

Silver Arrow

Team 420



Základní parametry

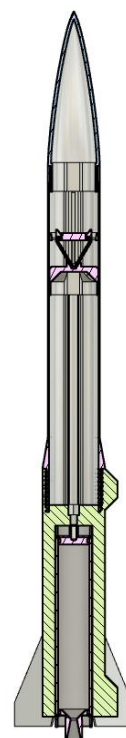
Jako hlavní způsob výroby naší rakety jsme zvolili 3D tisk, protože nám dovoluje vytvořit složitější struktury a zároveň je dokáže poměrně přesně vyrobit. Materiál pro konstrukci rakety jsme zvolili ASA, protože má ze zvažovaných materiálů nejnižší hustotu a zároveň dobrou teplotní i mechanickou odolnost.

Vlastní tělo rakety jsme se rozhodli rozdělit do dvou nezávislých částí – spodní část, která obsahuje motor a stabilizační křídélka, a horní část, která nese řídicí elektroniku, záchranný systém a náklad ve formě kamery. Toto rozdělení nám umožňuje dobrý přístup k vnitřním systémům rakety a zároveň zjednodušuje 3D tisk jednotlivých dílů. Spodní a horní část jsou spojeny dohromady závitem. Jako tvar špičky rakety jsme zvolili typ Haack kvůli nejnižšímu aerodynamickému odporu.

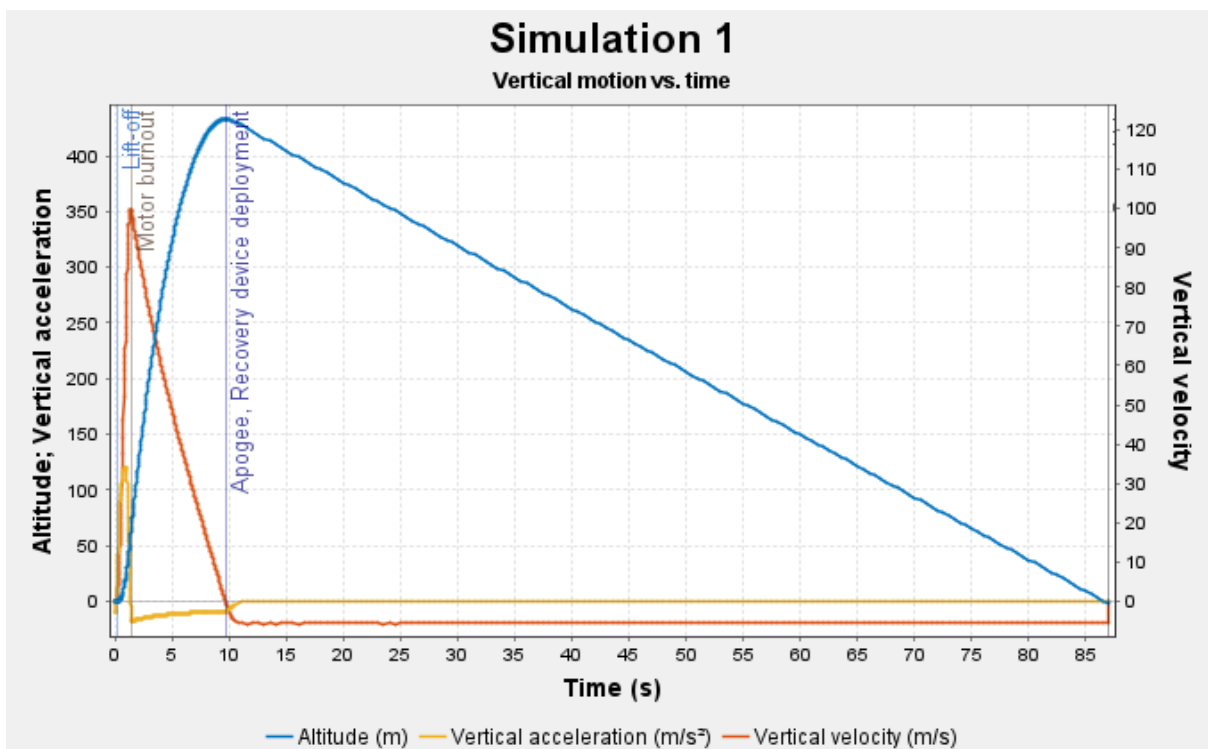
Uvnitř horní části rakety jsme vytvořili systém kolejnic, do kterých lze zasunout moduly s různým obsahem. Jedním z modulů tak může být avionika, záchranný systém nebo třeba náklad. Toto řešení nám umožňuje dobrý přístup ke vnitřním součástem a zároveň zvyšuje pevnost celé rakety.

