozicí je zde mechanismus pro otevření. Sensory zaznamenávají hodnoty tlaku, teploty, UV záření a VIS viditelného světla. Pro bezpečný návrat je instalováno návratové zařízení. Stratocaching je tvořen gondolou Dropion pro uložení kapslí ve tvaru javorových semínek. Stratocache využívá rádiové spojení technologie LoRa a nahlásí svou polohu. Stratocache X je vybavena pouze zvukovou signalizací a diodami. Dropion 2 je namodelován v softwaru a vytištěn v 3D tiskárně. Některé díly byly vytištěny z materiálu Ultem nebo byly odlity z polyuretanové pěny. Návratové zařízení je tvořeno padákem Pegas Strato 72. [9]

Z rešerše je vidět, že je potřeba dělat mít kontrolní vzorky, pozemní, laboratorní a letové. Aby bylo možné jejich pozdější srovnání. Nezáleží na tom, zda je balon řízený nebo ne. Profil letu balonu, který je určený k prasknutí bude vždy podobný bez ohledu, jaký typ zatížení má. Rešerše ukazuje, jaké vyplývají požadavky na experiment ve stratosféře.

## **Zobecňující požadavky na stratosférický expoziční experiment:**

### **Vzorky a jejich umístění**

Vzorky použité pro expozici byly mikroorganismy jako řasy, spory hub, nebo kvasinky, které byly uloženy v biologickém roztoku agaru v destičkách nebo krabičkách. Umístění vzorků je lokalizováno na vnější stranu balonové gondoly.

### **Užitečné zatížení**

Konstrukce gondoly nebo kontejneru musí být z lehkých materiálů jako je hliník, plast, ABS nebo polystyren. Je třeba zařízení pro zajištění otevření krabiček nebo schránek pro vystavení vzorků vlivu stratosféry. Pro zajištění těchto funkcí jsou potřebná serva nebo elektromotorky. Jsou nezbytné senzory a snímače pro měření parametrů, které musí být uchyceny na vhodných místech a také řídicí jednotka pro ovládání elektroniky. Vnitřní prostor je třeba vybavit topnými tělesy pro zajištění provozní teploty pro elektronické přístroje. Je nutná baterie s potřebnou kapacitou pro napájení přístrojů po dobu letu. Ke zjištění polohy je potřebný GPS modul.

### **Provoz**

Zařízení je nutné chránit před vlivem vnějšího prostředí, zejména uvnitř kontejneru nebo gondoly. Vzorky umístěné v krabičkách by měly být zabezpečeny před jejich vzájemnou kontaminací. Pro expozici ve stratosféře musí balon vystoupat do minimální výšky a strávit v ní určitý čas. Po návratu musí být umožněno vzorky vyjmout pro jejich vyhodnocení.

### **Návratové zařízení**

Pro bezpečný návrat je třeba vybavit kontejner nebo gondolu návratovým zařízením, tedy vhodným padákem. Ten musí mít správnou velikost a tvar, aby zajistil správné otevření a přistání rychlostí, která by nepoškodila kontejner se vzorky. Padákové šňůry by měly vydržet rázovou sílu při otevření padáku.

# 3 KONTEJNER PRO EXPOZIČNÍ BIOLOGICKÝ STRATOSFÉRICKÝ EXPERIMENT

## Požadavky na řešení

- Požadavkem je kontejner pro biologický experiment, který bude nesený neřízeným balonem.
- Bude potřebovat dostatečný čas pro provedení experimentu ve stratosféře.
- Bude třeba zajistit dostatečnou kapacitu energie pro všechna potřebná zařízení.
- Biologické vzorky bude nutné uložit do vhodných boxů.
- Orientace jednotlivých sad vzorků nemusí být stejná vzhledem k rotaci kontejneru během letu.
- Kontejner se neobejde bez vnitřního prostoru pro uložení všech zařízení a mechanických částí.
- Nutnost vybavení řídicím modulem pro ovládání elektronických zařízení a paměťové médium pro uložení nasbíraných dat. Průběh experimentu by měl být zaznamenán na videozáznamu.
- Kontejner by měl být vybaven lokátorem polohy pro jeho lokaci po skončení mise.
- Box se vzorky bude nutné vybavit zařízením pro otevření a zavření během letu, aby bylo možné biologické vzorky vystavit vlivům ve stratosféře.
- Kontejner by měl být zhotoven z materiálu, který by dokázal tepelně izolovat před nízkými teplotami ve stratosféře.
- Pro zajištění snímání veličin tlaku a teploty musí mít kontejner vhodná měřicí čidla.
- Dále bude potřebovat senzory pro snímání intenzity záření viditelného světla a ultrafialového záření.
- Bude důležité zohlednit hledisko pro minimální hmotnost všech zařízení a samotného tělesa kontejneru. Doporučená hmotnost elektromechanických



zařízení kromě baterie je přibližně 100 g. Hmotnost celého kontejneru by se měla pohybovat od 500 g do 1000 g (meteorologické sondy používané v ČHMÚ).

- Kontejner bude nutné vybavit návratovým zařízením pro bezpečný návrat na zem po skončení mise. Toto zařízení bude třeba aktivovat vhodným elektromechanickým zařízením.

## **3.1.Koncepční návrh kontejneru**

Souhrn koncepčního návrhu

V koncepčním návrhu bude nejprve ujasněno, o jaký typ balonu půjde, který vynesete kontejner do stratosféry. Bude stanoven letový profil a čas potřebný pro vynesení kontejneru na spodní hranici stratosféry a doba samotné expozice. Z toho bude vycházet, zda bude potřeba napájení zařízení a způsob zajištění napájení a také potřebná kapacita akumulátoru. Bude navržen způsob umístění vzorků na kontejneru a jejich integrace v nosných boxech. Také bude navrženo uložení zařízení v kontejneru. Co nemusí být nutně venku, bude umístěno uvnitř kontejneru. Bude navržen způsob řízení elektromechanických a senzorů. Zvolí se způsob provedení záznamu experimentu, otevření a zavření krabičky. Provede se návrh zařízení pro otevírání krabičky a návrh způsobu pro sledování polohy kontejneru. Součástí bude i teplotní rozvaha pro volbu vhodného tepelně izolačního materiálu kontejneru. Bude posouzeno, jaká zajistit potřebná vybavení pro měření tlaku, teplota, UVB záření viditelného světla (VIS). Rovněž bude posouzeno hledisko zajištění co nejnižší hmotnosti. Nakonec bude provedena úvaha o vhodném návratovém zařízení a způsobu odpojení kontejneru po skončení experimentu.

### **3.1.1 Neřízený balón**

Na základě letového profilu a předpokládané dráhy letu bude možné použít neřízený balón.

Dráhu a prostor přistání lze poměrně přesně predikovat pro konkrétní den a hodinu startu s maximálně několikadenním předstihem. Z balonové kalkulačky lze tedy podle hmotnosti nákladu, použitého balonu, požadovaného dostupu a doby letu podle zvolené stoupavosti obecně zjistit parametry dráhy.

Půjde o přetlakový latexový balón. Podle údajů z ČHMÚ by mělo stoupaní na spodní hranici stratosféry trvat přibližně 1,5 hodin. Doba letu ve stratosféře po dou expozice bude 1 hodina. Nafukovacím plynem je helium. Dostup balonu je přibližně 90000 stop (30 km). Pro výpočet dostupu balonu byla použita balonová kalkulačka používaná firmou Kaymont. Předpokládaná hmotnost užitečného zatížení bude 1200 g.

The image shows a web-based calculator interface for balloons. It is divided into three main sections: input fields, a result section, and constants.

**Input Fields:**

- Payload Mass (g):** Input field with value 1200.
- Balloon Mass (g):** Dropdown menu with selected option "Kaymont - 1200".
- Target Burst Altitude (m):** Input field with value 35000.
- Target Ascent rate (m/s):** Empty input field.

**Result Section:**

Burst Altitude:	35000 m	Time to Burst:	188 min	Volume:	2.67 m <sup>3</sup>
Ascent Rate:	3.10 m/s	Neck Lift:	1544 g		2673 L
					94.4 ft <sup>3</sup>

**Constants (Advanced):**

- Gas:** Helium
- Air Density (kg/m<sup>3</sup>):** 1.2050
- Burst Diameter (m):** 8.63
- Gas Density (kg/m<sup>3</sup>):** 0.1786
- Air Density Model:** 7238.3
- Balloon Cd:** 0.25
- Gravitational Acceleration (m/s<sup>2</sup>):** 9.80665

Obrázek. č.21: Výpočtová kalkuačka vytvořená pro firmu Kaymont. [13]

Tabulka č. 1 Používané meteorologické balony a jejich parametry

Typ Balonu	Použitý plyn	Hmotnost užitečného nákladu (g)	Hmotnost balonu (g)	Požadovaná výška (m)	Dostup (m)	Průměrná rychlost stoupání (m/s)
Kaymont 600	Helium	1000	600	33000	32000	2,24
Kaymont 800	Helium	1000	800	33000	34000	4,31
Kaymont 1000	Helium	1000	1000	33000	35000	5,37
Kaymont 1200	Helium	1000	1000	33000	37000	5,37
Kaymont 1200	Helium	1200	1200	33000	35000	3,1

### 3.1.2 Napájení za letu

Po dobu letu bude nutné zajištění napájení elektromechanických a elektronických zařízení. Proto bude potřeba napájecí zdroj. V minulosti se používaly hlavně nálevné hoříkové baterie, u nichž chemická reakce produkovala i teplo, které bránilo zamrznutí baterie a elektroniky. V současnosti se používají hlavně lehké lithiové baterie všech kategorií.

### 3.1.3 Potřebná kapacita

Pro zajištění provozu všech elektromechanických a elektronických součástí a senzorů bude třeba mít dostatečnou kapacitu baterie. Celková kapacita bude stanovena jako součet spotřeby jednotlivých elektromechanických a elektronických součástí a senzorů. Podle předběžného odhadu přibližně 900 mAh.

### 3.1.4 Umístění vzorků na kontejneru

Pro provedení experimentu bude nutné umístit krabičky na vnějších stěnách boxu, aby byla zajištěna expozice biologických vzorků v podmínkách stratosféry. Délka expozice by měla být po dobu alespoň jednu hodinu. Jedna sada biologických vzorků

bude zakrytá, další sada vzorků bude zakrytá a stíněná hliníkovou fólií a třetí sada vzorků bude odkrytá a plně exponovaná vlivu podmínek stratosféry.

### **3.1.5 Integrace vzorků**

K umístění biologických vzorků budou použity plastové krabičky. V nich budou vzorky uloženy v živném médiu biologických vzorků-agaru. Agar je přírodní polysacharid (lineární polymer galaktózy), který má vysokou gelující schopností. Vyrábí se z červených mořských řas rodů *Gracilaria* a *Gelidium*. Používá se jako živné médium pro kultivaci mikroorganismů a rostlin. Taje při 96 °C a tuhne při 40 °C. [14]

### **3.1.6 Uložení zařízení v kontejneru**

Aby bylo možné uložit všechna potřebná zařízení, kontejner bude vybaven vnitřním úložným prostorem. V tomto prostoru budou uložena všechna elektromechanická a elektronická zařízení která nemusí být nutně umístěná na vnější stěně kontejneru. Dále zde budou konstrukční prvky pro uchycení a upevnění všech elektronických součástí a senzorů a také serva pro odpojení kontejneru od balonu, u kterého je důležité, aby bylo umístěno ve středu tohoto prostoru.

### **3.1.7 Ovládání zařízení a úložiště dat**

Ovládání elektronických zařízení bude zajišťovat modul Arduino Nano R3 s integrovaným USB konektorem a USB převodníkem. Tento modul se svými rozměry a uspořádáním pinů dobře hodí do různých elektronických konstrukcí. Díky integrovanému USB konektoru a USB převodníku lze bez speciálního zapojení, nahrávat program do desky. Pro svoji univerzálnost se dá modul použít v každém projektu. Data budou ukládána na vloženou SD kartu.

### **3.1.8 Záznam provedení experimentu**

Záznam o provedení experimentu, zejména otevření a zavření krabičky pro otevřenou expozici bude zajištěn použitím kamery. Monitorování bude provedeno,

zejména kvůli záznamu o provedení otevřené expozice. Zda bylo otevření a zavření krabičky s biologickými vzorky provedeno správným způsobem.

### **3.1.9 Servomotor**

Provedení otevření a zavření krabičky pro otevřenou expozici bude zajišťovat servomotor. Servo bude nutné umístit na vnějším povrchu kontejneru, aby mohlo zajišťovat otevírání a zavírání krabičky pro otevřenou expozici. Případné umístění serva ve vnitřním prostoru kontejneru by bylo po technické stránce komplikovanější. Bylo by nutné vyvedení hřídele stěnou kontejneru, což byv vyžadovalo utěšňování otvoru kvůli úniku tepla a další komplikace. Umístění serva na povrchu nebude pro jeho správnou funkci překážkou, protože podle zkušeností z ČHMÚ, kde mají letité zkušenosti s vypouštěním sond do stratosféry, většina moderní elektroniky zvládá záporné teploty a nízký tlak bez problémů.

### **3.1.10 GPS modul**

Data o aktuální poloze kontejneru v reálném čase bude dodávat GPS modul, s jehož pomocí lze sledovat polohu v reálném čase a zobrazovat historii pohybu. Komerční přijímače GPS jsou blokovány výrobcem pro použití ve větších výškách než 10 000 m.n.m. Proto by bylo nutné použít přijímač, který by podporoval Airbone mode, čímž by se zvýšila pracovní výška. Takové GPS moduly by však měly vyšší hmotnost. V případě expozičního kontejneru je hlavním cílem jeho lokalizace po skončení a ne sledování jeho trasy v celém průběhu letu. Z toho důvodu bude komerční modul postačovat.

### **3.1.11 Izolace**

Udržení vnitřní teploty v kontejneru bude zajištěno použitím vhodného izolačního materiálu. Měl by to být materiál s nízkou měrnou hmotností a zároveň s dobrými tepelně izolačními vlastnostmi, aby dokázal zabránit přílišnému snížení teploty ve vnitřním prostoru kontejneru po vystoupení do stratosféry. Jako nejlepší se jeví kvalitnější

polystyren, který má příznivý součinitel tepelné vodivosti. Například šedý grafitový polystyren, který má o 20% lepší tepelně izolační vlastnosti než klasický bílý polystyren. Šedý polystyren obsahuje nanočástice grafitu, který má schopnost odrážet teplo zpět k jeho zdroji a tím zvyšuje izolační účinek.

### **3.1.12 Čidlo tlaku**

Tlakové čidlo bude zajišťovat vyhodnocení barometrického tlaku během průběhu experimentu a také bude soužit pro určení počátku zahájení experimentu při dosažení spodní hranice stratosféry. Bude aktivovat spuštění servomotoru, které otevře krabičku s biologickými vzorky a vystaví je vlivům stratosféry. Čidlo bude umístěno ve vnitřním prostoru kontejneru.

### **3.1.13 Čidlo teploty**

Bude zajišťovat měření teploty v průběhu experimentu. Čidlo teploty bude umístěno na vnějším povrchu kontejneru, aby snímalo teplotu ve stratosféře, které budou vystaveny biologické vzorky. Ve vnitřním prostoru kontejneru by tato teplota byla ovlivněna tepelným výkonem přístrojů uvnitř kontejneru.

### **3.1.14 Senzor UV záření**

Bude vyhodnocovat ultrafialové záření působící na biologické vzorky v průběhu experimentu. Senzor bude musí být umístěn na vnějším povrchu kontejneru, kde bude vystaven účinkům zejména UVB/UV záření, které je nebezpečné pro živé organismy. Toto záření se střední vlnovou délkou 280-320 nm má energii, která dokáže rozkládat nebo vážně narušovat bílkoviny nebo jiné organické sloučeniny.

