

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav mechaniky tekutin a energetiky



Experimentální řešení vodou poháněné rakety

Jakub Gurecký

Příspěvek na Konferenci STČ

Praha, duben 2008

Anotace

Cílem projektu je navrhnout komplexní řešení experimentu ověřujícího tak zvanou „vodní raketu“. Projekt tedy zahrnuje návrh, konstrukci a výrobu rakety. Startovací zařízení a a startovací postupy, které startu předcházejí se všemi bezpečnostními ohledy, jsou popsány a uvedeny.

Hlavní motivací je však seznámení se z různými moderními technologiemi a jejich praktickými aplikacemi.



1. Popis systému

Raketa je poháněná velmi jednoduchým systémem. Těleso rakety je ve své podstatě částečně vodou naplněná tlaková nádoba, v níž se akumuluje potenciální energie ve formě stlačeného vzduchu. V okamžiku otevření výtokové trysky je voda vytlačována tryskou, a tím vzniká reakční síla, která, jak vyplývá ze 3. Newtonova pohybového zákona o akci a reakci, působí na raketu opačným směrem a uděluje jí zrychlení.

Velikost tahové síly F_t je dána hmotnostním tokem a hustotou vytékající kapaliny

$$F_t = \dot{m} \cdot p \quad (1)$$

Hmotnostní tok lze regulovat pomocí průměru d_e výstupní trysky a tlakem P_1 , který je v tlakové nádobě. Rychlost, kterou proudí kapalina tryskou, je vyjádřena vztahem (2)

$$ce = \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \left(\frac{P_1 - P_a}{1 - A_e^2 - A_1^2} \right)} \quad (2)$$

Tahová síla se spolu s výstupní rychlostí mění v závislosti na změně objemu kapaliny v tlakové nádobě. Spodní hranici totiž tvoří hladina vody, která při výtoku klesá a tím se zvětšuje objem plynu obsaženého v tlakové nádobě.

Cílem je, aby raketa doletěla co možná nejvýše. Doba letu tedy závisí na tlaku P_1 , na množství vody v tlakové nádobě a dále na průměru výstupní trysky. Je nutné optimalizovat tyto veličiny s ohledem na požadovaný cíl.

Maximální hodnota tlaku P_1 je dána konstrukcí tlakové nádoby. V tomto případě se jedná o karbonovou tlakovou nádobu, jež je dimenzována na 20 MPa. Množství vody je třeba zvolit tak, aby konečný rozdíl objemů nebyl příliš velký a nedošlo k vyrovnání tlaku P_1 s atmosférickým tlakem P_a dříve, než je veškerá kapalina vytlačena. Nebo dokonce, aby nedošlo k vytvoření podtlaku vlivem setrvačných sil kapaliny a zamezení jejího výtoku.

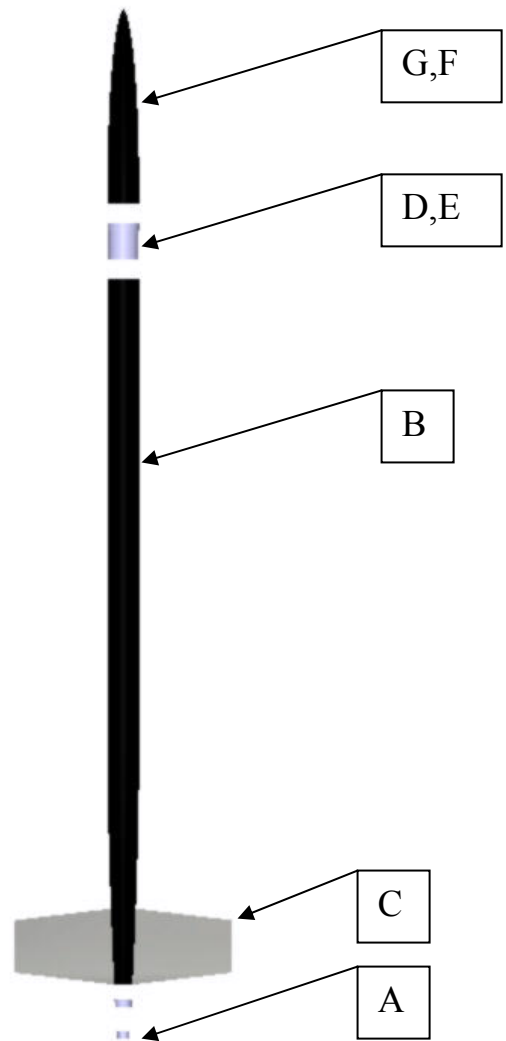
Množství kapaliny je dále třeba optimalizovat s ohledem na počáteční hmotnost rakety při startu. Vzhledem k hustotě vody tvoří kapalina podstatnou část hmotnosti rakety před startem.

