

GJN Aerospace

Obsah

Obsah	1
Abstrakt	3
Výchozí pozice	4
Hardware	5
Motorová sekce	5
Motor	5
Center ring.....	5
Stabilizační plochy	6
Rail button	6
Coupler	6
Horní etáž	6
Nosecone Verze 1	6
Nosecone Verze 2	6
Nosecone Verze 3	7
Držák pro elektroniku a kamery.....	7
Padák.....	8
Proměnné	8
Výmet padáků	8
Sestupová rychlost.....	8
Shrnutí technických parametrů	8
Řídící elektronika	9
Shield protodeska s Arduino Uno	9
Kód.....	9
CATS Vega.....	9
Popis palubního počítače Vega	9
Způsob měření a ukládání dat	10
Stavba modelu rakety.....	10
Příprava materiálu a dílů.....	10
Kompletace motorové sekce	11

Kompletace horní etáže	11
Dodatečné úpravy	12
Schéma letu.....	13
Předstartovní příprava modelu rakety	13
Obecné schéma letu.....	13
Simulace a dolet	13
Testování.....	13
Zdroje.....	14
Obrázková příloha.....	14
OpenRocket.....	14
Testy	15
Ostatní obrázky	16

Abstrakt

Cílem projektu je ověřit si postupy a principy stavby modelové rakety. Projekt zahrnuje návrh nezbytného hardwaru pro raketu, který primárně sestává z motorové sekce, horní etáže s uloženou řídicí elektronikou a systémem bezpečného návratu modelu zpět na zem. Jako náš záchranný systém jsme zvolili systém hlavního a výtažného padáku. S tímto sestupovým řešením již máme zkušenosti z projektu CanSat.

Výchozí pozice

Navazujeme na naše zkušenosti z projektu CanSat a z předešlé práce na modelové raketě v rámci “Space race” EPFL Rocket team, kde jsme spolu se s dalšími studenty ze Švýcarského federálního technologického institutu v Lausanne (EPFL) připravovali (dohromady 4 studenti, 3 z EPFL, jeden 1.LF UK) modelovou raketu pro motor třídy “I”. Část postupu, návrhu a výsledků projektu je zachycena v částečně přeloženém reportu (...).

Nynější projekt se zabývá stavbou modulu rakety, který využívá slabší motor o celkovém impulzu 140 N.s (což odpovídá kategorii motoru “G”).

Hardware

Model rakety můžeme rozdělit do dvou funkčních celků plus spojovacího segmentu (coupler). Jedná se o motorovou sekci, ve které je uložen motor a stabilizační aerodynamické prvky/plochy ("fins" z ang. "fins"). Dále je horní etáž/část spojena s motorovou sekcí pomocí coupleru. V horní sekci se pak nachází pouzdro na elektroniku, kotvicí prvek záchranného systému a špička rakety s mechanismem výmetu padáku.

Rám/tělo rakety je tvořeno z kartonového tubusu o tloušťce stěny 2 mm - vnitřní průměr 76 mm. Na výrobu byly spotřebovány dva tubusy - jeden o délce 750 a druhý 530 mm.

Hmotnosti částí rakety (g)

Horní etáž	387
Padáky a lana	97
Motorová sekce (celá dolní část)	704
AviCam Bay	459
Coupler	63
Motor bez paliva	130
Palivo	135
Celkem	1975

Parametry rakety

Délka	1380 mm
Průměr	80 mm
Hmotnost	1975 g (s motorem a palivem)

Motorová sekce

Motor

Používaný motor je připravován Czech Space Society a jeho parametry jsou k dispozici v tabulce.

Do motorové sekce je kotven pomocí M6 šroubu, do kterého se motor zašroubuje pomocí závitu na horní straně motoru. Motor bude pro lepší usazení do své motorové lože obalen papírovou páskou na malování (dále i funkce dodatečné tepelné ochrany lože, ochrana pouzdra motoru).

Motorová lože je tvořena HT-trubkou o vnějším průměru 40 mm. Ta je zasazena do center ringů, centrovacích obručí, a přilepena epoxidovým lepidlem. Měří 185 mm a motor tedy přesahuje dolní okraj rakety (lepší manipulace s motorem a jeho ukládání do lože, lepší ochrana trupu rakety).