### **3.1.15 Senzor VIS viditelného světla**

Bude zaznamenávat hodnoty viditelného světla dopadajícího na biologické vzorky během experimentu. Viditelné světlo, je elektromagnetické záření o frekvenci od  $3,9 \times 10^{14}$  Hz do  $7,9 \times 10^{14}$  Hz, což ve vakuu odpovídá vlnovým délkám v rozmezí 380–

760 nm. Jedná se o záření Slunce, které při průchodu atmosférou dopadne na zemský povrch. V elektromagnetickém vlnění se světlo nachází mezi infračerveným a ultrafialovým zářením. Senzor viditelného světla bude umístěn na vnějším povrchu kontejneru. Rotace kontejneru během letu zajistí rovnoměrné měření hodnot záření viditelného světla ze všech stran kontejneru.

### **3.1.16 Hmotnost použitého zařízení**

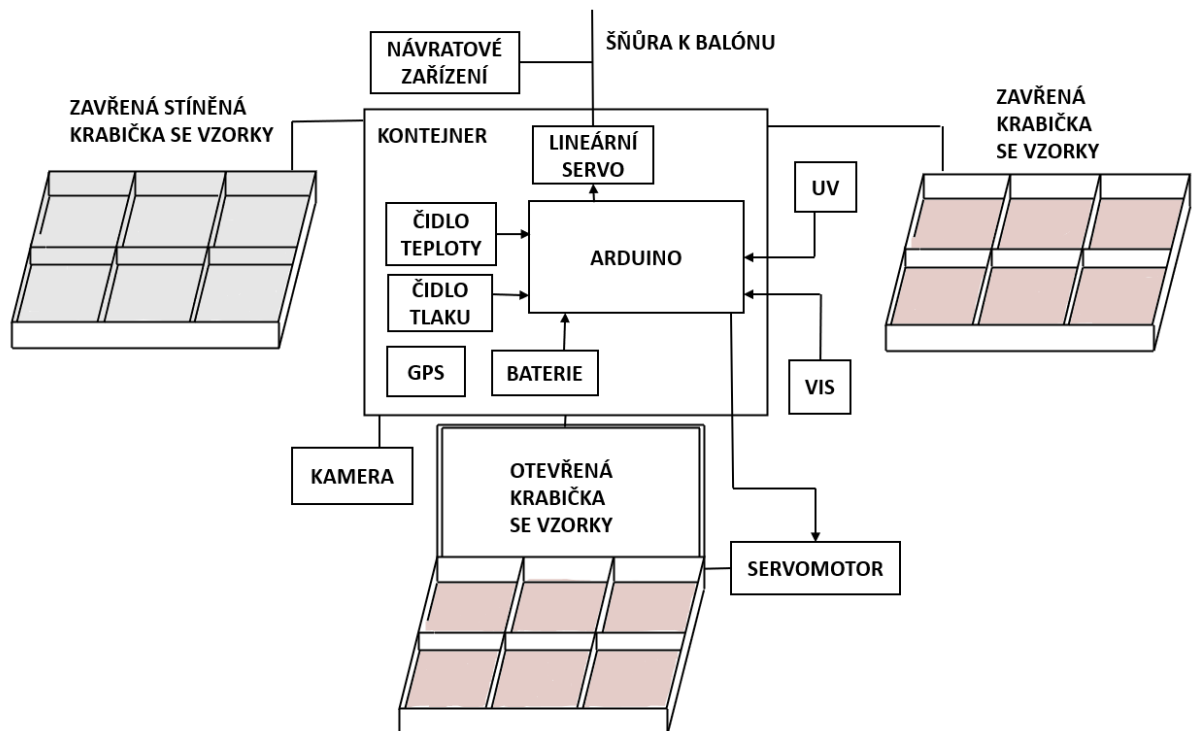
Jedním z hlavních požadavků zadání je hledisko co nejnižší možné hmotnosti. Tento požadavek bude zajištěn použitím materiálu pro kontejner s nízkou měrnou hmotností. Stejně hledisko je zohledněno i při návrhu mechanického zařízení a použitých elektromechanických součástí a senzorů. Doporučená hmotnost použitých zařízení bez krabiček a baterie je 100 g.

### **3.1.17 Lineární servo**

Bude zajišťovat odpojení kontejneru od balonu po skončení experimentu. Po uplynutí doby potřebné pro expozici biologických vzorků zajistí mechanické odpojení kontejneru od balónu. Servo bude umístěno ve vnitřním prostoru kontejneru. Poloha lineárního serva musí být v centru kontejneru, nad kterým bude upevněna šňůra k balonu.

### **3.1.18 Návrátové zařízení**

Zajistí bezpečný návrat kontejneru se vzory po skončení mise. Aby kontejner dosedl na zem bezpečnou rychlostí a nedošlo k jeho poškození. Padák bude umístěn mezi balonem a kontejnerem, aby po odpojení kontejneru od balonu došlo k co nejrychlejšímu naplnění padáku vzduchem.



Obrázek.č.22: Výpočtová kalkuačka vytvořená pro firmu Kaymont

## 3.2 Konstrukční návrh kontejneru

### Souhrn konstrukčního návrhu

Konstrukční návrh bude vycházet z koncepčního návrhu. Budou realizovány jednotlivé konstrukční prvky. Bude zohledněn použitý typ balonu, podle kterého podle kterého bude možné určit letový profil a dobu pro provedení experimentu. A také způsob odpojení od balonu a umístění návratového zařízení. Z těchto údajů bude možné určit způsob napájení elektromechanických a elektronických zařízení a spočítat celkovou potřebnou kapacitu všech zařízení a navrhnout vhodnou baterii nebo akumulátor a jeho umístění ve vnitřním prostoru kontejneru. Dále bude navrženo umístění krabiček s biologickými vzorky na vnějších stěnách kontejneru, aby byly zajištěny nejlepší podmínky pro expozici vzorků. Pro integraci vzorků budou použity krabičky používané biology. Vnitřní prostor kontejneru bude navrženo tak, aby bylo možné do něj umístit všechna potřebná zařízení. Bude zde umístěna i řídicí deska Arduina pro ovládání pro řízení serva a senzorů a ukládání dat. Na vnější stěně kontejneru bude instalována kamera



pro záznam průběhu experimentu. Vně kontejneru bude umístěno i servo pro ovládání otevření a zavření krabičky pro otevřenou expozici. Bude navrženo vhodné umístění GPS lokátoru pro lokalizaci polohy kontejneru po skončení mise. Konstrukce těla kontejneru bude provedena z pěnového polystyrenu pro jeho nízkou měrnou hmotnost a také pro dobré tepelně izolační vlastnosti. Dále bude navrženo vhodné umístění čidel a senzorů. Senzor tlaku bude umístěn ve vnitřním prostoru kontejneru. Čidlo teploty bude umístěno na vnějším povrchu kontejneru, aby nebyly údaje o teplotě ovlivňovány tepelným ohřevem přístrojů uvnitř kontejneru. Sensory UVB záření a VIS viditelného světla budou umístěny na vnější stěně kontejneru, kde budou nejlépe vystaveny účinkům slunečního záření. Konstrukce kontejneru bude navržena s ohledem na nejnižší hmotnost. Návratové zařízení bude umístěno tak, aby bylo umožněno so nerychlejší naplnění padáku vzduchem. Lineární servo pro odpojení kontejneru od balonu po skončení expozice bude umístěno ve vnitřním prostoru kontejneru.

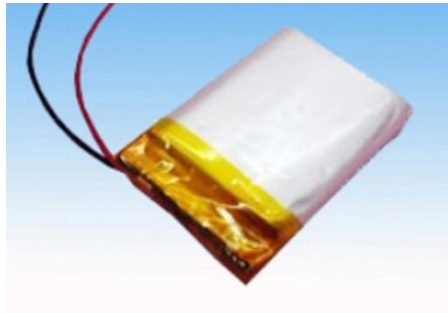
### **3.2.1 Použitý balón**

Půjde o přetlakový meteorologický latexový balón plněný heliem, u kterého lze predikovat dráhu a dobu letu. Požadavkům vyhovuje balon firmy Kaymont 1200, používaný v ČHMÚ. Podle balonové kalkulačky a zadaných hodnot, kterými jsou hmotnost balonu, předpokládaná hmotnost užitečného zatížení a cílová výška výstupu by rychlost stoupaní balonu měla být 3,1 m/s a doba do prasknutí balonu v cílové výšce 35000 m je 188 min. Což dává dostatečný čas pro splnění mise. [13]

### **3.2.3 Baterie**

Podle potřebné kapacity pro napájení všech elektromechanických a elektronických zařízení a součástí bude použita baterie GEB – 803040+. Baterie má napětí 3,6 V, hmotnost 0,019 kg a její rozměry jsou 7,5 mm x 29 mm x 41 mm. Baterie pro napájení zařízení bude umístěna ve vnitřním prostoru kontejneru. Baterie bude uložena ve vnitřním prostoru kontejneru v boxu pro elektronická zařízení. Protože nízká teplota ve spojení s nízkým tlakem mají největší vliv na funkčnost baterií. Ve vnitřním

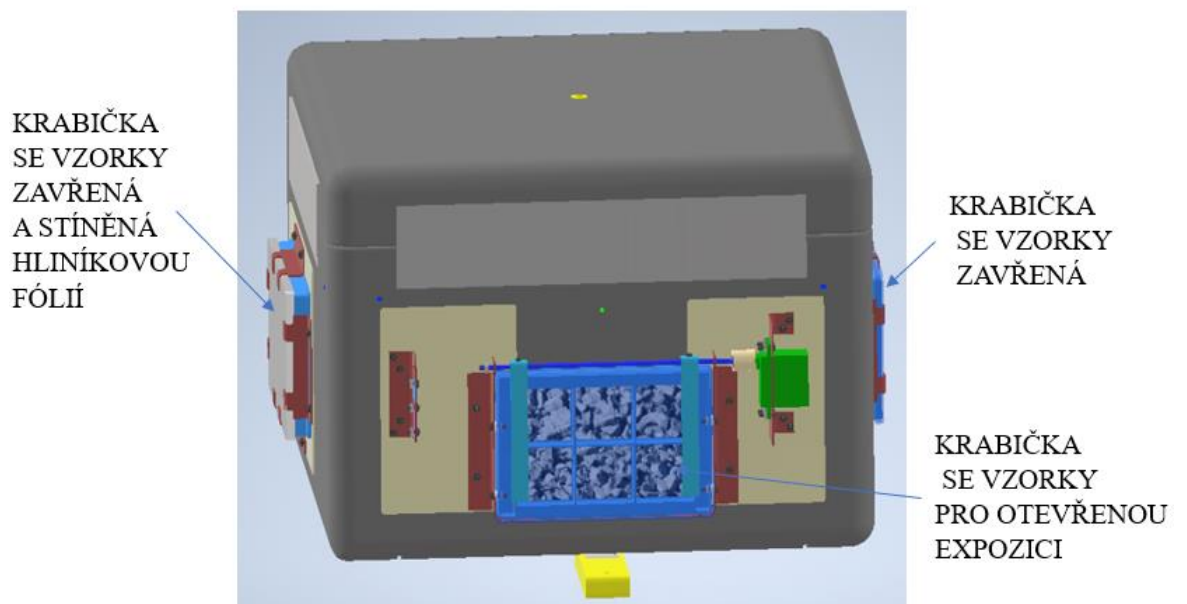
prostoru kontejneru bude baterie více chráněná před těmito nepříznivými vlivy ve stratosféře. [28]



Obrázek.č.23: Baterie GEB – 803040+. [28]

### 3.2.4 Umístění krabiček se vzorky

Krabičky s biologickými vzorky budou umístěny na vnějších stěnách kontejneru. Na přední straně kontejneru bude umístěna krabička s možností otevírání víčka pro otevřenou expozici. Na jedné boční stěně bude umístěna uzavřená krabička a na druhé boční stěně bude umístěna uzavřená krabička se stíněním hliníkovou fólií.



Obrázek. č.24: Umístění krabiček se vzorky na povrchu kontejneru.

### 3.2.5 Použité krabičky pro vzorky

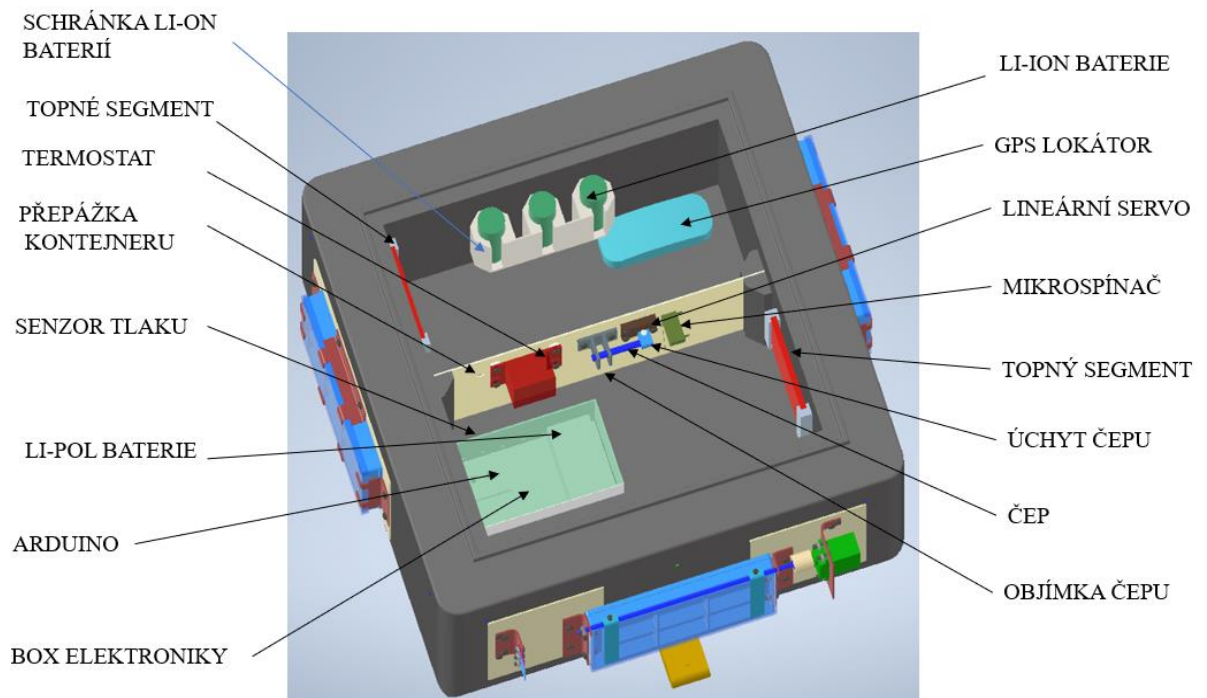
Kontejner využije stávající krabičky používané biology, které jsou rozděleny na 6 vnitřních komůrek pro biologické vzorky. Rozměry krabiček jsou 125 mm x 85 mm x 17 mm. Rozměr vnitřní komůrky je 35 mm x 35 mm x 10 mm. Krabičky jsou z PS polystyrenu a jsou zakryty víčkem ze stejného materiálu.[16]



Obrázek č.25: Krabičky pro biologické vzorky. [16]

### 3.2.6 Vnitřní prostor kontejneru

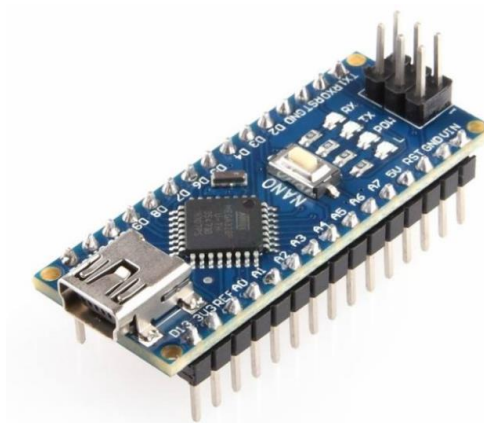
Kontejner bude mít rozměry 290 mm x 240 mm x 160 mm. Bude do něj uloženo vše, co nemusí být nutně vně kontejneru, jako jsou krabičky s biologickými vzorky, servomotor a kamera senzory VIS a UVB zařízení. To znamená, že ve vnitřním prostoru kontejneru bude baterie a teplotní čidlo, GPS modul a lineární servo pro odpojení balonu. Budou zde také mechanické části jako objímka pro uchycení šňůry k balonu a padáku a přepážka pro připevnění lineárního serva.