Máme-li základní hodnoty tlaku P_1 a množství vody, je třeba dále optimalizovat průměr výstupní trysky d_e . Cílem je co nejdéle trvající tah. Toho dosáhneme minimalizací průměru výstupní trysky d_e . Tato minimální hodnota je ovšem omezena požadavkem na tah motoru větší než je hmotnost rakety při startu. Jinak by samozřejmě nedošlo ke startu do doby, než by síla tahu byla větší než hmotnost rakety při vyprazdňování. Je žádoucí, aby byl tah motoru při startu alespoň tak velký, aby udělil raketě na vzdálenosti x dostatečně velké zrychlení, respektive rychlost, při které již fungují stabilizační plochy. Vzdálenost x je výška startovacího zařízení tedy délka vedení rakety.

2.Konstrukce rakety

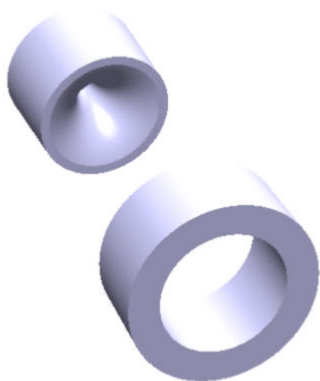
Raketa se skládá z těchto částí:

- A Výměnná tryska
- B Tlaková nádoba
- C Stabilizační křídélka
- D Středový prstenec
- E Elektronika
- F Padák
- G Špička
- H Spojovací lanko



A Výměnná tryska

Jak již bylo zmíněno, výstupní tryska je jedena z optimalizovaných částí rakety. Z toho důvodu je konstruována jako výměnná. Je teoreticky navržena a její různé průměry umožní experimentálně ověřit její optimální průměr pro daný tlak i množství vody. Tryska je zajištěna proti vyšroubování pojistným tmelem.



B Tlaková nádoba

Tlaková nádoba je vyráběna firmou Compotech, která disponuje technologií umožňující navíjení karbonových vláken na trn. Díky přesně definované struktuře vláken je možné předejít nedostatkům v homogenitě vznikajícím při ruční laminaci. Vlastnosti takto vyrobené tlakové nádoby se s dostatečnou přesností blíží výpočtu. Ten je dílem Ing. Robina Poula z firmy Compotech. Byl k němu využit unikátní softwear, jenž byl vyvinut ve spolupráci s ČVUT.



C Stabilizační křídélka

Systém stabilizace je nezbytnou součástí rakety. Stabilizační křídélka plní dvě funkce zároveň.

První je samotná stabilizace. Při dosažení jisté rychlosti letu vznikají aerodynamické síly, které raketu održují ve stabilitě při výchylce rakety vychýlit z předurčené trajektorie. Princip stabilizace spočívá v tom, že pootočí-li se raketa v ose kolmé na let, změní se úhel náběhu na příslušném stabilizačním křídélku a tím dojde ke vzniku aerodynamických sil, které jsou popsány vzorcem

$$F = c \cdot \rho \cdot S \frac{v^2}{2} \quad , \quad (3)$$

kde c je součinitel vztlaku vycházející z příslušné poláry profilu křídélka stabilizátoru.

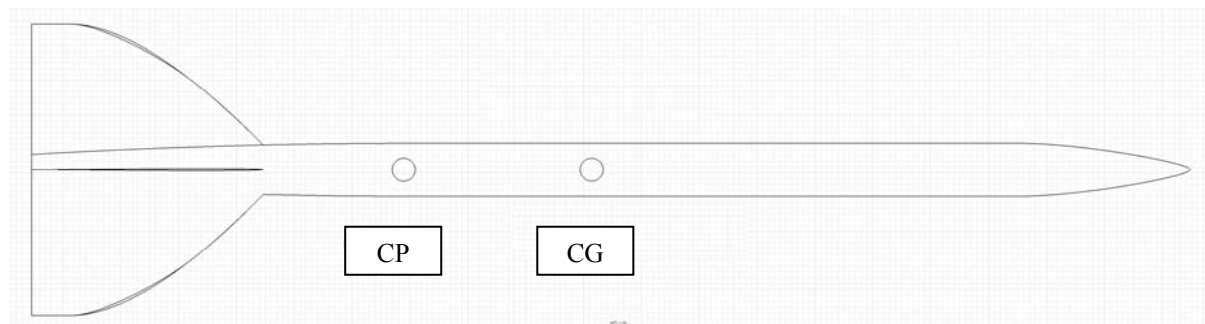
Druhou funkcí stabilizačních křidélek je udělení rotace raketě v ose rovnoběžné s letem rakety. Rotace vytváří gyroskopický moment, jenž raketu stabilizuje. Je zřejmé že obě formy stabilizace zvyšují odpor rakety a tím spotřebovávají výkon. Z tohoto důvodu je rychlost rotace navržena malá.