Veřejné parametry motoru pro Czech Rocket Challenge

Impulz	140 N.s
Průměr	35 mm
Délka	195 mm
Hmotnost bez paliva	130 g
Hmotnost paliv	135 g

Center ring

Centrovací obruče jsou ve finále tisknuté na 3D tiskárně s vyšším počtem perimetrů pro další pevnost a z materiálu CPE (podobné materiálu PETG - oba mají vyšší mechanickou i tepelnou odolnost). 3D tisk byl zvolen z důvodu přesnosti výsledných dílů. Obruč musí mít dobré tolerance pro vnější i vnitřní kruh a k tomu zároveň i pro drážky, do kterých se zaklesnou finsy. (Proto bylo upuštěno od ruční výroby ze dřeva).

Dohromady jsou obruče tři. Spodní dvě jsou identické, ale vrchní je tlustší a obsahuje slot pro 16 mm dlouhý M6 šroub s šestihrannou hlavičkou. Tento šroub je také do obruče zalepen a vrchní plocha obruče je zaslepena (v této formě již vytisknuto na 3D tiskárně).

Stabilizační plochy

Stabilizační plochy, finy, jsou vyrobené ze dřeva - překližka bříza o tloušťce 6,5 mm v počtu tři. Jsou lichoběžníkovitého tvaru a jsou ručně řezány přímočarou pilou a dále upravovány (tj. Dohromady obrušovány atd. pro přesnost a shodný tvar všech finů). Hmotnost jednoho finu je pak 93 g.

Finy jsou zasazeny do zářezů v obručích a jsou zasazeny a vlepeny do výřezů v kartonovém rámu a přilepeny zevnitř epoxidovým dvousložkovým lepidlem a zvenku polyuretanovým lepidlem (na dřevo).

Rail button

Rail button, stabilizační knoflík pro start z kolejnice, je vymodelován pro kolejnici z hliníkového profilu 30 x 30 mm (stavebnicová hliníková extruze) a vytisknut opět z CPE (obdobu PETG). Buttonem probíhá pro pevnost M3 šroub, který je dále v těle zalepen.

Coupler

Coupler je vytvořen z přebytečného tubusu a pro úpravu průměry byl rozříznut zkrácen a slepen polyuretanovým lepidlem. Má délku 80 mm. Dále pro vnitřní stabilitu jsou přidány 3D vytisknuté kruhy se sloty na M3 matice. Tyto kruhy se do coupleru vlepí a po spjení obou tubusů dojde k sešroubování tubusů s couplerem a pevný spoj zaručí vlepené kruhy.

Horní etáž

Účelem horního segmentu rakety je uchovávat elektroniku (tj. avionika - řídicí elektronika a kamery), padáky (výtažný a hlavní) a mechanismus pro jejich výmet.

Nosecone Verze 1

Nosecone, neboli špička/kužel na vrchu rakety, je tisknut na 3D tiskárně. Tomu je tak u všech třech návrhů. U každého se liší mechanismus výmetu padáků. Ovšem u všech verzí je vykonáván mechanicky - servo motor.

První verze využívá tři pružiny. Tyto pružiny jsou uloženy na jedné straně, na druhé je nosecone "zaseknut" do těla rakety pomocí výstupku v jehož blízkosti je i kotvicí oko padáku (není zde nutnost výtažného padáku, o vytažení by se starala hmota samotného odpadnutého noseconu). Servo motor (připojen k rámu rakety) pak pod pružinami kotví nosecone na druhé straně oproti výstupku.

Samotný výmet pak odklopí nosecone do strany a zabezpečí dostatečné odhození noseconu pro vytažení padáku.

Tento návrh se potýkal s problémy ohledně pevnosti plastové páky serva a jeho síly. Plastová páka neudržena pružiny (nutná by byla hliníková) a k tomu by servo sílu pružin ani nepřetlačilo (teoreticky silnější servo).

Nosecone Verze 2

Druhá verze noseconu se podobá více tradičnímu výmetu padáku. Využívá pružiny na spodní straně, které ho po odemknutí noseconu pomocí pružin uvolní a nosecone je vymrštěn v ose rakety nahoru a spolu vytahuje i připevněný padák a lano kotvicí nosecone k trupu rakety.

Verze 2 byla vyhotovena i ve verzi, kde je v samotném noseconu uložena i elektronika. Kdyby byla elektronika uložena dole ve zbytku horní části, tak bude muset být vyřešen i mechanismus odpojování serva po vymrštění noseconu, protože samotné servo se nachází v noseconu.