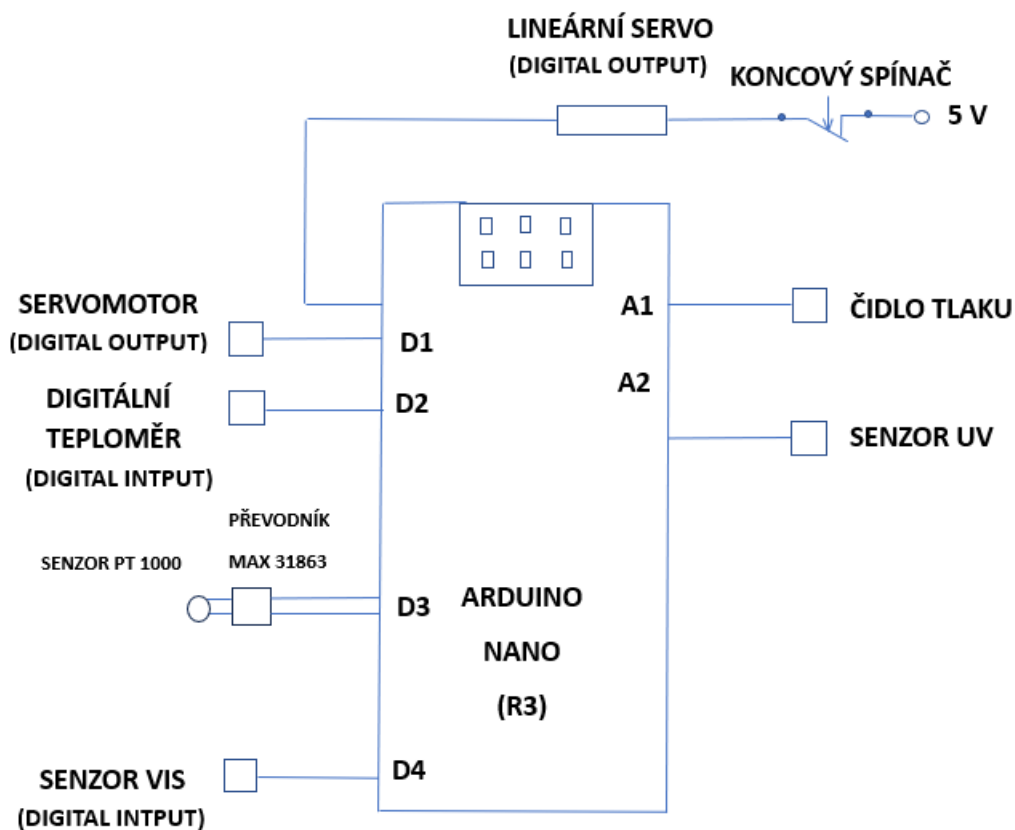
Obrázek.č. 26: Rozmístění zařízení ve vnitřním prostoru kontejneru

### 3. 2.7 Arduino Nano R3

Modul Arduino Nano R3 bude umístěn ve vnitřním prostoru kontejneru v uzavřeném boxu pro elektroniku a baterii. [27]



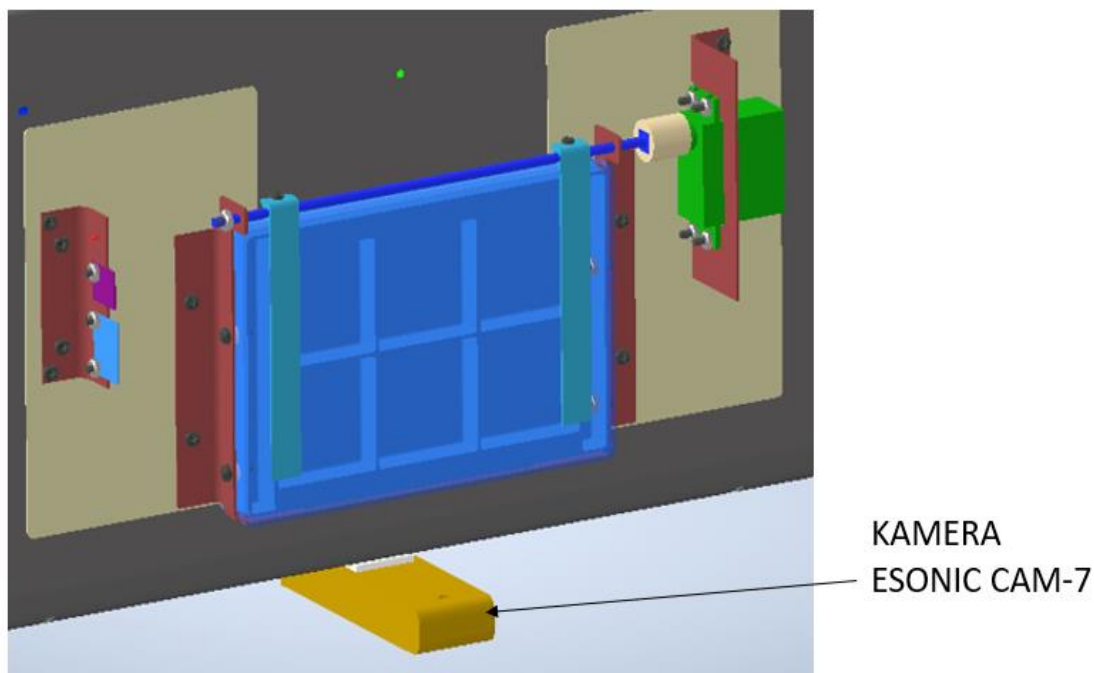
Obrázek č.27:Arduino Nano R3. [27]



Obrázek č.28: Schema zapojení Arduina.

### 3.2.8 Instalace kamery ve flash disku

Pomocí kamery ve flash disku ESONIC CAM – 7 bude proveden záznam o průběhu experimentu. Kamera bude upevněná na spodní stěně kontejneru pomocí suchém zipu. Je vybavena otočným objektivem až do 90 ° a má vestavěnou Li-Pol baterii o kapacitě 320mAh. Výdrž při nepřetržitém nahrávání je 2 hodiny. Flash disk má rozměry 82 mm x 26 mm x 13,5 mm. [19]

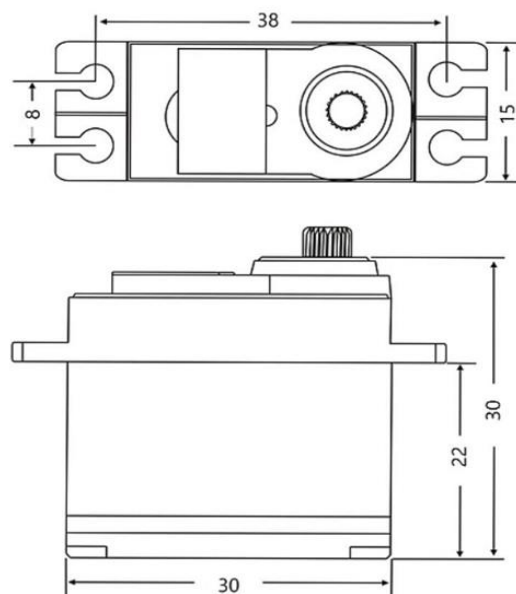


*Obrázek č.29: Umístění kamery ESONIC CAM-7 na spodní stěně Kontejneru.*

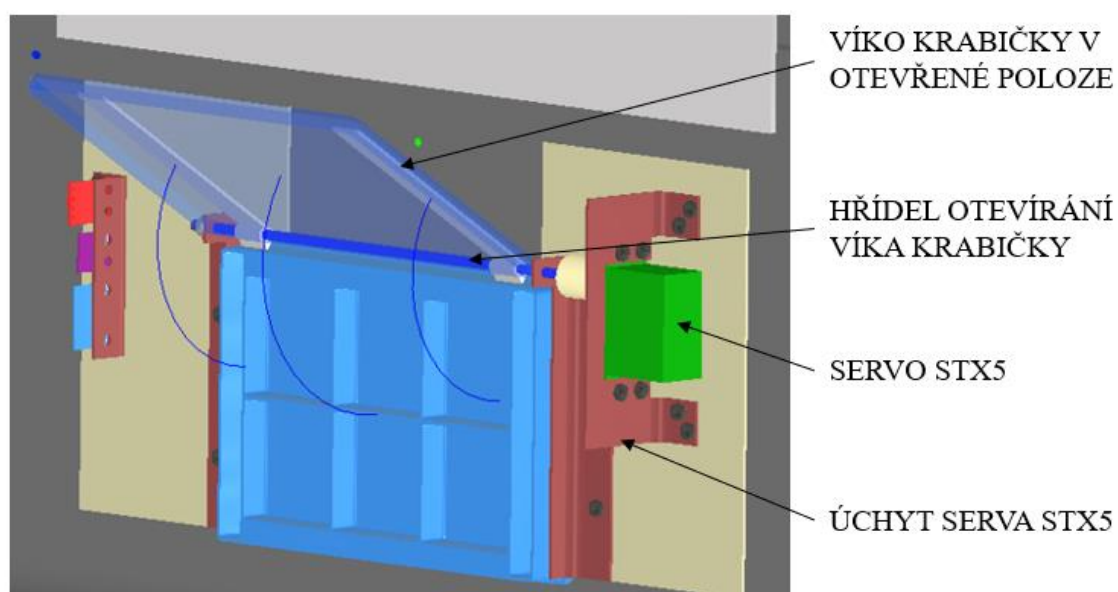
### **3.2.9 Servo STX 5**

Otevření krabičky pro otevřenou expozici bude provedeno pomocí serva STX 5. Servo bude upevněno na přední straně kontejneru. Drážkovaný dřík serva bude zasunut do hřídele připevněného k víku plastové krabičky. Tím bude zajištěno otevírání krabičky.

[28]



Obrázek č.30: Servo STX 5 – hlavní rozměry. [28]



Obrázek č.31: Umístění serva STX 5 pro ovládání otevírání krabičky pro otevřenou expozic. Krabička je v otevřené poloze

### 3.2.10 GPS Lokátor TKSTAR

Bude umístěn ve vnitřním prostoru kontejneru. Podporuje 4G LTE síť, díky které je schopen fungovat i v místech, kde pokrytí běžnou 2G sítí není dostupné. Dokonalé těsnění zajišťuje ochranu proti vodě. Online sledování zajišťuje nepřetržitý monitoring pohybu a poskytuje údaje o pohybové aktivitě. Tento režim je ideální v případě, kdy není

vyžadované sledování lokátoru v reálném čase, ale stačí zjištění jeho aktuální polohy. Dosáhne se tak nejvyšší možné úspory baterie v lokátoru. Lokátor zůstává v režimu a aktivuje se pouze tehdy, když potřebujeme znát jeho polohu. Po zaslání příslušného příkazu přijde SMS zpráva o zeměpisné šířce, délce a odkaz na mapy. [20]



Obrázek č.32: GPS lokátor TKSTAR. [20]

### 3.2.11 Materiál stěny kontejneru

Kontejner bude z tlustostěnného polystyrenu. Jednak kvůli jeho nízké měrné hmotnosti a jednak kvůli jeho dobrým izolačním vlastnostem. Koeficient měrné tepelné vodivosti pěnového polystyrenu je 0,039. V teplotní rozvaze jsem určil tloušťku stěny kontejneru, aby ve vnitřním prostoru kontejneru byla vhodná teplota pro přístroje a senzory i po vystoupení do stratosféry a po dobu expozice. Doba stoupaní balonu do stratosféry je přibližně 1,5 hodiny a doba expozice je 1 hodina.

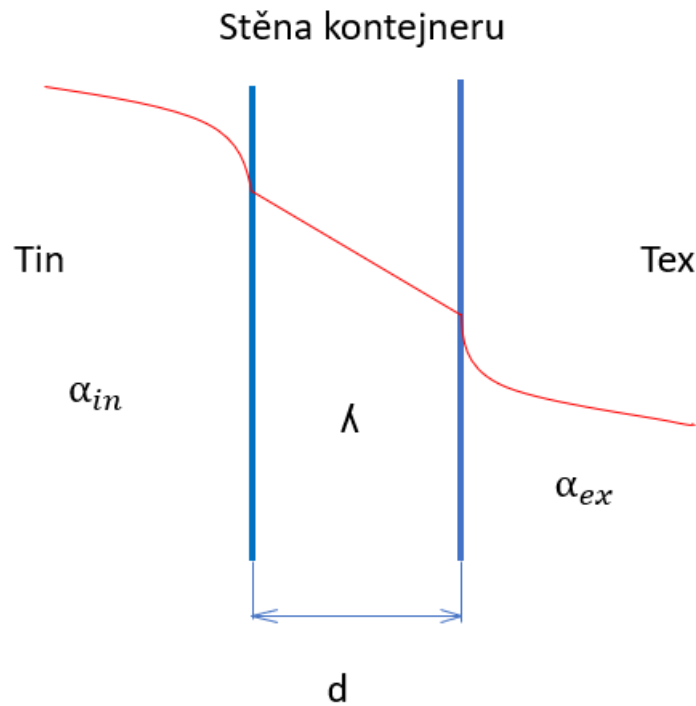
#### Tepelný výpočet

Předpokládám teplotu uvnitř kontejneru při vypuštění 20 °C a nejnižší teplotu ve stratosféře -75°C. Z toho mohu určit únik tepla od vypuštění balonu do skončení expozice.

#### Tepelný tok přestupem a prostupem stěnou kontejneru

Jako materiál tělesa kontejneru bude použit šedý grafitový polystyren, který má lepší izolační vlastnosti než klasický bílý polystyren a má také menší měrnou hmotnost.