Padák je přichycen k raketě pružným lanem, na kterém je uchycena i špička rakety, aby se zabránilo jejímu volnému pádu po vystřelení padáku.

Provedli jsme základní testy pevnosti tištěných částí, ve kterých díly obstály. Nakonec jsme vyzkoušeli simulovat náraz do spodní části rakety v rychlosti kolem 8 m/s, který raketa vydržela.

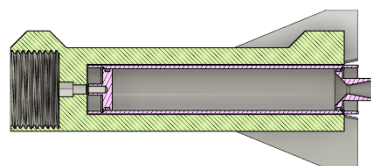


Celková hmotnost	1028 g
Max. dostup	433 m
Celková doba letu	87,1 s
Délka	70,4 cm
Šířka	50 mm horní část a 60 mm spodní část
Stabilita	1.84 cal



Uložení motoru

Motor se vkládá do spodní části rakety, kde se zespodu zasune do připraveného otvoru a našroubuje na šroub. Motor je tak jištěn proti pohybu do stran a zároveň pevně uchycen na závit. Pro lepší manipulaci při přípravě na start motor přechází ze spodní rakety o 10 mm.



Avionika

Hlavním úkolem avioniky v této raketě je detekce apogea a vystřelení záchranného zařízení. To zajišťuje námi vyvinutý letový počítač Cimrman Mini. Procesor podle dat z barometrického senzoru nadmořské výšky a akcelerometru vyhodnocuje okamžik startu rakety a také vhodný okamžik pro vypuštění padáku. Následně sepnutím výkonového výstupu spustí vypouštěcí systém. Celý systém avioniky je napájen malou leteckou dvoučládkovou baterií typu LiPo.

Detekce startu rakety nastane při překročení minimální hranice zrychlení a po překročení minimální výšky nad zemí. Poté se letový počítač přepne do režimu letu a sleduje data ze senzorů pro detekci apogea. Detekce apogea nastane, jakmile bude vertikální rychlost rakety po dobu 1s negativní. V tu chvíli dojde k vystřelení padáku a počítač se přepne do režimu přistávání. Po přistání, které počítač pozná podle nulové vertikální rychlosti, se přepne do režimu po přistání, kdy začne pípat a čeká na vyzvednutí.

Náklad

Start rakety bude sloužit pro dvě různé mise. Náplní hlavní mise je testování několika senzorů a bezdrátového komunikačního systému, které by mohli být využité v dalších raketách. Sensory budou během letu zaznamenávat hodnoty a po přistání dojde k vyhodnocení naměřených dat. Podle získaných dat budou následně laděny i algoritmy pro spojování dat z různých senzorů nebo pro vyhodnocování průběhu letu. Zároveň se bude část naměřených dat odesílat do pozemní stanice pomocí bezdrátového komunikačního systému s modulací LoRa. To nám dovolí reálně ověřit spolehlivost komunikace a zhodnotit tak možnosti dalšího využití pro odesílání telemetrie.

Sekundární mise je komerčního charakteru a spočívá v natočení průběhu letu kamerou pro společnost zabývající se videoprodukcí. Zapůjčená kamera od zadavatele umístěná ve špičce rakety bude během letu zaznamenávat a po přistání ji spolu se záznamem předáme zadavateli.

Záchranné zařízení – padák

Záchranu rakety při návratu na zem zajišťuje padák. Pro odhad jeho velikosti jsme využili následující vzorec:

$$A = \frac{2 \cdot m \cdot g}{\rho \cdot v_T^2 \cdot C_D}$$

kde m je hmotnost rakety, g je gravitační zrychlení, ρ je hustota vzduchu, v_T je požadovaná konečná rychlost a C_D je koeficient odporu vzduchu.

Hmotnost rakety pro výpočet jsme zvolili 1 kg, jelikož se to blíží k modelované hmotnosti rakety. Výpočet proběhl pro konečnou rychlost 4.5 m/s při koeficientu odporu vzduchu 1.75, což je typická hodnota pro velký padák. S těmito hodnotami vychází potřebná plocha:

$$A = \frac{2 \cdot 1 \cdot 9.81}{1.225 \cdot 4.5^2 \cdot 1.75} = 0.45 \text{ m}^2$$

S pomocí následující rovnice jsme určili potřebný průměr padáku:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.45}{\pi}} = 0.76 \text{ m}$$

Proto jsme vybrali padák s průměrem 76 cm vyrobený z nylonu a s váhou 37 g.