V noseconu je tedy prostor pro avioniku, která se usadí na base nebo vrchní část noseconu a obě tyto části se zašroubují do sebe. Dále pak prostor pro pružiny, který obsahuje i plochy pro nasazení na šroubky, které slouží k nastavování vzdálenosti opěrných plošek pro pružiny v noseconu pro upravování napětí/síly pružin. Pak je zde nachází prostor pro servo a pro jeho páku. Prostor pro kotvicí oko na padák a kotvicí matici M5 pro toto oko. Dále pak jsou po obvody 3 sloty pro M3 krátké šrouby, které jsou součástí rotačního mechanismu (tyto šroubky se pak lepí sekundovým lepidlem, šroubky byly zvoleny pro větší pevnost oproti plastu).

Samotný nosecone má k sobě i část, která se nasazuje na horní tubus. Tato část obsahuje drážky a výřez se sloupkem pro opírání páky servo motoru při výmetu noseconu. Páka je zasunuta do výřezu a s pohybem serva se páka hýbe směrem ke sloupku (sloupek je vyztužen M3 šroubkem, který je do sloupku zalepen a jeho hlavička seříznuta, aby nezavazela při pohybu noseconu při výmetu), kde do něj páka narazí a otočí tak nosecone, který je zasazen uvnitř. Aretační šroubky se pak ve svých drážkách otočí a celý nosecone je pomocí pružin oddělen a vystřelen.

Tento design narážén opět na problémy s nadměrnou silou pružin. Při velké síle pružin není schopno servo pootočit zaaretovaným noseconem. Při oslabení pružin není pak odemknutí noseconu pro servo problém, ale síla pružin nemusí být vždy dostatečná pro uspokojivý výmet (z hlediska vzdálenosti, do které je schopen se nosecone dostat, ta by i mohla být dostatečná, ale v případě samotného letu by nemusí).

Nosecone Verze 3

Třetí verze noseconu představuje zřejmě nejspolehlivější mechanický výmet z námi zpracovaných variant. Samotný nosecone má z jedné strany dvířka, která jsou zespoda aretována servo motorem a nahoře uvnitř výstupkem a drážkou (výstupek je pro pevnost a vyměnitelnost při poškození tvořen šroubkem M3). V noseconu se ovšem nachází výtažný padák s drobným závažím, po uvolnění dvířek servo motorem pak složený padák odhodí dvířka (ta jsou ovšem přivázána ke zbytku rakety) a dostane se ven z noseconu a vytáhne hlavní padák. Pro větší tlak na dvířka zevnitř je pak možno doplnit samotný složený padák pak i “pružinou” ze složeného plastového listu.

Toto řešení nevyžaduje přílišné síly “pružin” pro výmet padáku. Nevýhodou může být servo motor, který může překážet vysunutí hlavního padáku, to ovšem dobře řeší už tak nutný výtažný padák. Další drobný problém s pozicí serva na raketě je kvůli integraci elektroniky do trupu, kde bude nutné k elektronice připojit prodlužovací kabel od serva. To není zcela pohodlné.

Držák pro elektroniku a kamery

Tento držák sestává ze 4 částí. Samotný držák, vrchní kryt, aretační obruč a závitová tyč (M6) s matkou s okem.

Držákem prochází ona závitová tyč a je dole fixována matkou (dále pak i lepidlem). Držák je vytisknut z PLA. Vrchní kryt je pak nasazen na přesahující část závitové tyče a orientován výřezem pro kabel servo motoru, pak je zafixován zašroubováním matky s okem na závitovou tyč. V držáku jsou sloty pro matky a tak se skrze šrouby bude připevňovat k trupu. Aretační obruč je obdobně jako obruče v motorové sekci přilepena a případně dále fixována krátkými vruty zvenku.

Do držáku je v horní části uložena deska s avionikou a z druhé strany baterie. Deska je fixována pomocí M3 šroubků (prořezání vlastního závitu do plastu, eventuálně dodatečně provrtat a fixovat matkou z druhé strany), baterie pak stahovací páskou (kdyby to bylo nedostatečné, tak ev. Oboustrannou lepicí páskou), také je zde možnost využití gumiček. Ve spodní části se nachází

prostor z každé strany pro akční kameru (Niceboy VEGA 5 FUN), které jsou drženy na místě gumičkou okolo držáku.

Padák

Proměnné

v sestupová rychlost

m hmotnost rakety

C_{d1} koeficient tření bez rakety (0.8)

C_{d2} koeficient tření s raketou (1.2)

S_1 plocha výtažného padáku

S_2 plocha hlavního padáku

d_1 průměr výtažného padáku (56 cmm)

d_2 průměr hlavního padáku (69 cmm)

g tíhové zrychlení ($9.8m/s^2$)

Výmet padáků

Výtažný padák je za pomoci dyneemových lan připevněn do uzlu. Uzel je uchycen do systému lanek k vrcholu (tz. kolem větracího otvoru) hlavního padáku. Hlavní padák je pak uchycen ke karabině a je spojen lanem s kotvicí sekcí k raketě.