Obrázek č.33: Tepelný tok stěnou kontejneru

$$\dot{Q}_P = k \cdot A_K \cdot (T_{in} - T_{ex}) \quad [\text{W}] \quad (1)$$

kde:

$\dot{Q}_P$ ...tepelný tok stěnou kontejneru

$A_K$ ...plocha vnitřního prostoru kontejneru

$T_{in}$ ...teplota uvnitř kontejneru

$T_{ex}$ ...teplota vně kontejneru

$k$ ...součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla  $k$ :

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{in}} + \frac{\delta_k}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{ex}}} \quad (2)$$

kde:

$\alpha_{in}$ ...součinitel přestupu tepla mezi vnitřní stěnou a mezní vrstvou vzduchu

$\delta_k$ ...tloušťka stěny kontejneru

$\lambda$ ...součinitel tepelné vodivosti stěny kontejneru

$\alpha_{ex}$ ...součinitel přestupu tepla mezi vnější stěnou a mezní vrstvou vzduchu

Hodnotu součinitel přestupu tepla  $\alpha_{in}$  pro nenucenou konvekci volím 3. Hodnotu součinitele přestupu tepla  $\alpha_{ex}$  pro nucenou konvekci určím ze vzorce pro Nusseltovo číslo. [22]

$$Nu = \frac{\alpha_{ex} \cdot l}{\lambda} \rightarrow \alpha_{ex} = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} \quad (3)$$

Pro Nusseltovo číslo pro turbulentní proudění platí. [22]

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (4)$$

Kde:

$Nu$ ...Nusseltovo číslo

$l$ ...charakteristický rozměr

$\lambda$ ...součinitel tepelné vodivosti

$Re$ ...Reynoldsovo číslo

$Pr$ ...Prandtlovo číslo

Kde vypočtu hodnotu Reynoldsovo číslo.

$$Re = \frac{v \cdot l \cdot \rho}{\lambda} = \frac{v \cdot l}{\nu} \quad (4)$$

$$Re = \frac{15 \cdot 0,23}{7,59 \cdot 10^{-6}} = 454545$$

A hodnotu Prandtlova čísla vypočtu (pro  $\eta$ ,  $c_P$ ,  $\lambda$  při teplotě  $-75^\circ \text{C}$ )

$$Pr = \frac{\eta \cdot c_P}{\lambda} = \frac{1,37 \cdot 10^{-5} \cdot 1007}{18,1} = 0,737 \quad (5)$$

Kde:

$v$ ...rychlost proudění vzduchu

$\rho$ ...hustota vzduchu

$\nu$ ...kinematická viskozita

$\eta$ ...dynamická viskozita

$c_P$ ...měrná tepelná kapacita

Hodnoty kinematické a dynamické viskozity určím z tabulky pro danou teplotu. [21]  
Nusseltovo číslo potom bude

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} = 0,023 \cdot 454545^{0,8} \cdot 0,737^{0,4} = 683$$

Vypočtená hodnota přestupu tepla na vnější stěně kontejneru bude

$$\alpha_{ex} = \frac{N_u \cdot \lambda}{l} = \frac{683 \cdot 18,1 \cdot 10^{-3}}{0,23} = 53$$

Po dosazení do vzorce pro přestup a prostup tepla

$$\dot{Q}_P = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{in}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{ex}}} \cdot A \cdot (T_{in} - T_{ex}) \quad (6)$$

$$\dot{Q}_P = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{0,045}{0,032} + \frac{1}{53}} \cdot 0,25 \cdot (20 - (-75)) = 12,33 \text{ W}$$

Tepelná energie, která projde stěnou kontejneru za čas  $t$

$$Q_P = \dot{Q}_P \cdot t = 12,33 \cdot 9000 = 110970 \text{ J}$$

**Tepelný tok emisivitou**

$$\dot{Q}_E = \epsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot T_{pk,ex}^4 \quad (7)$$

$$\dot{Q}_E = 0,6 \cdot 0,25 \cdot 5,67^{-8} \cdot 247,6^4 = 31,9 \text{ W}$$

Kde:

$\dot{Q}_E$ ...tepelný tok emisivitou

$\epsilon$ ...součinitel emisivity

$A$ ...plocha kontejneru

$\sigma$ ...Boltzmannova konstanta

$T_{pk,ex,i}$  ...teplota vnější stěny kontejneru

Tepelná energie vyzářená emisivitou za čas  $t$

$$Q_E = \dot{Q}_E \cdot t = 31,9 \cdot 9000 = 287100 \text{ J}$$

**Tepelný tok absorpcí slunečního záření:**

$$\dot{Q}_A = \epsilon_A \cdot A_S \cdot S_D \quad (8)$$

$$\dot{Q}_A = 0,6 \cdot 0,19 \cdot 35 = 40 \text{ W}$$

kde:

$\dot{Q}_A$ ...tepelný tok absorpcí slunečního záření

$\epsilon_A$ ...součinitel absorpce

$A_S$ ...plocha kontejneru ozářená sluncem

$S_D$ ...Intenzita přímé sluneční radiace

Kde intenzita přímé sluneční radiace bude: [23]

$$S_D = S_0 \cdot \exp [-0,097 \cdot Z \cdot (\sin h)^{-0,8}] \quad (9)$$

$$S_D = 1350 \cdot \exp [-0,097 \cdot 3 \cdot (0,15)^{-0,8}] = 351 \text{ W}$$

kde

$S_0$  ...sluneční konstanta

$Z$ ...součinitel znečištění ovzduší ( $Z=3$ , pro měsíc březen)

$h$ ...výška nad obzorem

Výška na obzorem se vypočte. [23]

$$\sin h = 0,766 \cdot \sin \delta - 0,643 \cdot \cos \delta \cdot \cos (15 \cdot \tau)$$

$$(10)$$

$$\sin h = 0,766 \cdot \sin 0 - 0,643 \cdot \cos \delta \cdot \cos 0 (15 \cdot 6) = 0,15$$

Sluneční deklinace bude. [23]

$$\delta = -23,5 \cdot \cos(30 \cdot M) = -23,5 \cdot \cos(30 \cdot 3) = 0$$

Kde:

$\delta$ ...sluneční deklinace

$\tau$ ...sluneční čas

M...měsíc v roce (M=3, měsíc březen)

Z...stupeň znečištění ovzduší (Z=3, pro měsíc březen)

Tepelná energie absorbovaná za čas  $t$

$$Q_A = \dot{Q}_A \cdot t = 40 \cdot 9000 = 360000 \text{ J}$$

**Celkový tepelný tok stěnou kontejneru**

$$Q = Q_P + Q_E + Q_A$$

$$Q = -110570 - 287100 + 360000 = -37544 \text{ J}$$

Změna teploty uvnitř kontejneru

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (11)$$

$$\Delta T = \frac{Q}{m_i \cdot c_{pi}} =$$

$$\Delta T = \frac{-37544}{(m_{cu} \cdot c_{cu} + m_{plast} \cdot c_{plast} + m_{Al} \cdot c_{Al} + m_{vz} \cdot c_{pvz})} =$$

$$\Delta T = \frac{-37544}{(0,061 \cdot 383 + 0,244 \cdot 1465 + 0,031 \cdot 895 + 0,01 \cdot 1000)} = -89 \text{ K}$$

Kde:

$Q$ ...celkový tepelný tok stěnou kontejneru

$m_i$ ...hmotnosti jednotlivých zařízení uvnitř kontejneru

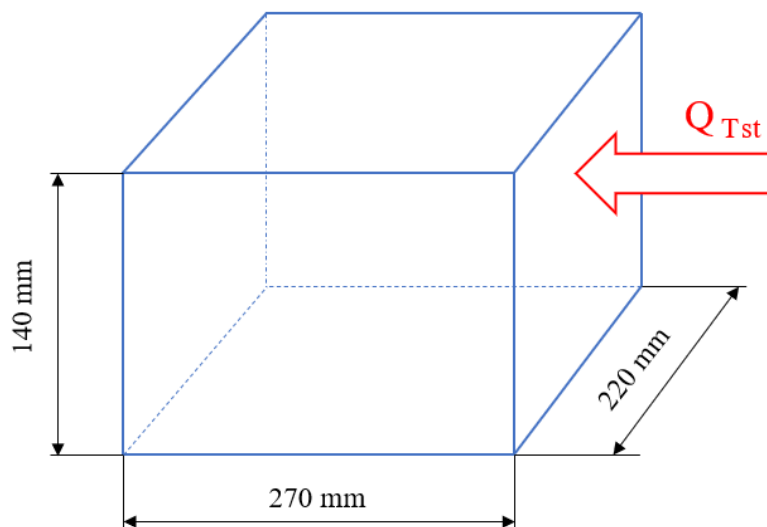
$c_i$ ...měrné tepelná kapacita součástí uvnitř kontejneru

$\Delta T$  rozdíl teploty uvnitř kontejneru

Z toho vyplývá, že při dané tloušťce polystyrenové stěny poklesne po skončení expozice teplota vzduchu uvnitř kontejneru na  $-69\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tedy teploty ve stratosféře a uvnitř kontejneru se téměř vyrovnají. Z toho vyplývá, že bude potřeba zajistit ohřev vnitřního prostoru kontejneru.

## Vyhřívání vnitřního prostoru kontejneru

Potřebný tepelný výkon topného prvku ve stratosféře



Obrázek č.34: Vnitřní prostor kontejneru

Tepelný výkon budu počítat pro nejnižší teplotu ve stratosféře  $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vnitřní prostor vyhřívajícího prostoru má plochu  $0,25\text{ m}^2$ . Teplota uvnitř kontejneru by se měla udržet na  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$Q_{Tst} = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{\delta} = \frac{0,032 \cdot 0,25 \cdot 75}{0,045} = 13,33\text{ W} \quad (12)$$

Během stoupaní do stratosféry budu uvažovat průměrnou teplotu  $-37,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tepelný výkon během výstupu a sestupu bude

$$Q_{Tv} = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{\delta} = \frac{0,032 \cdot 0,025 \cdot 37,5}{0,045} = 6,61\text{ W}$$

Kde:

$Q_{Tst}$ ...tepelný tok ve stratosféře

$\lambda$ .....měrná tepelná kapacita

$A$ .....vnitřní plocha kontejneru

$\Delta T$ .....rozdíl teplot

$\delta$ .....tloušťka stěny kontejneru

$Q_{Tv}$ ...tepelný výkon během výstupu

Při teplotě  $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$  bude kontejner po dobu 1 hodiny. Elektrická energie potřebná ve stratosféře bude

$$W_{Tst} = P \cdot t = Q_{Tst} \cdot t_{st} = 13,33 \cdot 1 = 13,33\text{ Wh} \quad (13)$$

Při stoupaní i klesání uvažuji lineární pokles teploty. Elektrická energie potřebná během výstupu a sestupu bude

$$W_{Tv} = P \cdot t = 2 \cdot Q_{Tv} \cdot t_v = 2 \cdot 6,67 \cdot 1,5 = 20\text{ Wh} \quad (14)$$

Celková potřebná energie bude

$$W_C = W_{Tst} + W_{Tv} = 13,33 + 20 = 33,33\text{ Wh} \quad (15)$$



Kde:

$W_{Tst}$ ...elektrická energie potřebná ve stratosféře

$t_{st}$ ...čas ve stratosféře

$W_{Tv}$ ... elektrická energie potřebná při výstupu

$t_v$ ...čas výstupu

$W_C$ ...celková elektrická energie

Pro napájení topného prvku volím článek Li-Pol 18650 o napětí 3,7V. Vypočtu celkovou potřebnou kapacitu

$$C = \frac{W_C}{U_{\text{čl}}} = \frac{33,3}{3,7} = 9 \text{ Ah} \quad (16)$$

Při použití 3 článků bude minimální potřebná kapacita 1 článku

$$C_{1,min} = \frac{W_C}{3 \cdot U_{\text{čl}}} = \frac{23,3}{3 \cdot 3,7} = 3 \text{ Ah} \quad (17)$$

Proto volím článek 18650 o kapacitě 3,4 Ah. Jeho energie bude

$$W_{1\text{čl}} = U_{\text{čl}} \cdot C_{\text{čl}} = 3,7 \cdot 3,4 = 12,58 \text{ Wh} \quad (18)$$

Energie třech článků bude

$$W_{3\text{čl}} = 3 \cdot 12,58 = 37,74 \text{ Wh}$$

Kde:

$C$ ...kapacita článku

$U_{\text{čl}}$ ...napětí článku

$C_{1,min}$ ...minimální kapacita jednoho článku

$W_{1\text{čl}}$ ...elektrická energie jednoho článku

$W_{3\text{čl}}$ ... elektrická energie třech článků

Z toho vyplývá, že při použití 3 bateriových článků bude rezerva energie

## Návrh topného tělesa

Napětí třech článků bude  $3 \times 3,7 \text{ V}$ , tedy  $11,1 \text{ V}$ . Ve chvíli, kdy budou téměř vybité, dojde k poklesu napětí na přibližně  $10 \text{ V}$ . Z toho určím celkový odpor topného tělesa. Kvůli rezervě budu počítat s tepelným výkonem ve stratosféře  $14 \text{ W}$ .

$$P_{min} = U_{min} \cdot I_T \quad (19)$$

Z toho určím proud topného tělesa

$$I_T = \frac{P_{min}}{U_{min}} = \frac{14}{10} = 1,4 \text{ A}$$

A odpor topného tělesa

$$R_T = \frac{U_{min}}{I_T} = \frac{10}{1,4} = 7,14 \Omega \quad (20)$$

Jako topné těleso jsem zvolil topnou rohož s  $5 \text{ V}$  (USB) napájením s výkonem  $5 \text{ W}$ . Odběr proudu je tedy  $1 \text{ A}$  a odpor celého nezkráceného segmentu bude  $5 \Omega$ .

$$R_C = \frac{U}{I} = \frac{5}{1} = 5 \Omega$$

Kde:

$P_{min}$ ... minimální výkon

$U_{min}$ ... minimální napětí článků

$I_T$ ... proud topného článku

$R_T$ ... odpor zkráceného topného článku

$R_C$ ... odpor nezkráceného



Obrázek č. 35: Topná rohož 5 W. [25]

U této topné rohože bude upravena její délka, abychom dostali odpor  $7,14 \Omega$ . Použiji vzorec pro vodivost. Kde vodivost upravené délky topného tělesa bude

$$G_L = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{7,14} = 0,14 \text{ S} \quad (21)$$

Vodivost celého topného tělesa při odporu  $5 \Omega$  bude

$$G_T = \frac{1}{R_C} = \frac{1}{5} = 0,2 \text{ S}$$

Z toho určím poměrnou část délky, na kterou je potřeba zkrátit pás topného tělesa

$$L_p = \frac{G_L}{G_T} \cdot 100 = \frac{0,14}{0,2} \cdot 100 = 70 \% \quad (22)$$

Protože chci topný výkon rozdělit rovnoměrně, rozdělením zkrácené části topného tělesa na dvě stejné části, které budou obklopotvat vyhřívavý prostor. Rozdělení topného segmentu a následným paralelním spojením se elektrické vlastnosti topného tělesa nezmění.

Odpor jednoho tělesa po rozdělení na dvě části bude.

$$R_1 = 14,28 \Omega$$

Kde:

$G_L$ ...vodivost zkrácené části topného článku

$G_T$ ... vodivost celého nezkráceného topného článku

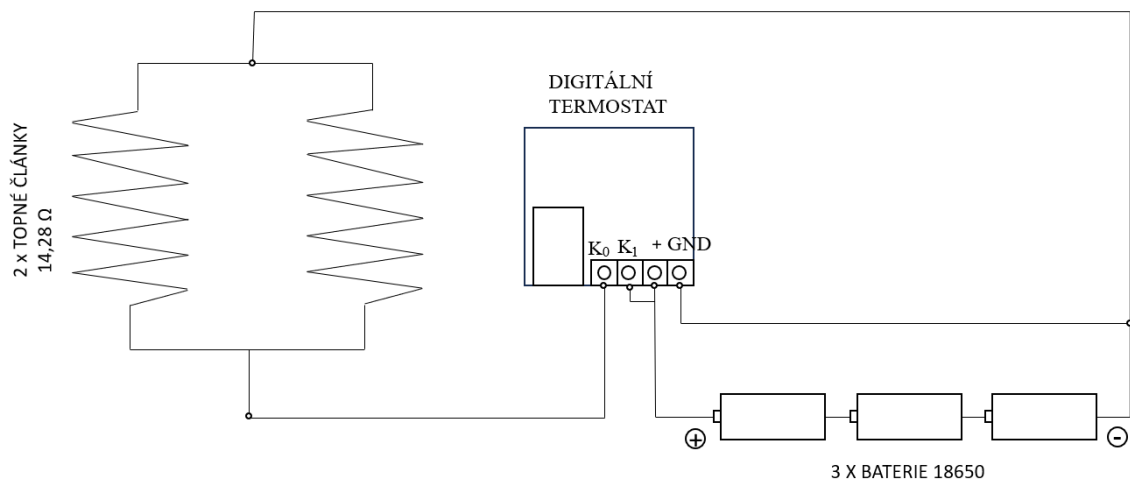
$L_p$ ...zkrácená délka topného článku

$R_1$ ...odpor jednoho zkráceného topného článku

K regulaci teploty bude použit digitální termostat W1209 12VDC. Čidlo termostatu jsem umístil k tepelně nejcitlivější části vyhřívaného prostoru, kterým je Arduino.



Obrázek č.36 Digitální termostat W1209 12VDC. [26]



Obrázek č.37: Schéma zapojení topných článků a digitálního termostatu.

### 3.2.12 Čidlo tlaku

Tlakové čidlo bude umístěno uvnitř kontejneru v plastovém boxu. Po dosažení výšky na spodní hranici stratosféry bude aktivovat otevření krabičky s biologickými vzorky. Jeho měřicí rozsah je 0 až 1 PSI. Čidlo tlaku bude umístěno ve vnitřním prostoru kontejneru v boxu pro elektroniku. Senzor je kalibrován a teplotně kompenzovaný. Poskytuje přesný a stabilní výstup v širokém teplotním rozsahu. Výstup senzoru je úměrný k napájecímu napětí 4,5 V až 5,5 V.