Pro stabilizační křídélka se nabízí řešení pomocí nesymetrického profilu, jenž by kladl jen minimální odpor. Takto navržená křídla by musela být vyrobena z laminátu, ten je však nevhodný, protože je křehký a snadno by se při návratu rakety na zem poškodil. Dá se totiž předpokládat, že vzhledem k umístění stabilizačních křidélek budou tyto části rakety první, jež narazí na zem.

Vzhledem k tomu, že úhel náběhu křidélek se bude pohybovat okolo nuly, může být profil velmi tenký. Proto je zvolen jako konstrukční materiál duralový plech. Jeho snadné zpracování dovolí výrobu několika sad. A při poškození se snadno vymění.

Také vzhledem k různému množství vody při startu rakety je třeba mít možnost změnit velikost křidélek.

Pro stabilitu letu je totiž nezbytné, aby centrum tlakových sil C_P bylo za centrem hmotnosti (těžištěm rakety) C_G .



D Středový prstenec

Tato součástka plní několik funkcí najednou. Primárně jde o vrchní dno tlakové nádoby. Tato duralová součástka je zalepena konstrukčním lepidlem do koncové části karbonového dílu. Poskytuje ochranu elektronice a mechanismu spouštějícího návratový systém. A nakonec tvoří vedení špičky rakety.

E Elektronika

Jedná se především o přijímač a servomotorek, které spouštějí návratový systém. Jde o jednoduchý a spolehlivý způsob, jak bezpečně otevřít padák ve správnou chvíli.

Další součástí je mikrokamera se záznamovým zařízením, které poskytnou důležitá data o průběhu letu.

F Padák

Padák je hlavní součástí návratového systému. Jeho velikost se odvíjí od požadované sestupové rychlosti a hmotnost rakety při návratu, která se bude přibližně dva kilogramy. Konstrukce je velice prostá jedná se o 8 dílů přibližně trojúhelníkového tvaru vyrobených ze skytextu, jenž po sešití vytvoří vrchlík koule. Důležitým aerodynamickým prvkem je otvor ve vrchní části padáku, jenž zaručí stabilitu. Při jeho absenci by vlivem střídavě se tvořících vírů došlo k rozhoupaní padáku a poté k jeho zborcení.

G Špička

Jedná se o díl vyrobený firmou La composite. Tento karbonový díl je vyroben zajímavou laminovací technologií. Používá se k ní předem pryskyřicí nasycená tkanina. Ta se umístí do formy a pod tlakem se precizně přimáčkne k formě. Poté se v autoklávu vystaví teplotě, při níž se zaktivuje tvrdidlo v pryskyřici. Teplotní křivka není lineární. Jsou zde různé úrovně. Jedna z prvních je teplota, při níž začne být pryskyřice tekutá. To umožní pomocí podtlaku odsát přebytečnou pryskyřici mimo výrobek.

Špička plní především funkci aerodynamického krytu padáku a elektroniky. Je nasazena na středový prstenec. Zde je zaaretována zámky, které jsou ovládány servomotorem.

Mezi padák a špičku je umístěna lehká pružina. Ta zajistí spolehlivější a rychlejší otevření padáku.

H Spojovací lanko

Jeho funkcí je udržet oddělenou špičku u rakety a tím zamezit její ztrátě a poškození.

3.Startovací zařízení

Funkce, které startovací zařízení plní jsou především dvě. A to aretaci rakety při plnění vzduchem až do doby, kdy se dosáhne požadovaného tlaku. V okamžiku startu se aretace uvolní a systém pohonu začne vytvářet tah.

Druhou funkcí startovacího zařízení je vedení rakety, než dosáhne rychlosti, při níž začne fungovat aerodynamická stabilizace letu.

Vedení rakety je uskutečněno pomocí 3 vodících tyčí. Výhodou tohoto řešení je, že se dá snadno měnit úhel startu. Na těleso rakety nemusí být připevněna žádná vodící pouzdra zvětšující třecí odpor.

4.Závěr

Vodou poháněná raketa má jistě mnoho omezení a nikdy nedosáhne výkonů raket na pevná či kapalná paliva. Její výhodou je však možnost snadno a levně opakovat start bez potřeby jakéhokoliv paliva. Ekologické důsledky provozu rakety jsou zřejmé. Tím, že se nepoužívá spalovací proces, má raketa bezpečnostní výhody. Její uplatnění se dá hledat především u modelářů a firem vyrábějících modely. Byl proveden úspěšný ověřovací experiment funkce vodou poháněné rakety s užitím PET lahve a amatérský videozáznam letu bude předveden.