Poté, co servomotor otevře dvířka noseconu dojde s dopomocí natlačených padáků uvnitř k odmrštění výtažného padáku, jehož rychlé rozevírání bylo mnohokrát otestováno (viz i testování v rámci soutěže CanSat - video na YT). Tento padák vytáhne hlavní sestupové zařízení, jenž je dalším vysokopevnostním lanem připevněno k samotné raketě (odkaz na testy v kapitole Zdroje).

Sestupová rychlost

V případě hlavního padáku užíváme koeficient odporu 1.2, protože je potřeba počítat i s vlastní odporovou silou rakety. U padáku výtažného používáme hodnotu 0.8.

Součet odporových sil na tyto padáky musí po ustálení rychlostí vykompenzovat sílu gravitační. Pro její výpočet zde uvažujeme hmotnost rakety při sestupu, tedy po vyhoření paliva.

Vypočteme rychlost sestupu v případě použití výše zmíněných již zhotovených padáků.

$$mg = F_1 + F_2 \quad (1)$$

$$mg = C_{d2} \cdot p \cdot S_1 \cdot v_2^2/2 + C_{d1} \cdot p \cdot S_2 \cdot v_2^2/2 \quad (2)$$

Odkud pak určíme sestupovou rychlost:

$$mg = C_{d2} \cdot p \cdot S_1 \cdot v_2^2/2 + C_{d1} \cdot p \cdot S_2 \cdot v_2^2/2 \quad (3)$$

Za pomoci softwaru Open Rocket jsme určili předpokládanou sestupovou rychlost přibližně 6,5 m/s s použitím těchto padáků. Tato hodnota také odpovídá požadovanému rozmezí 6-9 m/s pro sestup. Je však možné, že na tento údaj budou mít velký vliv povětrnostní podmínky.

Shrnutí technických parametrů

Zde uvádíme základní vlastnosti námi užitých padáků v hodnotách S.I.

Parametry padáků

Parametry	Výtažný	Hlavní
Průměr	0,56	0,69
Kusů	6	12
Poloměr otvoru	0,07	0,14
Hmotnost	0,033	0,057

Řídící elektronika

Při výběru elektroniky byla důležitá dostupnost komponent a jednoduchost spojená s robustností jejich softwarového vybavení. Proto padla volba na Arduino Uno s připravenou shield deskou jako napájená protodeska a zapůjčená deska CATS Vega.

Shield protodeska s Arduino Uno

Ze začátku je třeba zmínit značné nevýhody desky Arduino Uno jako je např. malá flash paměť, zbytečně velké rozměry, architektura atd. Ovšem její výhody jako je dostupnost knihoven pro senzory a integrace do vývojových prostředí, dále její cena a s ní spojená dostupnost a rozšířenost.

Shield protodesku (shield = externí deska, která se nasazuje na vývojovou desku např. Arduino, protodeska = univerzální plošný spoj, na který lze do pole z děr se standardizovaným rozestupem osázet moduly s elektronickými komponenty a následně je drobnými kabečky zapojit a zapájet kvůli pevnému spojení) jsme vybavily senzorem pro měření tlaku, teploty a vlhkosti BME 280, slotem na SD kartu, který je kompatibilní v 5V logikou Arduina (kvůli jednoduchosti systému - odpadá dále nutnost osazovat logické převodníky), piny pro ovládání servo motoru a konektor dupont pro trigger pin, který po rozpojení raketě oznámí, že opustila rampu. Tyto díly a dráty jsou dále zajištěny i pomocí lepidla z tavné pistole.

Napájení je zprostředkováno 9V baterií. Zde je potřeba dát pozor na kapacitu baterie - pořídit alkalickou (baterie 6LP3146) (cena okolo 80 CZK oproti cca 30 CZK, ne "klasickou").