Obrázek č.38: Čidlo tlaku. [16]

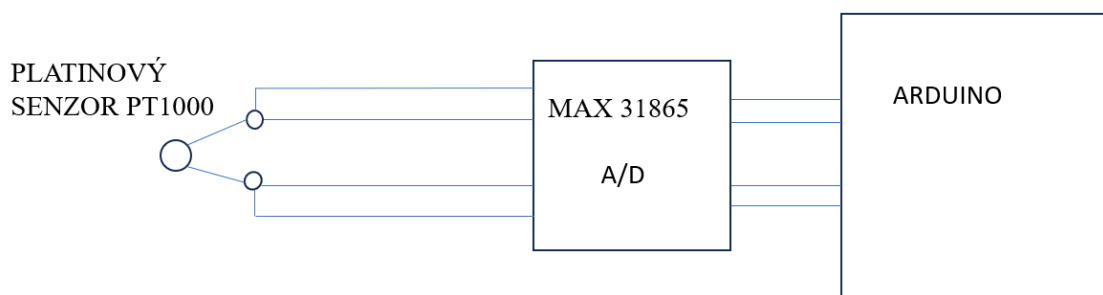
### 3.2.13 Platinový teplotní senzor PT1000

Yageo Nexenos M310 5014253 platinový teplotní senzor zajišťuje měření teploty v průběhu experimentu. Rozsah měření je od  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Výstup má napájecí napětí 3 V až 5,5 V. Měřicí proud je 0,1A až 0,3 A. Rozměry 13 mm x 1,0 mm x 0,8 mm. Hmotnost 0,5 g.



Obrázek č.39: Senzor teploty. [17]

Pro teplotní platinové čidlo bude třeba použít modul převodníku s rozhraním SPI MAX 31865. Modul je dodáván v konfiguraci pro použití PTC čidel typu PT100. Napájení je 3,3-5,5V. Čtyřvodičové zapojení je z důvodu co nejpřesnějších výsledků měření. [35]



Obrázek č.40 Schema zapojení platinového teplotního senzoru přes převodník MAX31865 s Arduinem

### 3.2.14 Senzor UVB/UV záření ML8511

Senzor UVB záření slouží pro měření ultrafialového světla. Výstupní signál je analogový, v závislosti na množství UV záření, které je detekováno ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ ). Senzor detekuje vlnový rozsah UVB spektra 280–390 nm. Rozměry senzoru jsou 13 mm x 11 mm x 1 mm.



Obrázek č.41: Senzor UV záření. [18]

### 3.2.15 Senzor VIS světla

Senzor je umístěný na vnější straně kontejneru, aby měřil intenzitu viditelného světla během experimentu. Je upevněný na držáku na přední straně kontejneru. Jde o 11 kanálový senzor viditelného světla s integrovaným čipem AS7341. Využívá novou generaci integrovaného obvodu – spektrální senzor. Modul má osm kanálů viditelného světla, infračervený kanál a jeden kanál bez filtru. Senzor je vybaven 6 nezávislými 16bitovými kanály ADC, umožňující paralelní zpracování dat.



Obrázek č.42: Senzor viditelného světla (VIS). [19]

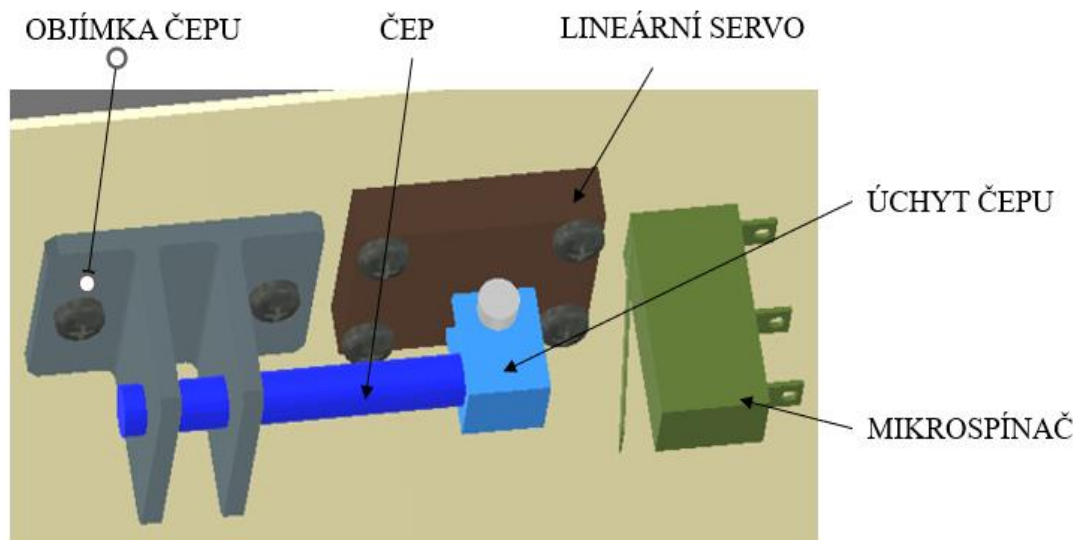
### 3.2.16 Lineární servo H2040T 2,9g

Lineární servo bude sloužit k odpojení kontejneru po skončení experimentu. Aby bylo zaručeno přerušení dodávky proudu do Lineárního serva po odpojení, je do obvodu vložen koncový spínač. [32] Lineární servo bude umístěno na přepážce ve vnitřním prostoru kontejneru, tak aby ocelová objímka, do které je zasunut čep připojený k lineárnímu servu byla uprostřed vnitřního prostoru kontejneru při pohledu shora. V objímce bude na čepu navlečena šňůra k balonu a také šňůra od padáku. Po aktivaci lineárního serva se obě šňůry uvolní. Dojde k odpojení kontejneru od balonu a zároveň k rozvinutí padáku. Hmotnost serva je 2,9 g. Rozměry 19 mm x 24 mm x 9 mm. Napájecí napětí 4 V–6 V. [31]



Obrázek č.43 Lineární servo H2040T 2,9g





Obrázek č.44: Mechanismus odpojení kontejneru od balonu.

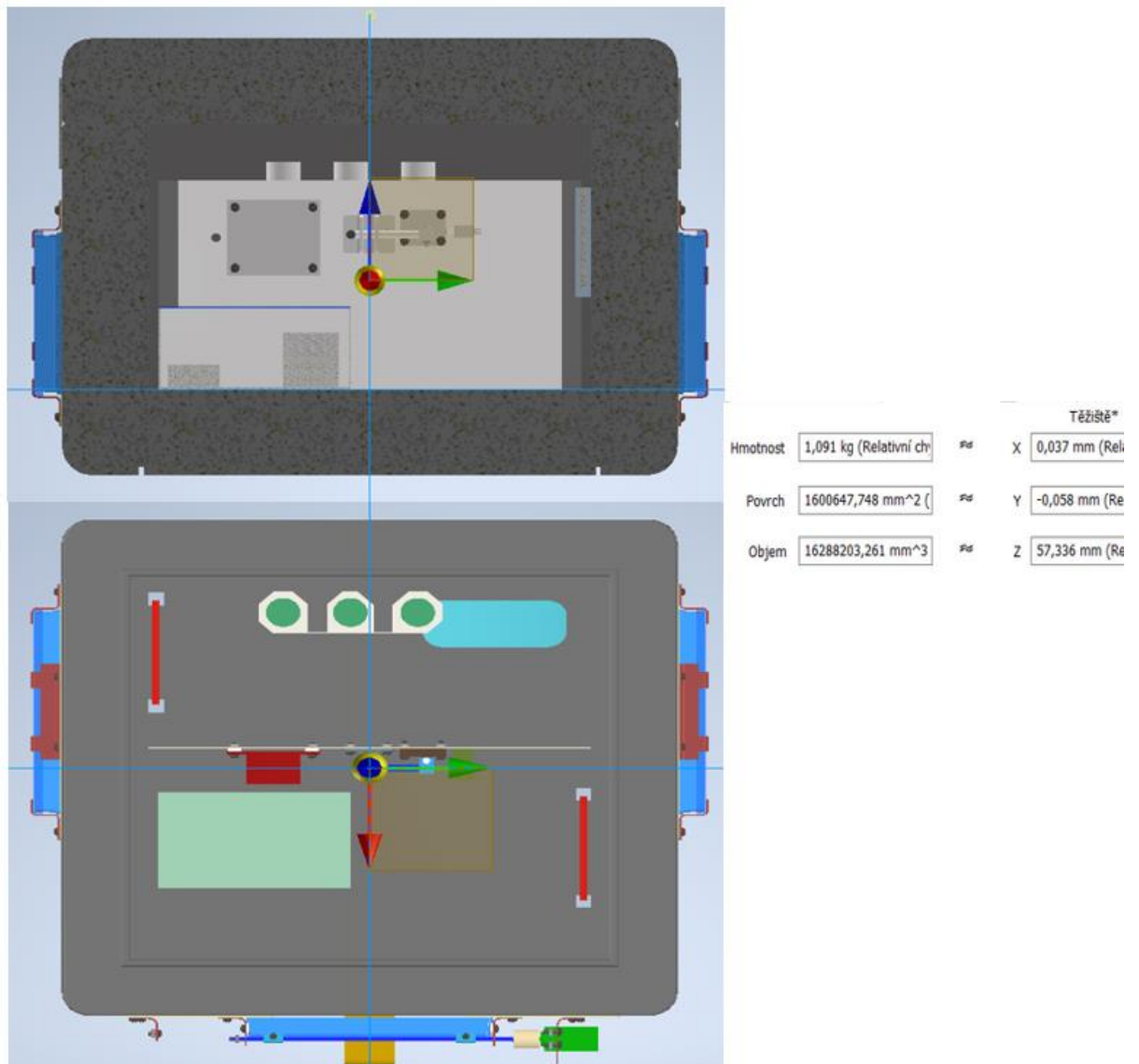
### 3.2.17 Hmotnost kontejneru se zařízením

Tabulka 2: Hmotnosti částí kontejneru

Název součásti	Počet kusů	Hmotnost (g)
<b>Elektronická a elektromechanická zařízení</b>		
Servo STX 5	1x	16
Flash disku ESONIC CAM -7	1x	22
Teploměr	1x	0,5
Senzor UV	1x	0,5
Senzor VIS	1x	0,5
Čidlo tlaku	1x	0,5
GPS	1x	41
Arduino	1x	15
Baterie Li-Pol	1x	19
Lineární servo	1x	2,9
Mikrospínač	1x	2,5
Baterie Li-Ion	3x	44
Topné těleso	2x	7
<b>Mechanické součásti</b>		
Úchyt ke krabičkám	8x	4
Úchyt k otevírání krabičky	1x	7
Otevírací panty	2x	5
Hřídel k servu STX5	1x	3
Adaptér	1x	2
Úchyt serva STX5	1x	4

Čep lineárního serva	1x	6
Úchyt čepu	1x	7
Objímka čepu	1x	8
Úchyt senzorů	1x	4
Šroub	17x	1
Matice	17x	0,45
<b>Kontejner a jeho součásti</b>		
Spodní část kontejneru	1x	169
Víko kontejneru	1x	69
Přepážka kontejneru	1x	42
Úchyt přepážky kontejneru	4x	16
Box pro elektroniku	1x	15
Schránka pro Li-Ion bateriové články	1x	25
Úchyt topných těles	4x	6
Deska pro úchyty krabiček	2x	11
Suchý zip k víku	4x	24
Krabičky s agarem	3x	60
<b>Hmotnost celkem</b>		10

## Poloha těžiště



Obrázek č.45: Poloha těžiště kontejneru vzhledem k hlavním rovinám.

### 3.2.18 Návrh a umístění návratového zařízení

Padák bude umístěn vně kontejneru. Bude zavěšen na šňůře mezi balonem a kontejnerem. Bude zavěšen pomocí kroužku na šňůře k balonu. To zajistí, že při mechanickém odpojení kontejneru od balonu dojde k okamžitému rozevření padáku. Vzhledem k řídkému vzduchu bude počáteční rychlost klesání přibližně 50 m/s. I přesto, že je ve stratosféře řídký vzduch, tato rychlost stačí k rozevření padáku bez dvoustupňového cyklu. Pro případ, že by záskub za padákovou šňůru byl tak silný, že by

se padák utrhnul, je možné zvětšit padací otvor ve vrchlíku. Po klesnutí do dolních vrstev atmosféry se rychlost klesání sníží na 5 m/s pro bezpečné dosednutí na zem.

### Výpočet velikosti padáku

Účelem padáku bude zajišťovat pádovou rychlost pod 5 m/s. Pro tento výpočet bylo nutné provést rešerši komerčně dostupných padáků a jejich koeficientů odporu  $C_d$ . Pro tento účel jsou dostupné padáky s koeficientem  $C_d=0,66$ .

Plochu padáku pak lze spočítat jako

$$A_p = \frac{2 \cdot M_{uz} \cdot g}{\rho_{vz} \cdot C_d \cdot v^2} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 9,81}{1,225 \cdot 0,66 \cdot 5^2} = 0,97 \text{ m}^2 \quad (23)$$

Kde:

$A_p$ ...plocha padáku

$M_{uz}$  hmotnost užitečné zátěže

$g$ ... tíhové zrychlení

$\rho_{vz}$ ... hustota vzduchu

$C_d$ ... koeficient odporu

$v$ ... rychlost klesání

Minimální průměr vrchlíku padáku bude

$$D_{Pmin} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_p}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,97}{\pi}} = 1,11 \text{ m} \quad (24)$$

Zvolil jsem meteorologický padák od firmy Pegas. Mým požadavkům vyhovuje padák s průměrem vrchlíku 1,5 m. Pro zmírnění rázu při otevření je ve vrchlíku padáku otvor o průměru 0,15 m. Hmotnost padáku je 0,15 kg.