Následně jsme otestovali reálné vlastnosti vybraného padáku. Provedli jsme měření činitele aerodynamického odporu shozem rakety s padákem z výšky (záznam na videu <https://youtube.com/shorts/MrjfeVrgBfl>). Padák snížil rychlost pádu objektu s hmotností 350g na 3,5m/s, z toho jsme pomocí rovnice výše určili reálný činitel odporu:

$$C_D = \frac{2 \cdot 0,35 \cdot 9.81}{1.225 \cdot 3.5^2 \cdot 0.45} = 1.02$$

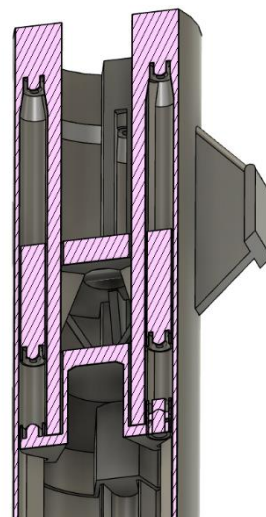
S reálným koeficientem odporu padáku jsme nakonec určili konečnou rychlost klesání pro celou hmotnost rakety:

$$v_T = \sqrt{\frac{2 \cdot 1 \cdot 9.81}{1.225 \cdot 0.45 \cdot 1.02}} = 5.9 \text{ m/s}$$

Tato rychlost je stále dostatečně nízká a vybraný padák tak splňuje podmínky pro použití v naší raketě.

Vypuštění záchranného zařízení

Vystřelení padáku zajišťuje píst tlačенý pružinami. Tento píst se pohybuje ve dříve popsaných kolejnicích a jeho vypuštění je ovládáno systémem pracujícím na principu přepálení držáku teplem. Před startem jsou pružiny stlačeny a je zacvaknut držák. Když nastane čas na vypuštění padáku, dojde k sepnutí proudu odporovým drátem, který přepálí držák, pružiny rozpohybují píst a vystřelí padák. Základní test funkčnosti je na přiloženém videu (<https://youtube.com/shorts/ZLcCtQzIM90>).



Předstartovní procedury

- **Příprava den předem**

Připravíme si všechny části rakety – spodní část včetně šroubu pro motor, horní část, špici, vystřelovací systém, avioniku a padák s lany. Zkontrolujeme funkčnost letového počítače a nabití baterie. Přibalíme náhradní filaments i odporové dráty do odpalovacího systému. Vezmeme náklad pro obě mise – sensorovou desku a kameru. Z nářadí bude potřeba křížový šroubovák, kleště a multimetr. Pro testování bezdrátové komunikace bude potřeba počítač a přijímač s anténou.

- **Příprava odpalu**

Do odpalovacího systému padáku vložíme nový filament a zkontrolujeme odporový drát. K odpalovacímu systému přivážeme lano od padáku. Celý odpalovací systém vložíme do rakety a připojíme k letovému počítači. Vložíme baterii do držáku s avionikou a zapojíme. Na letovém počítači provedeme test kontinuity. Vyzkoušíme funkčnost sensorového nákladu a bezdrátové komunikace. Po úspěšném testu vložíme do rakety i držák s avionikou a sensorový náklad. Zkontrolujeme šroub pro přidělení motoru ve spodní části. Poté zašroubujeme vrchní část do spodní a do špice vložíme náklad kamery a zapneme. Přiděláme soutěžní výškoměr. Stlačíme píst vystřelovacího systému na místo. Přivážeme padák a špici na připravené lano, složíme padák a vložíme na místo v odpalovacím systému. Vložíme špici do rakety.

- **Přesun rakety na rampu a odpal**

Po zkompletování rakety půjde Lukáš a Matěj k odpalovací rampě a přidělají motor. Otvorem v raketě stisknou tlačítko pro aktivaci počítače. Letový počítač bude signalizovat připravenost k letu pípáním. Obsluha rampy vloží zápalné zařízení. Tím je raketa připravena k odpalu.

- **Úklid**

Po přistání se nejprve složí padák a až potom budeme raketu přenášet. Následně se z rakety stáhnou naměřená data.