Kód

Program pro Arduino desku sleduje stav trigger pinu, jestli je HIGH nebo LOW. Při startu dojde k rozpojení pinu vytržením spojky a tedy i ke změně měřeného stavu. Řídící deska pak začne odpočítávat z časovače nastavený čas. Po uplynutí tohoto času se servo přetočí do dané pozice pro vypuštění záchranného mechanismu (v případě Nosecone V3 je to o celých 180° ovšem pro otevření dvírek stačí 90°). Tím kritická úloha palubního počítače končí, ovšem dále zastává své úlohy, které probíhají stále po zapnutí. Dochází k měření tlaku (nejdůležitější parametr pro následné určení výšky doletu rakety), teploty a vlhkosti. Plus je přidána informace o stavu trigger pinu, času od změny stavu trigger pinu a také je jednotlivý balíček informací číslován pro následnou přehlednost v datech. Ty se pak ukládají na SD kartu do textového dokumentu ve stylu csv (údaje tedy namísto prosté čárky oddělujeme středníkem), aby mohl být dokument dále zpracováván v tabulkovém procesoru (např. Excel) nebo jiným nástrojem.

CATS Vega

Popis palubního počítače Vega

Druhým elektronickým systémem v rámci naší rakety je plošný spoj "Vega" vyvinutý skupinou CATS (Control and Telemetry Systems) ze Švýcarského federálního institutu v Curychu (ETHZ), který nám byl laskavě propůjčen.

Vega umožňuje monitorování celého průběhu letu od vzletu, po vyhoření motorů, apogeu, vytažení veldejšího a hlavního padáku až k dopadu na zem. Za pomoci konfigurátoru je možné každé z těchto fází přisoudit příslušné pokyny, kterými jsou ovládány dva pyro kanály a 2 servo kanály se zvoleným načasováním.

Počítač sama detekuje vzlet za pomoci akcelerometru (překročení hranice 3G) a výškoměru (překročení 50 m) a celý let je následně plně automatizován v souladu s předem nastavenými časovači aktivace jednotlivých činností.

Vega dále měří lineární zrychlení, lineární rychlost, výšku, úhlovou rychlost, teplotu, tlak a GPS polohu. Tyto údaje jsou následně ukládány na SD kartu.

Počítač je doplněn pozemní stanicí, umožňující telemetrickou komunikaci s raketou a usnadňující předletové testování.

Způsob měření a ukládání dat

V rámci našeho projektu jsme však tento počítač použili pouze k měření fyzikálních veličin. Ke správnému nastavení je potřeba v rámci konfigurátoru vyhledat kolonku časovače "Timers". Zde je potřeba nastavit podmínku "Start" na "Ready" a do kolonky spoušť "Trigger" vyplnit jako událost vzlet "Lift off". Dále je vhodné nastavit nízký práh detekce zrychlení při vzletu (maximálně 3G) a postup uložit.

Po zapojení Vegy do baterie se s periodou 6s bude ozývat dvojité pípání, což znamená, že kalibrace proběhla úspěšně a palubní počítač je připraven k letu. Po dosažení zadaného zrychlení periodický zvuk utichne. Po přistání stačí Vegu vypojit z baterie a připojit k počítači, kam se data sama nahrají ve formátu .cfl.

Stavba modelu rakety

Příprava materiálu a dílů

- Rám/tělo rakety je tvořeno z kartonového tubusu o tloušťce stěny 2 mm - vnitřní průměr 76 mm. Na výrobu byly spotřebovány dva tubusy - jeden o délce 750 a druhý 530 mm. Tubusy jsou dále seříznuty na požadované délky 750, 350 (pro tělo rakety) a 80 mm (pro coupler)
- Většina dílů je tisknuta na 3D tiskárně a to ze dvou materiálů PLA a CPE/PETG. U jistých dílů je nutnost nastavit správně podpěry a pro jejich optimalizaci využít např. funkci "paint-on supports"
 - Nosecone V3: Tělo, Dvířka
 - Držák na elektroniku: Aretační obruč (možnost z CPE/PETG), Držák, Vrchní krytka
 - Coupler: 2x Kruh
 - Motorová sekce (z CPE/PETG): 2x Center ring, Vrchní center ring
 - Držák desky CATS Vega: Spodní část, Vrchní část
- Pak stabilizační prvky jsou vyříznuty přímočarou pilou a dále opracovány pro shodnost a přesnost a jsou vyrobeny z překližky z břízy o tloušťce 6,5 mm.
- Vnitřní trubka motorové sekce pro motorovou lož je z HT-trubky (dostupné v hobby marketech - trubka pro odpad).
- Kovové prvky: Šroubek M6 16 mm, závitová tyč M6 zkrácena na 185 mm, matka M6, matka M6 s okem, 12x šroubky a matky M3 pro kotvení dílů do rámu a coupleru, M3 šroubek pro

nosecone verze 3, 2x M3 šroubek pro Rail button, šroubky pro kotvení servo motoru, krátké vruty pro fixní kotvení prvků do rámu, karabina "RAPID" pro připevňování padáku a lan, (2x matka a šroubek M3 pro připevnění držáku desky CATS Vega)