Obrázek č.46: Meteorologický padák od firmy Pegas. [30]

### Výpočet rázové síly v okamžiku otevření padáku

Rázovou působící na padák vypočtu podle vztahu. [36]

$$F_x = (C_D S)_p \cdot q \cdot C_x \cdot X_1 \quad (25)$$

$$F_x = (C_D S)_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_{vz} \cdot v_0^2 \cdot C_x \cdot X_1$$

$$F_x = 1,22 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 50^2 \cdot 1,6 \cdot 0,32 = 956,5 \text{ N}$$

Kde:

$F_x$ ...rázová síla při otevření

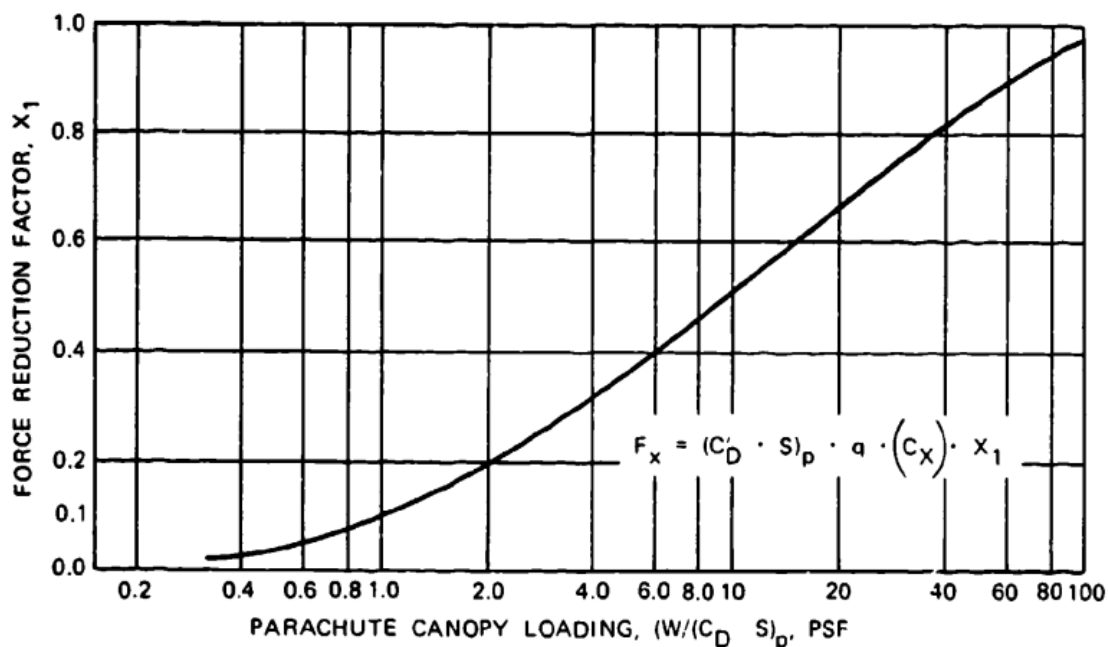
$(C_D S)_p$ ...plocha padáku

$q$ ... dynamický tlak

$v_0$  ... rychlost padáku při otevření

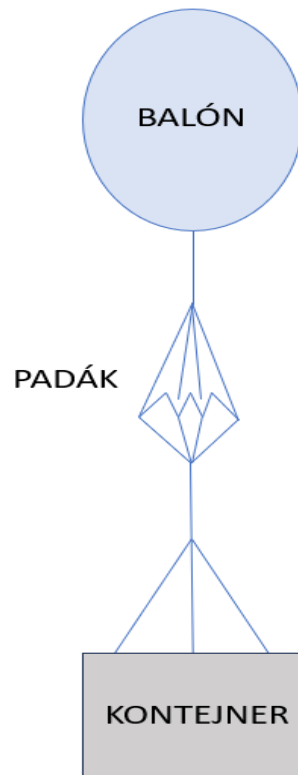
$C_x$  ... koeficient daný typem padáku (Příloha 1)

$X_1$  ... zmírňující koeficient (viz. Obrázek.č.45)

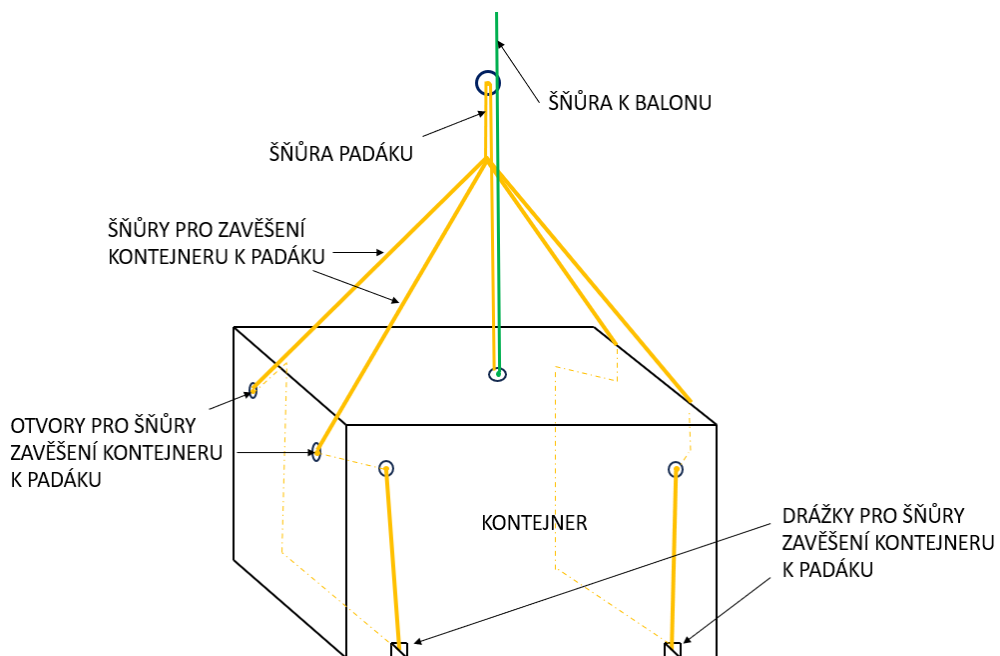


Obrázek č.47: Zmírňující koeficient. [36]

Padák firmy Pegas má 8 šňůr, každá s nosností 20 kg. Při průměru šňůry 20 mm to odpovídá tlaku 53,8 MPa na jednu šňůru. Rázová síla  $F_x$  vyvodí tlak na jednu šňůru 38,1 MPa. Tedy zvolený padák by měl rázovou sílu vydržet.



Obrázek č.48: Umístění návratového zařízení mezi balón a kontejner



Obrázek č.49: Schéma zavěšení kontejneru k padáku

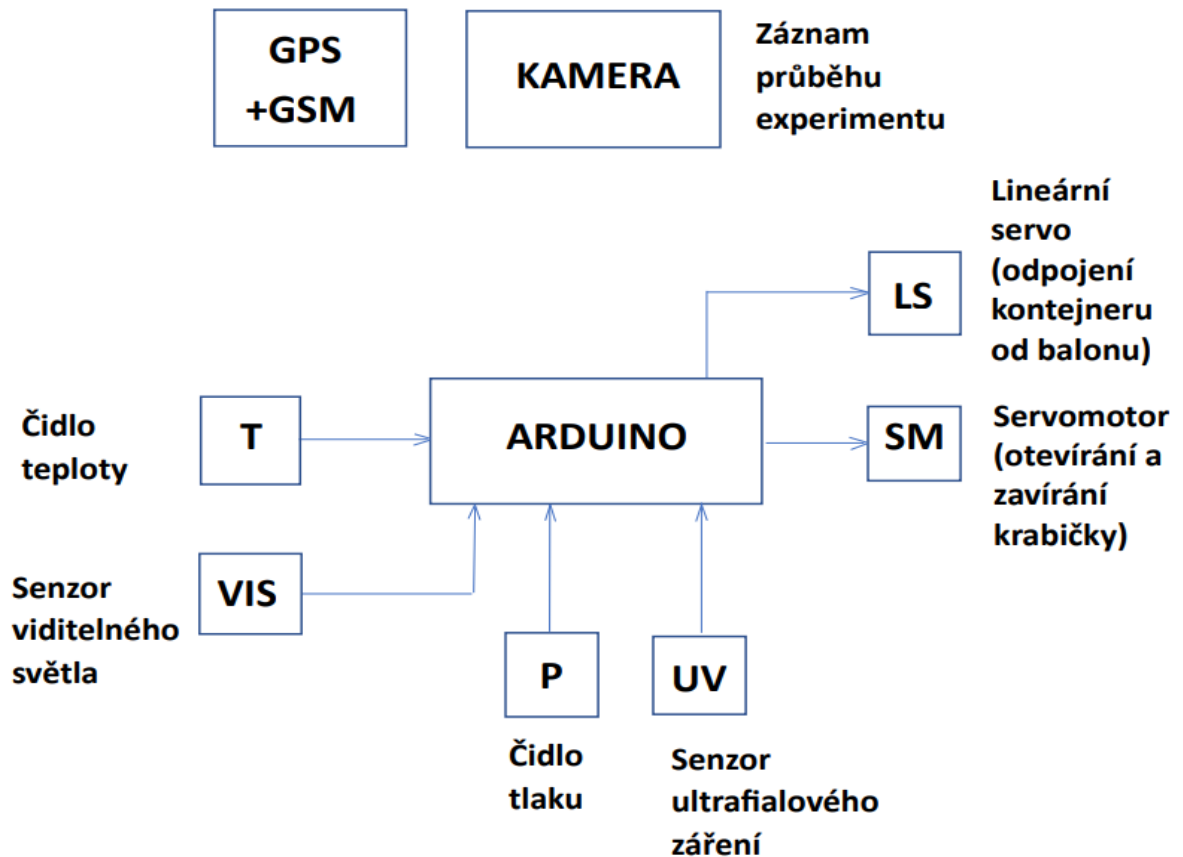
### 3.2.19 Provozní parametry přístrojů a blokové schéma

Tabulka 3: Provozní parametry přístrojů a senzorů

Přístroj, Senzor	Teplota, Tlak (provozní rozsah)	Rozměry (mm)	Hmotnost (g)	Splnění podmínek
Servo STX 5	Neuvedeno	30x30x15	20	Ano, potvrzeno testem
Servo H2040T	Neuvedeno	19x20x9	2,9	Ano
Kamera ESONIC CAM-U7	Neuvedeno	82x26x13,5	22	Není známo
GPS lokátor TKSTAR	-20 °C až + 55 °C	79x29x18	41	Ano, pokud bude umístěno uvnitř
Senzor teploty Pt 1000	-70 °C až 380 °C		2	Ano
Čidlo tlaku	-25 °C až 85 °C 0-1 PSI	12,7x15,5	0,5	Ano, pokud bude umístěno uvnitř
Senzor UVB	Není známo	13x11x1	4	Není známo
Senzor VIS	-30 °C až 85 °C	18x14	3	Není známo
Aduino nano R3	Není známo	22x18x12	15	Ano, pokud bude umístěno uvnitř
Baterie GEB-803040+	Není známo	7,5x29x41	19	Ano



## Blokové schéma zařízení



Obrázek č.50: Blokové schéma zařízení

## 3.3 Postup montáže kontejneru

### Vnitřní část Kontejneru

Do spodní části kontejneru se vlepí přepážka z polystyrenu (HIPS) pomocí rohových příložek, na kterou bude přišroubováno lineární servo s čepem. Přišroubuje se objímka, do které se nasune čep lineárního serva. Otvor čepu se bude nacházet ve středu kontejneru v půdorysném pohledu. Na dno kontejneru vlepena krabička s elektronikou, ve které bude uloženo Arduino, čidlo teploty a Li-Pol bateriový článek. Na dně kontejneru bude přichycen i GPS modul. (pomocí suchého zipu). Na stěny kontejneru budou připevněny v polystyrenových držácích topné segmenty, v každé části oddělené přepážkou jeden. Na stěně přepážky kontejneru v blízkosti boxu pro elektroniku bude

přípevněn pomocí šroubů digitální termostat. Tím bude montáž mechanických součástí a elektroniky do vnitřního prostoru kontejneru hotová.

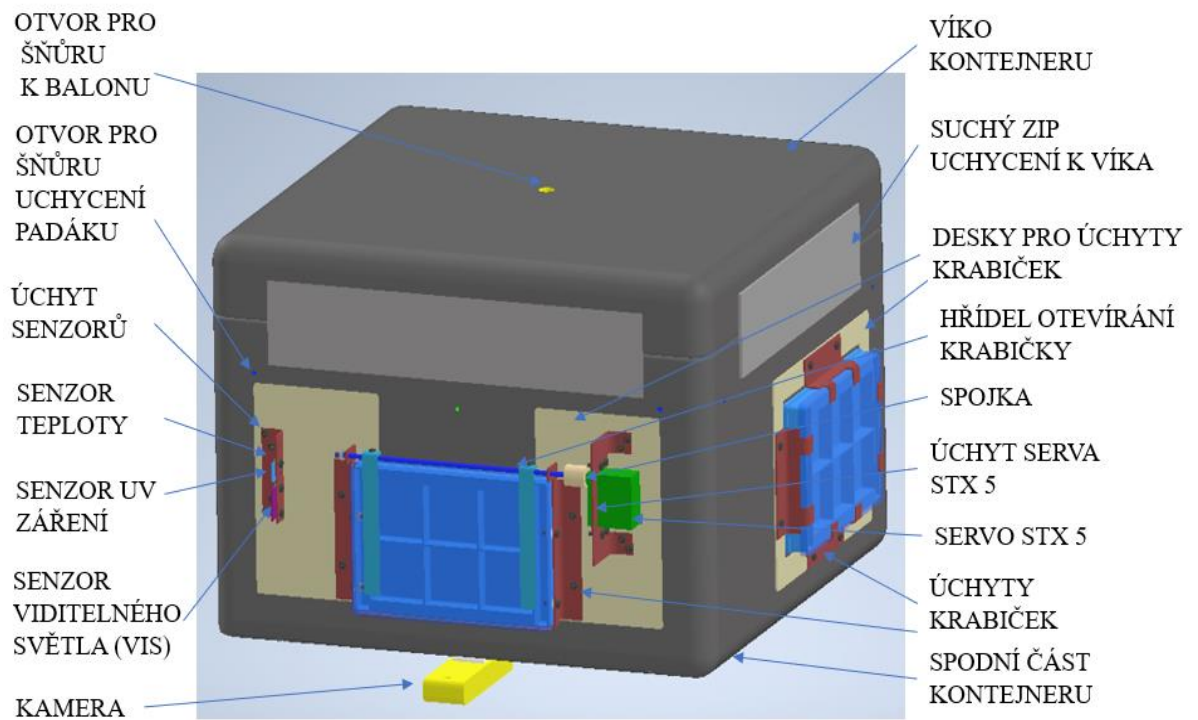
## **Vnější část Kontejneru**

Na čelní stěnu kontejneru budou přilepeny desky z HIPS, ke které budou přišroubovány úchyty krabičky pro otevřenou expozici. K těmto úchytům bude pomocí šroubů uchycena spodní část otevírací krabičky. K víku otevírací krabičky budou přilepeny úchyty víka, do kterých bude nasunuta hřídel a zajištěna maticí. K pravé desce bude přišroubován i úchyt serva STX5, do kterého bude servo přípevněno rovněž pomocí šroubů. Servo STX5 bude spojeno s hřídelí pomocí adaptéru vytištěného z ABS plast. Na levou desku bude přišroubován úchyt senzorů, ke kterému bude přípevněn senzor teploty, senzor UV záření a senzor viditelného světla (VIS). Otvorem nad hřídelem budou přivedeny dráty vedení od Arduina pro ovládání serva STX5 a napájení z Li-Pol baterie umístěné ve vnitřní části kontejneru. Na boční stěny kontejneru budou pomocí úchytů, které budou přípevněny šrouby k deskám na stěně kontejneru přichyceny krabičky. Na jednu boční stěnu zakrytá krabička a na druhou krabička stíněná hliníkovou fólií. Rázová síla od otevření padáku se bude přenášet přes šroubové spoje úchytů krabiček na plastové desky přilepené ke kontejneru. Na lepené spoje bude použito epoxidové dvousložkové lepidlo pro velmi nízké teploty Scotch Weld 2216. Na spodní plochu kontejneru bude přilepen suchý zip, ke kterému bude uchycena kamera ve flash disku CAM-7.

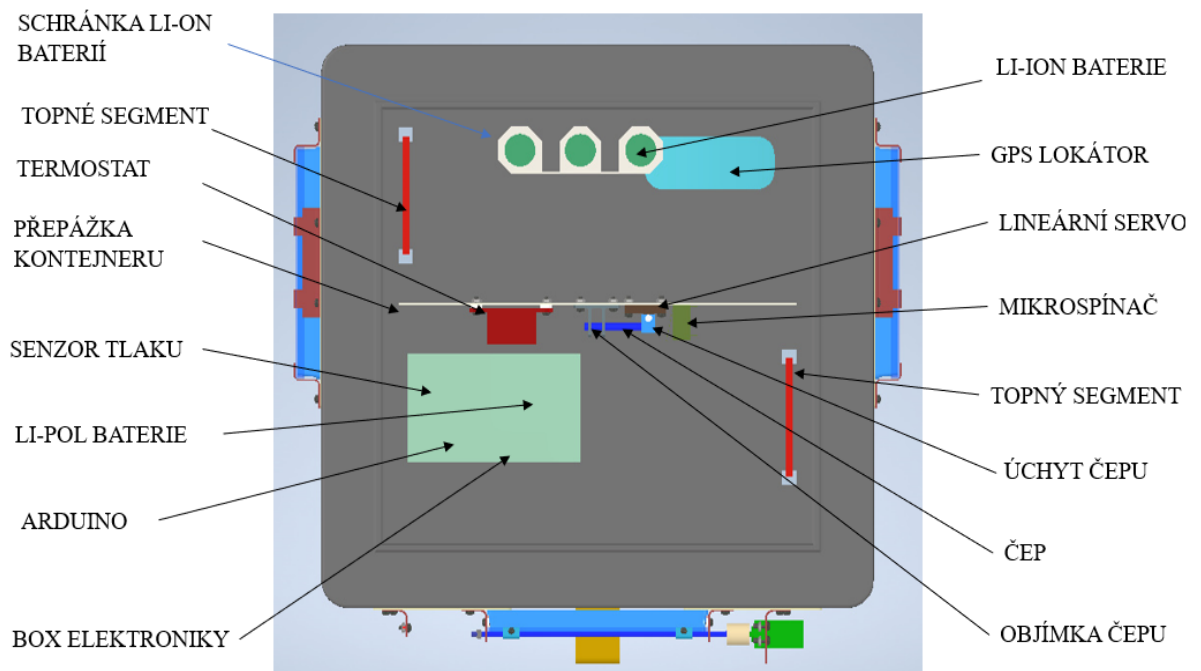
## **Uchycení kontejneru k balonu a padáku**

Padák bude uchycen ke kontejneru pomocí šňůr, které budou pro vedeny v drážkách na spodní stěně kontejneru a protaženy otvory v rozích kontejneru, odkud povedou k hlavní padákové šňůře (Obrázek č.49).

### 3.4 Umístění zařízení na kontejneru



Obrázek č.51: Umístění zařízení na vnější části kontejneru.



Obrázek č.52: Umístění zařízení ve vnitřní části kontejneru.

### 3.5 Provoz kontejneru

Po vypuštění kontejneru zavěšeného pod balonem začne výstup do stratosféry. Asi ve výšce 20 km se pomocí tlakového senzoru spustí otevření krabičky servem STX 5. Krabička zůstane po dobu jedné hodiny v otevřené poloze, aby se zajistila expozice vzorků. Ostatní krabičky zůstanou zavřené. Všechna data se budou ukládat na úložiště dat arduina (tlak, teplota, data z UV senzoru a VIS senzoru). Kamera ve flash discu bude zapnutá už při startu, protože nahrávací doba bude stačit na celou dobu výstupu i expozice. Po uplynutí jedné hodiny od otevření víka krabičky se aktivuje lineární servo, které odpojí kontejner od balonu. Mikrospínač provede přerušování obvodu a zajištění serva v otevřené poloze. Po odpoutání balonu od kontejneru se naplní vzduchem padák zavěšený pod balonem, který bude držet kontejner ve stabilní poloze při klesání. Kontejner přistane na zem bezpečnou rychlostí. Signál z GPS umožní dohledání kontejneru v terénu. Data získaná při expozici bude možné stáhnout pomocí USB konektoru.

## 4. ZÁVĚR

Diplomová práce byla vypracovaná podle zadaných požadavků. Nejprve byla zpracovaná rešerše stávajících zařízení biologických stratosférických experimentů. Jednalo se o zařízení E-MIST, STRATOB0x, BIOPAN A EXPOSE, Stratobox a Stratocaching. Ze závěru rešerše byly definovány zobecňující požadavky na stratosférické expoziční experimenty. Zejména požadavky na umístění vzorků, konstrukční a materiálové požadavky na kontejner, požadavky na letový provoz a návratové zařízení. Tyto požadavky byly následně blíže specifikovány v koncepčním návrhu. Jednotlivé body koncepčního návrhu byly poté zpracovány v konstrukčním návrhu. Byly stanoveny požadavky na parametry balonu, který ponese kontejner do stratosféry. Z doby letu byl určen způsob napájení a potřebná kapacita baterie pro napájení přístrojů. Bylo stanoveno, že krabičky se vzorky budou umístěny na vnějším povrchu na stěnách kontejneru. Vzorky budou umístěny do krabiček se šesti buňkami, které jsou používány biology. Byl určen rozměr vnitřního prostoru kontejneru, aby do něj bylo možné umístit všechna potřebná zařízení a elektroniku. Pro ukládání dat během provozu a řízení ovládání elektroniky bylo použito arduino. Záznam experimentu bude

proveden kamerou umístěnou ve flash disku umístěným na spodní stěně kontejneru. K otevírání víka krabičky pro otevřenou expozici bylo zvoleno servo STX 5, které bude umístěné na vnější stěně kontejneru. Aby bylo možné lokalizovat polohu kontejneru po skončení mise, je instalován GPS modul, který je napájený samostatně. Největší pozornost byly věnována materiálu kontejneru, ze kterého je vyroben kontejner. Kvůli hledisku nízké hmotnosti a tepelně izolačním vlastnostem byl zvolen grafitový polystyren. Byla navržena tloušťka stěny a následně proveden tepelný výpočet prostupu tepla během pobytu ve stratosféře, ze kterého vyplynulo, že tento materiál i přes své izolační vlastnosti nedovede udržet potřebnou provozní teplotu po celou dobu letu. Proto byl proveden návrh topného segmentu, který by po dobu stoupání, expozice ve stratosféře a klesání zajistil, aby teplota uvnitř kontejneru neklesla pod 0 °C, což je dostačující teplota pro provoz senzorů a elektrických zařízení. Provoz topných segmentů bude řídit digitální termostat umístěný u nejcitlivějšího zařízení uvnitř kontejneru, kterým je arduino. Sensory teploty, UV záření a viditelného záření (VIS) budou umístěny na vnější stěně kontejneru. Senzor tlaku bude umístěn uvnitř kontejneru. Funkce serva STX 5 umístěného na vnější stěně kontejneru byla ověřena jeho umístěním do mrazicího boxu s teplotou -18° C. Pro zajištění jeho funkce ve stratosféře, kde je teplota nižší bude ze serva odstraněno mazivo, které by mohlo zatuhnout. Protože doba činnosti tohoto serva bude velmi krátká, lze předpokládat, že splní v podmínkách stratosféry svoji funkci. Pozornost byly věnována co nejnižší hmotnosti zařízení a také jeho těžišti. Přístroje a zařízení byly rozmístěny tak aby bylo těžiště ve středu kontejneru, kde se nachází místo pro zavěšení kontejneru ke balonové šňůře. Poloha těžiště byla zobrazena v programu Inventor, ve kterém byl celý model kontejneru vytvořen. Odpojení kontejneru od balonu po skončení mise zajistí lineární servo, které vytáhne čep z objímky a uvolní šňůru od balonu a zároveň i šňůru od padáku, který se tím aktivuje. Návrhovým zařízením bude meteorologický padák firmy Pegas, který bude zavěšený na kroužku mezi balonem a kontejnerem. Výpočtem byly ověřena rázová síla při otevření padáku. Velikost padáku byla stanovena tak, aby se kontejner snesl na zem bezpečnou rychlostí. Kontejner byl navržen tak aby splnil všechny zadané požadavky, a aby splnil svoji funkci při misi ve stratosféře a dopravil biologické vzorky bezpečně zpět na zem pro jejich následné vyhodnocení.

## Seznam zdrojů

- [1] Thomas Niederberger, „Extremophile | Definition, Types, Examples, & Facts | Britannica”, Britannica. 15. prosinec 2021. Viděno: 4. prosinec 2022. [Online]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/extremophile#ref1089059>.
- [2] The Editors of Encyclopaedia, „Abyssal zone”, Britannica. 9. únor 2014. Viděno: 12. říjen 2022. [Online]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/Bergmanns-Rule>.
- [3] Jana Hamplová, Expoziční experimenty na stratosférických balónech jako metoda detekce limitů života řas. 2023 Středoškolská odborná činnost Obor č. 8: Ochrana a tvorba životního prostředí.
- [4] A Balloon-Based Payload for Exposing Microorganisms in the Stratosphere (E-MIST) [online]. 2011 [cit. 2021-02-22]. NASA. Dostupné z WWW: < [https://www.researchgate.net/publication/270274949\\_A\\_Balloon-Based\\_Payload\\_for\\_Exposing\\_Microorganisms\\_in\\_the\\_Stratosphere\\_E-MIST](https://www.researchgate.net/publication/270274949_A_Balloon-Based_Payload_for_Exposing_Microorganisms_in_the_Stratosphere_E-MIST)>.
- [5] MARSBOx: Fungal and Bacterial Endurance From a Balloon-Flown Analog Mission in the Stratosphere [online]. 2011 [cit. 2021-02-22]. Frontiers in Microbiology. Dostupné z WWW: <[https://www.researchgate.net/figure/MARSBOx-payload-labeledmodel\\_fig2\\_349495107](https://www.researchgate.net/figure/MARSBOx-payload-labeledmodel_fig2_349495107)>.
- [6] The past, present and future of BIOPAN [online]. 2019 [cit. 2009-03-11]. Science direct Dostupné z WWW: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0273117705009130> >.
- [7] Exposure experiments installed outside International Space Station [online]. 2019 [cit. 2009-03-11]. Science and Exploration Dostupné z WWW: <[https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Human\\_and\\_Robotic\\_Exploration/Exposure\\_experiments\\_installed\\_outside\\_International\\_Space\\_Station](https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exposure_experiments_installed_outside_International_Space_Station) >.
- [8] Vesmírné expoziční platformy BIOPAN a EXPOSE ke studiu živých organismů ve vesmíru [online]. [cit 2006-01-01]. Dostupné z WWW: < [https://www.researchgate.net/publication/234497755\\_The\\_space\\_exposure\\_platforms\\_BIOPAN\\_and\\_EXPOSE\\_to\\_study\\_living\\_organisms\\_in\\_space](https://www.researchgate.net/publication/234497755_The_space_exposure_platforms_BIOPAN_and_EXPOSE_to_study_living_organisms_in_space)>.
- [9] Balon nesmí překročit hranice za žádnou cenu. Ale jak na to? [online]. 2014 Technet.cz Dostupné z WWW: <[https://www.idnes.cz/technet/vesmir/stratocaching.A141021\\_141236\\_tec\\_vesmir\\_kuz](https://www.idnes.cz/technet/vesmir/stratocaching.A141021_141236_tec_vesmir_kuz)>.

- [10] Biomimetika: Stratocache jako javorová semínka [online]. 2018 Dostupné z WWW: <<https://zadnaveda.cz/biomimetika-stratocache-jako-javorova-seminka>>.
- [11] Žáci a studenti vypustí k hranicím s vesmírem balonovou sondu [online]. Novinky [cit 2002-04-11]. Dostupné z <https://www.novinky.cz/clanek/veda-skoly-zaci-a-studenti-vypusti-k-hranicim-s-vesmirem-balonovou-sondu-40393968>.
- [12] Tomáš Petrásek, Data k experimentu Stratobox. 2023
- [13] Kalkulačka prasknutí balonu [online]. Dostupné z WWW:< <https://sondehub.org/calcul>>.
- [14] Agar. Arduino [online]. Dostupné z WWW:< <https://cs.wikipedia.org/wiki/Agar>>.
- [15] Jana Kvíderová, Informace a podklady k biologickému experimentu. 2022
- [16] Psig senzor Tlakové senzory pro montáž na desku [online]. MOUSER ELECTRONICS. Dostupné z <https://www.mouser.ca/c/sensors/pressure-sensors/board-mount-pressure-sensors/?q=psig%20sensor>.
- [17] Teplotní čidlo Pt 1000-550. [online]. Dostupné z WWW:< <https://www.lhotsky-elektro.cz/teplotni-cidlo-Pt1000-TO92-d4474.htm#detail-anchor-parameters>>.
- [18] Senzor UVB / UVA Záření ML8511 pro Arduino [online]. Dostupné z [https://dratek.cz/arduino/1327-senzor-uvb-uva-zareni-ml8511-pro-rduino.html?gclid=Cj0KCQjwidSWBhDdARIsAIoTVb3pkPrrWuiXhstYp3LWaG7BtNC9zF7Pbi5A-m9v\\_\\_3uypcSBH5TDDwaAojBEALw\\_wcB](https://dratek.cz/arduino/1327-senzor-uvb-uva-zareni-ml8511-pro-rduino.html?gclid=Cj0KCQjwidSWBhDdARIsAIoTVb3pkPrrWuiXhstYp3LWaG7BtNC9zF7Pbi5A-m9v__3uypcSBH5TDDwaAojBEALw_wcB).
- [19] Fermion - AS7341 11kanálový senzor viditelného světla - DFRobot SEN0365 [online]. Bottland. Dostupné z <https://botland.cz/svetelne-a-barevne-senzory/1920-fermion-as7341-11kanalovy-senzor-viditelneho-svetla-dfrobot-sen0365-5904422379353.html>.
- [20] Esonic CAM-U7 - skrytá kamera ve flash disku [online]. Spyobchod. Dostupné z [https://www.spyobchod.cz/esonic-cam-u7-skryta-kamera-ve-flash-disku-e124041.htm?utm\\_source=seznam&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=4\\_REM\\_DYN-spyobchod&utm\\_content=Esonic+CAM-U7+skryta+kamera+ve+flash+disku&utm\\_term=](https://www.spyobchod.cz/esonic-cam-u7-skryta-kamera-ve-flash-disku-e124041.htm?utm_source=seznam&utm_medium=cpc&utm_campaign=4_REM_DYN-spyobchod&utm_content=Esonic+CAM-U7+skryta+kamera+ve+flash+disku&utm_term=).

- [21] Vodotěsný 4G GPS lokátor pro psy a kočky - TKSTAR + datová SIM zdarma. Signalprofi [online]. Dostupné z <https://www.signalprofi.cz/vodotesny-4g-gps-lokator-pro-psy-a-kocky-tkstar-datova-sim-zdarma#detail-anchor-description>.
- [22] Termofyzikální vlastnosti: Vzduch při 1 atm [online]. 2010 Dostupné z WWW: <[https://www.thermalfluidscentral.org/encyclopedia/index.php/Thermophysical\\_Properties:\\_Air\\_at\\_1\\_atm](https://www.thermalfluidscentral.org/encyclopedia/index.php/Thermophysical_Properties:_Air_at_1_atm)>.
- [23] Sdílení tepla prouděním (konvekce). Vysoká školachemicko-technologická [online]. Dostupné z WWW:<<https://uchi.vscht.cz/files/uzel/53360/0011~MzRQ8Pb3C3P1dnYFAA.pdf?redirected>>.
- [24] PROJEKT III. (IV.) - Vzduchotechnika 1. Popis výpočtu tepelné zátěže klimatizovaných prostor podle ČSN [online]. 2024 Dostupné z WWW: < <https://docplayer.cz/9534810-Projekt-iii-iv-vzduchotechnika-1-popis-vypoctu-tepelne-zateze-klimatizovanych-prostor-podle-csn.html>>.
- [25] Tabulky emisivit. [online]. Dostupné z WWW:< [https://www.sos.sk/pdf/emissivity\\_tables\\_sk\\_2148.pdf](https://www.sos.sk/pdf/emissivity_tables_sk_2148.pdf)>.
- [26] Topná rohož. [online] Dostupné z WWW:< <https://allegro.cz/nabidka/topna-rohoz-5w-9-5x6-5cm-pro-usb-teraria-13826328551>>.
- [27] Digitální termostat W1209 12VDC. [online] Dostupné z WWW:< <https://dratek.cz/arduino/956-digitalni-termostat-50-az-110-c.html>>.
- [28] Arduino Nano R3, ATmega328P Klon, Připájené piny.Laskakit [online]. Dostupné z <https://www.laskakit.cz/arduino-nano-r3--atmega328p-klon--pripajene-piny/>.
- [29] STX 5-kabelové (5pin) servo - plastové ozubení. Bighobby [online]. Dostupné z [https://www.bighobby.cz/corona-servo-sb3019--32g-0-06s-4kg--s-bus-/?gclid=Cj0KCQjwuuKXBhCRARIsAC-gM0gibwNcLKSP1\\_2X6O-9VZBOK78nfaw8HyNOhNJw5rCg2LM2c\\_Z9PnkaAmyCEALw\\_wcB](https://www.bighobby.cz/corona-servo-sb3019--32g-0-06s-4kg--s-bus-/?gclid=Cj0KCQjwuuKXBhCRARIsAC-gM0gibwNcLKSP1_2X6O-9VZBOK78nfaw8HyNOhNJw5rCg2LM2c_Z9PnkaAmyCEALw_wcB).
- [30] Pavel Žárský, ČHMÚ. Informace ke stratosférickému experimentu. 2023
- [31] Spektrum servo H2040T 2.9g linear tail. Superrc [online]. Dostupné z [https://www.superrc.cz/spektrum-servo-h2040t-2-9g-linear-tail/?gclid=Cj0KCQjw0oyYBhDGARIsAMZEUmsxRh7Xigm77WSku8vyu\\_ue7hP7Pjp9PIA2wigNCbcmfA3BoNA97UaAjubEALw\\_wcB](https://www.superrc.cz/spektrum-servo-h2040t-2-9g-linear-tail/?gclid=Cj0KCQjw0oyYBhDGARIsAMZEUmsxRh7Xigm77WSku8vyu_ue7hP7Pjp9PIA2wigNCbcmfA3BoNA97UaAjubEALw_wcB).