- Epoxidové lepidlo, polyuretanové lepidlo na dřevo, sekundové lepidlo
- Padák, lana (pro připevnění padáků a např. vlasce pro přichycení dvířek noseconu)

Kompletace motorové sekce

Zprvu došlo ke slepení center ringů k trubce pro motor epoxidovým dvousložkovým lepidlem. Také byl zasazen a zalepen M6 šroub do vrchního center ringu. Nutno dát pozor na zarovnání výřezů pro stabilizační plochy - zasazení (ještě ne lepení) finů do drážek a užití 3D vytisknutého držáku. Dále jsme vyřízli otvory pro finy. Celá tato sestava byla zalepena epoxidovým do trupu. Pak byly finy zasunuty skrze výřezy a zalepeny epoxidovým lepidlem do drážek. Dále bylo využito polyuretanové lepidlo pro další zalepení finů a vrchního center ringu zevnitř (nutno využít štětec na tyči kvůli horší dostupnosti v tubusu). Do center ringů (spodní a vrchní) byly vyvrtány otvory pro rail buttony - vlepení epoxidovým lepidlem M3 šroubu dovnitř plus zalepení styčné plochy.

Obě části držáku pro desku CATS Vega se slepí sekundovým lepidlem a pod prostorem pro coupler se vytvoří kotvicí otvory pro šroubky.

Coupler byl vyhotoven ze zkráceného kartonového tubusu s upraveným průměrem. Byly do něj vlepeny kruhy pro spojování sekcí pomocí polyuretanového lepidla. Pak se do tubusu motorové sekce vytvoří i kotvicí otvory pro šroubky pro spojení s couplerem.

Kompletace horní etáže

Nejprve je potřeba vyměřit podle výšky držáku na elektroniku a horní pozice vsunutého coupleru místo upevnění aretační obruče pro držák. Aretační obruč je do pozice vlepena epoxidovým lepidlem, dále zafixována 3 krátkými vruty a dále zbytek dolepen polyuretanovým lepidlem. Nutno dávat pozor na pozici drážky pro kabel servomotoru noseconu v3.

Usazení a zašroubování servo motoru do základy nosecone V3. Dále je nutno páku serva nasadit na motor podle orientace pozice otevřeno/zavřeno. Do horní části dvířek je nutno vlepit sekundovým lepidlem šroubek M3 pro utvoření "kolíčku", který se zaklesne do protější části na základně noseconu. Dále je potřeba epoxidovým lepidlem nalepit nosecone na horní kartonový tubus. Kabely od serva je nutno páskou zafixovat na místě a udělat otvor a protáhnout je do něj - výdej na aretační obruče pro elektroniku.

Na vrch držáku elektroniky je připevněna sekundovým lepidlem jeho vrchní část. Je také potřeba uložit komponenty do držáku na elektroniku. Jedná se o zasunutí M6 matky dopředu, provlečení závitové tyče a nahoře upevnění šroubu k okem. Dále se instaluje stahovací páska do prostoru pro baterii. Pak také se provléká napájecí kabel skrz otvor nahoře, který spojuje sekci baterie a elektroniky. Dále se pak instaluje i elektronika - upevnění M3 šroubky, samotná baterie a zasouvají se dvě kamery do příslušných prostor. V případě problémů s tolerancemi je nutno štípačkami a jinými postupy upravit příslušné části držáku na elektroniku (např. výřez pro zasouvání kabelů triggerpinu, ubránění materiálu okolo tlačítek kamer atd...)

Do matky s okem se pak přiváže (lezecká osma) prodlužovací lano pro padák, na jehož konci je karabina "RAPID". K té se připevní hlavní padák, na ten se pak připojí i výtažný padák. Do prostoru spojení obou padáků k sobě se pak ukotví pomocí vlasce dvířka noseconu V3 (vlasce připevněn kolem šroubu, který slouží jako zarážka, dále pak i zalepen).

Dále je třeba vytvořit otvor pro šroubky pro upevnění držáku na elektroniky, coupleru. Pak výřezy pro kamery a výřez pro kabel trigger pinu a již zmiňovaný výřez pro kabeláž servo motoru.