- [32] Mikrospínač do DPS, 1pól, ON-(ON), výška 11,5mm s páčkou MSW-12 20mm. GMEELECTRONIC [online]. Dostupné z <https://www.gme.cz/p-b172b>.
- [33] Baterie GEB-803040+. Battex [online]. Dostupné z <https://www.battex.cz/geb-803040-x110360>.
- [34] Baterie Panasonic 18650 3400mAh 3,7V NCR-1860B Baterie. [online] Dostupné z WWW:< [https://www.tipa.eu/cz/baterie-nabijeci-18650-3400mah-li-ion-37v-65a-panasonic-bat0665/d-276654/?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAiA1-6sBhAoEiwArqIGPr74mtfYcJrsaBIio0Uyqrw5wyWdkKnsBffxzTT81BbJBCkxN0q75xoCMDgQAvD\\_BwE](https://www.tipa.eu/cz/baterie-nabijeci-18650-3400mah-li-ion-37v-65a-panasonic-bat0665/d-276654/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA1-6sBhAoEiwArqIGPr74mtfYcJrsaBIio0Uyqrw5wyWdkKnsBffxzTT81BbJBCkxN0q75xoCMDgQAvD_BwE)>.
- [35] Modul převodníku teploty MAX31865 od snímačů PT100-PT1000 po SPI Arduino. [online] Dostupné z WWW:< <https://chinamag.eu/cs/produs/modul-traductor-de-temperatura-max31865-de-la-senzori-pt100-pt1000-la-spi-arduino/>>.
- [36] Theo W. Knacke, Parachute Recovery Systems Design Manual. March 1991NAVAL WEAPONS CENTER CHINA LAKE, CA 93555-6001 [online]. Dostupné z WWW:<<http://ftp.demec.ufpr.br/CFD/bibliografia/aerodinamica/PARACHUTE%20Recovery%20Systems%20Desgin%20Manual.pdf>>.

## Seznam obrázků

Obrázek 1	Užitečné zatížení, namontované na vnější straně gondoly stratosférického balonu	-18-
Obrázek 2	Čelní pohled na užitečné zatížení E-MIST s odstraněným předním panelem	-18-
Obrázek 3	Model válců E-MIST	-19-
Obrázek 4	Distribuce spor <i>Bacillus pumilus</i> SAFR-032 na vzorkové destičce E-MIST	-19-
Obrázek 5	Snímek z vrcholu užitečného zatížení MARSBOx a Trex-Box ve stratosféře během letu	-22-
Obrázek 6	Model s označením užitečného zatížení MARSBOx	-24-
Obrázek 7	A Křemenné destičky obsahující mikrobiální vzorky umístěné na Trex-Box; B zakrytí Trex-Boxu suprasilovým sklem, které umožňuje plnou expozici UV-VIS; C Utěsnění nádoby; D Zemská atmosféra je nahrazena směsí Marsu a plynu	-25-
Obrázek 8	Snímky spor <i>Aspergillus niger</i> . A) vícevrstvé ( $1 \times 10^8$ spor/ml) a B) monovrstvé ( $1 \times 10^7$ spor/ml)	-26-
Obrázek 9	Dráha letu balónu s MARSBOx. Hvězdičky označují otevírání a zavírání víka Trex-Boxu, což odpovídá začátku a konci expozice UV-VIS záření	-27-
Obrázek 10	BIOPAN otevřený během letu, aby vystavil experimenty prostředí vesmíru	-29-
Obrázek 11	Hardware experimentu "SURVIVAL" umístěný uvnitř zařízení BIOPAN. Pohled na rozložený nosič vzorku	-29-
Obrázek 12	Umístění BIOPANU na povrchu kaple FOTON	-30-
Obrázek 13	Umístění EXPOSE na ISS	-31-
Obrázek 14	EXPOSE je vybavena třemi tácy pro různé biologické vzorky	-31-
Obrázek 15	Umístění užitečného zatížení na boxu	-33-
Obrázek 16	Letový profil projektu Stratobox	-34-
Obrázek 17	Letový profil Stratocachingu.	-35-
Obrázek 18	Gondola Dropion	-36-
Obrázek 19	Stratocache	-37-
Obrázek 20	Gondola Dropion 2	-38-
Obrázek 21	Výpočtová kalkuačka vytvořená pro firmu Kaymont	-43-
Obrázek 22	Výpočtová kalkuačka vytvořená pro firmu Kaymont	-49-
Obrázek 23	Baterie GEB – 803040+	-51-
Obrázek 24	Umístění krabiček se vzorky na povrchu kontejneru	-51-

Obrázek 25	Krabičky pro biologické vzorky	-52
Obrázek 26	Rozmístění zařízení ve vnitřním prostoru kontejneru	-53-
Obrázek 27	Arduino Nano R3	-53-
Obrázek 28	Schema zapojení Arduina	-54-
Obrázek 29	Umístění kamery ESONIC CAM-7 na spodní stěně kontejneru	-55-
Obrázek 30	Servo STX 5 – hlavní rozměry	-55-
Obrázek 31	Umístění serva STX 5 pro ovládání otevírání krabičky pro otevřenou expozic. Krabička je v otevřené poloze	-56
Obrázek 32	GPS lokátor TKSTAR	-56-
Obrázek 33	Tepelný tok stěnou kontejneru	-57-
Obrázek 34	Vnitřní prostor kontejneru	-58-
Obrázek 35	Topná rohož 5 W	-67-
Obrázek 36	Digitální termostat W1209 12VDC	-67-
Obrázek 37	Schéma zapojení topných článků a digitálního termostatu	-69-
Obrázek 38	Čidlo tlaku	-69-
Obrázek 39	Senzor teploty	-70-
Obrázek 40	Schema zapojení platinového teplotního senzoru přes převodník MAX31865 s Arduinem	-70-
Obrázek 41	Senzor UV záření	-71-
Obrázek 42	Senzor viditelného světla (VIS).	-71-
Obrázek 43	Lineární servo	-72-
Obrázek 44	Mechanismus odpojení kontejneru od balonu	-73-
Obrázek 45	Poloha těžiště kontejneru vzhledem k hlavním rovinám	-75-
Obrázek 46	Meteorologický padák od firmy Pegas	-77-
Obrázek 47	Zmírňující koeficient	-78-
Obrázek 48	Umístění návratového zařízení mezi balón a kontejner	-79-
Obrázek 49	Schéma zavěšení kontejneru k padáku	-79-
Obrázek 50	Blokové schéma zařízení	-81-
Obrázek 51	Umístění zařízení na vnější části kontejneru	-83-
Obrázek 52	Umístění zařízení ve vnitřní části kontejneru	-84-

## Seznam tabulek

Tabulka č.1	Používaných meteorologických balonů a jejich parametrů	-43-
Tabulka č.2	Hmotnosti částí kontejneru	-72-
Tabulka č.3	Provozní parametry přístrojů a senzorů	-79-

## **Seznam příloh**

Příloha 1: Koeficient zohledňující typ padáku

Příloha 2: Termofyzikální vlastnosti: Vzduch při 1 atm

Příloha 3: Tabulka emisivit























Příloha 4: Třípohledový výkres – sestava kontejneru

# Přílohy

## Příloha 1

Koeficient zohledňující typ padáku

TABLE 5-1. Solid Textile Parachutes.

TYPE	CONSTRUCTED SHAPE		$\frac{D_c}{D_o}$	INFLATED SHAPE $\frac{D_p}{D_o}$	DRAG COEF $C_{D_o}$ RANGE	OPENING FORCE COEF $C_X$ (INF MASS)	AVERAGE ANGLE OF OSCILLATION, DEGREES	GENERAL APPLICATION
	PLAN	PROFILE						
FLAT CIRCULAR			1.00	0.67 TO 0.70	0.75 TO 0.80	~1.7	±10 TO ±40	DESCENT, OBSOLETE
CONICAL			0.93 TO 0.95	0.70	0.75 TO 0.90	~1.8	±10 TO ±30	DESCENT, M < 0.5
BICONICAL			0.90 TO 0.95	0.70	0.75 TO 0.92	~1.8	±10 TO ±30	DESCENT, M < 0.5
TRICONICAL POLYCONICAL			0.90 TO 0.95	0.70	0.80 TO 0.96	~1.8	±10 TO ±20	DESCENT, M < 0.5
EXTENDED SKIRT 10% FLAT			0.86	0.66 TO 0.70	0.78 TO 0.87	~1.4	±10 TO ±15	DESCENT, M < 0.5
EXTENDED SKIRT 14.3% FULL			0.81 TO 0.85	0.66 TO 0.70	0.75 TO 0.90	~1.4	±10 TO ±15	DESCENT, M < 0.5
HEMISPHERICAL			0.71	0.66	0.62 TO 0.77	~1.6	±10 TO ±15	DESCENT, M < 0.5, OBSOLETE
GUIDE SURFACE (RIBBED)			0.63	0.62	0.28 TO 0.42	~1.2	0 TO -2	STABILIZATION, DROGUE, 0.1 < M < 1.5
GUIDE SURFACE (RIBLESS)			0.66	0.63	0.30 TO 0.34	~1.4	0 TO ±3	PILOT, DROGUE, 0.1 < M < 1.5
ANNULAR			1.04	0.94	0.85 TO 0.95	~1.4	< ±6	DESCENT, M < 0.5
CROSS			1.15 TO 1.19	0.65 TO 0.72	0.60 TO 0.85	1.1 TO 1.2	0 TO -3	DESCENT, DECELERATION

Zdroj: [36]

## Příloha 2

Termofyzikální vlastnosti: Vzduch při 1 atm

<b>T</b> teplota (K)	<b>ρ</b> hustota (kg/m <sup>3</sup> )	<b>c<sub>p</sub></b> specifické teplo (kJ/Kg K)	<b>μ</b> viskozita (10 <sup>-7</sup> N s/m <sup>2</sup> )	<b>ν</b> kinematická viskozita (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)	<b>k</b> tepelná vodivost (10 <sup>-3</sup> W/m K)	<b>α</b> tepelná difuzivita (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)	<b>Pr</b> Prandtl. číslo
100	3,5562	1,032	71,1	2,00	9,34	2.54	0,786
150	2,3364	1,012	103,4	4,426	13.8	5,84	0,758
200	1,7458	1,007	132,5	7,59	18.1	10.3	0,737
250	1,3947	1,006	159,6	11.44	22.3	15.9	0,72
300	1,1614	1,007	184,6	15,89	26.3	22.5	0,707
350	0,995	1,009	208,2	20,92	30,0	29.9	0,700
400	0,8711	1,014	230,1	26,41	33.8	38.3	0,690
450	0,7740	1,021	250,7	32,39	37.3	47,2	0,686
500	0,6964	1,030	270,1	38,79	40.7	56,7	0,684
550	0,6329	1,040	288,4	45,57	43,9	66,7	0,683
600	0,5804	1,051	305,8	52,69	46.9	76,9	0,685
650	0,5356	1,063	322,5	60,21	49,7	87,3	0,690
700	0,4975	1,075	338,8	68,10	52,4	98	0,695
750	0,4643	1,087	354,6	76,37	54,9	109	0,702
800	0,4354	1,099	369,8	84,93	57,3	120	0,709
850	0,4097	1.110	384,3	93,80	59,6	131	0,716
900	0,3868	1,121	398,1	102,9	62,0	143	0,720
950	0,3666	1,131	411,3	112,2	64,3	155	0,723
1000	0,3482	1,141	424,4	121,9	66,7	168	0,726
1100	0,3166	1,159	449	141,8	71,5	195	0,728
1200	0,2902	1,175	473	162,9	76,3	224	0,728

<b>T</b> teplota (K)	<b>ρ</b> hustota (kg/m <sup>3</sup> )	<b>c<sub>p</sub></b> specifické teplo (kJ/Kg K)	<b>μ</b> viskozita (10 <sup>-7</sup> N s/m <sup>2</sup> )	<b>ν</b> kinematická viskozita (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)	<b>k</b> tepelná vodivost (10 <sup>-3</sup> W/m K)	<b>α</b> tepelná difuzivita (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)	<b>Pr</b> Prandtl. číslo
1300	0,2679	1,189	496	185,1	82	238	0,719
1400	0,2488	1,207	530	213	91	303	0,703
1500	0,2322	1,23	557	240	100	350	0,685
1600	0,2177	1,248	584	268	106	390	0,688
1700	0,2049	1,267	611	298	113	435	0,685
1800	0,1935	1,286	637	329	120	482	0,683
1900	0,1833	1,307	663	362	128	534	0,677
2000	0,1741	1,337	689	396	137	589	0,672
2100	0,1658	1,372	715	431	147	646	0,667
2200	0,1582	1,417	740	468	160	714	0,655
2300	0,1513	1,478	766	506	175	783	0,647
2400	0,1448	1,558	792	547	196	869	0,63
2500	0,1389	1,665	818	589	222	960	0,613
3000	0,1135	2,726	955	841	486	1570	0,536

Zdroj: [22]



## Příloha 3:

### Tabulka emisivit

Tabulka 19.1 T: celé spektrum; SW: 2–5  $\mu\text{m}$ ; LW: 8–14  $\mu\text{m}$ , LLW: 6,5–20  $\mu\text{m}$ ; 1: materiál; 2: specifikace; 3: teplota v °C; 4: spektrum; 5: emisivita; 6: literatura (pokračování)

1	2	3	4	5	6
platina		1094	T	0,18	4
platina		17	T	0,016	4
platina		22	T	0,03	4
platina		260	T	0,06	4
platina		538	T	0,10	4
platina	drát	1400	T	0,18	1
platina	drát	50-200	T	0,06-0,07	1
platina	drát	500-1000	T	0,10-0,16	1
platina	pásek	900-1100	T	0,12-0,17	1
platina	čistý, leštěný	200-600	T	0,05-0,10	1
polystyren	izolační	37	SW	0,60	7
porcelán	bílý, lesklý		T	0,70-0,75	1
porcelán	glazura	20	T	0,92	1
pryž	měkká, šedá, hrubá	20	T	0,95	1
pryž	tvrdá	20	T	0,95	1
písek			T	0,60	1
písek		20	T	0,90	2
pískovec	leštěný	19	LLW	0,909	8
pískovec	neopracovaný	19	LLW	0,935	8
půda	nasyčená vodou	20	T	0,95	2
půda	suchý	20	T	0,92	2
Skleněná tabulka (plavené sklo)	nepokovené	20	LW	0,97	14
smirkové plátno	hrubé	80	T	0,85	1
sníh: viz voda					
struska	kotelní	0-100	T	0,97-0,93	1
struska	kotelní	1400-1800	T	0,69-0,67	1
struska	kotelní	200-500	T	0,89-0,78	1
struska	kotelní	600-1200	T	0,76-0,70	1
stříbro	leštěný	100	T	0,03	2
stříbro	čistý, leštěný	200-600	T	0,02-0,03	1
sádra		20	T	0,8-0,9	1
tapeta	jemný vzorek, světle šedá	20	SW	0,85	6
tapeta	jemný vzorek, červená	20	SW	0,90	6
titan	leštěný	1000	T	0,36	1
titan	leštěný	200	T	0,15	1
titan	leštěný	500	T	0,20	1
titan	oxidovaný při teplotě 540°C	1000	T	0,60	1
titan	oxidovaný při teplotě 540°C	200	T	0,40	1

Zdroj: [25]

# Příloha 4

## Třípohledový výkres – sestava kontejneru