Dodatečné úpravy

- Povrchová úprava pomocí smirkového papíru a přidání barvy - barva ve spreji.
- Zaoblení určitých hran.
- Přidání polepu - tisk na papír a následně klasickým lepidlem na papír připevněno na trup.
- Otvory pro šroubky, kamery, kabely

Schéma letu

Předstartovní příprava modelu rakety

Neznáme celý bezpečný postup integrace motoru a zapojení jeho komponent pro zapálení, takže je tato část v postupu záměrně vynechána. To bude dořešeno na základě konzultace s Czech Rocket Society.

- 1) Integrace CATS Vega
- 2) Nasazení a upevnění coupleru do spodní části (motorová sekce)
- 3) Zasazení SD karty do elektroniky a nasazení kamer do držáku na elektroniku (avionika již připevněna)
- 4) Zapnutí avioniky a kamer
- 5) Protažení lana pro padáky skrze otvor v aretační obruči v horní etáži a současně protažení vodícího vlasce prodlužovacího kabelu (se závažím) do otvoru pro spojení serva s avionikou
- 6) Zasazení držáku elektroniky do tubusu horní etáže
- 7) Protažení kabelu trigger pinu do příslušného otvoru.
- 8) Ukotvení držáku elektroniky do tubusu šroubky
- 9) Spojení kabelu servo motoru s prodlužovacím od avioniky a zajištění spoje pomocí pásky
- 10) Naskládání kabelů a vodícího vlasce do otvoru
- 11) Překrytí otvorů pro kabely serva a trigger pinu páskou (obory blízko u sebe) - nutnost kabelu trigger pinu, aby koukal ven
- 12) Připevnění horní etáže k motorové sekci pomocí coupleru
- 13) Skládání padáku a nasazení dvířek nosecone V3
- 14) Zasunutí trigger pinu plus test servo motoru

Celá předstartovní příprava zabrala 16 min (do času je zahrnuto i zašroubování motoru).

Obecné schéma letu

Raketa je umístěna pomocí rail buttonů na startovací dráhu. Při jejím vzletu dojde k vytržení kabelu trigger pinu a palubní počítač zahájí letový odpočet. Po uplynutí 6 s dojde k aktivaci servo motoru, který otočí záklopkou a uvolní tak část noseconu. Vlivem otřesů rakety a aerodynamických sil tato část odpadne a odhalí tak vnitřek špičky rakety, kde jsou ukryty padáky. Časovaných 6 s bylo zvoleno v souladu se simulací tak, aby k rozpadu noseconu došlo bezprostředně před dosažením apogea. Výtažný padák okamžitě vytáhne hlavní padák (sestup je tak pouze jednotupňový). Raketa následně klesá z apogea s oběma padáky rozloženými vertikálně nad sebou.

Simulace a dolet

Za účelem analýzy letu, jsme provedli jeho simulaci v softwaru Open Rocket. Rychlost při opuštění kolejnice se rovnala 12,3 m/s, přičemž motory dohoří po necelých 2s. V této chvíli se raketa pohybuje maximální rychlostí 55m/s. Apogea by mělo být dosaženo po 6,8 s letu ve výšce 176m. Dvířka jsou uvolněna po 6 s a předpokládáme, že následné plné rozbalení výtažného padáku zabere 2s. V této chvíli soustava padá rychlostí 12 m/s. Další 1s zabere vytažení a rozbalení hlavního padáku. Po 10s by měla raketa padat rovnoměrně k zemi rychlostí 6.9 m/s.

Zrychlení je maximální 1s po zážehu a dosahuje hodnoty 4G. Následně dojde k významnému "trhnutí" při otevření hlavního padáku při sestupové rychlosti 12 m/s. Zpomalení je v té chvíli vyšší než 2G, čemuž musí být přizpůsobeny upevňovací systémy na raketě.

Testování

Testy sestupného systému (vypuštění i samotný systém): <https://youtu.be/W1yOw21QygY>

Testy - viz obrázková příloha

Zdroje

Práce týmu GJN Aerospace na projektu CanSat: <https://gjnaerospace.netlify.app/>
Space race EPFL Rocket team: <https://epflrocketteam.ch/our-projects/space-race/>

Klasifikace raketových motorů: https://en.m.wikipedia.org/wiki/Model_rocket_motor_classification
Czech Rocket Challenge: <https://czechrocketchallenge.cz/> (viz parametry motoru pro veřejnost)

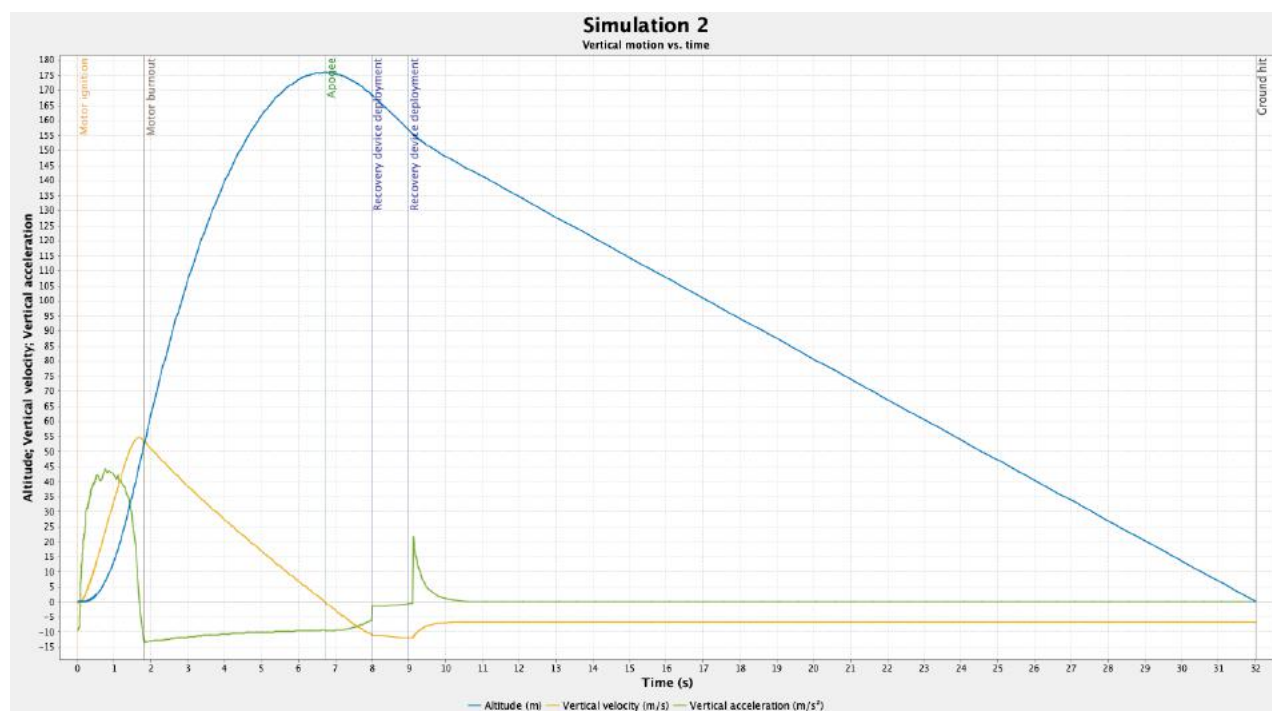
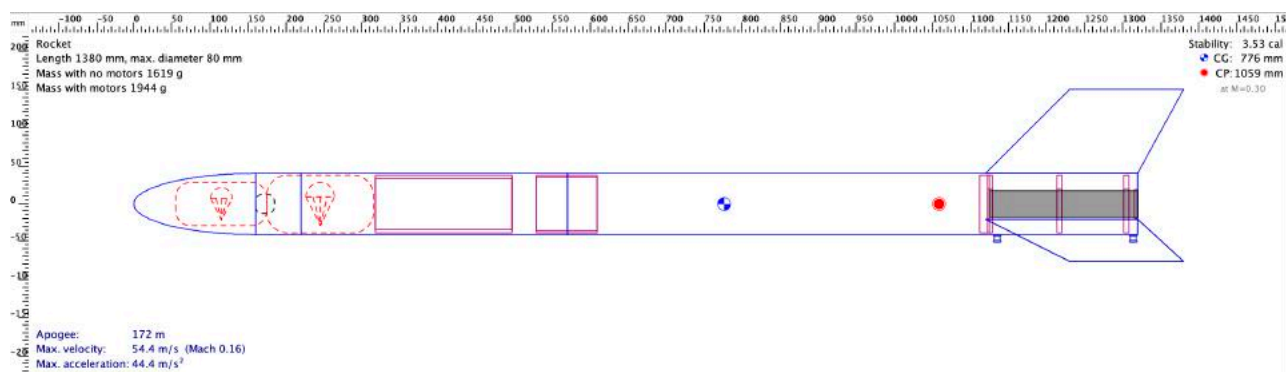
CATS Vega: <https://www.catsystems.io/vega>

OpenRocket: <https://openrocket.info/>

Testy sestupného systému: <https://youtu.be/W1yOw21QygY>

Obrázková příloha

OpenRocket



Testy



Ostatní obrázky



