

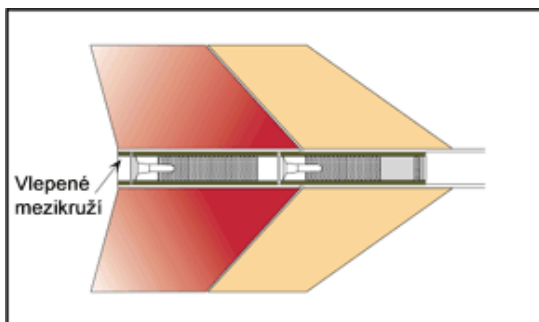
# Jak funguje model vícestupňové rakety II

23. Únor 2003 maňásek

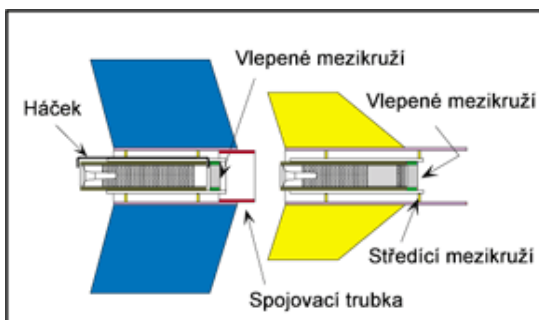
Toto je druhá část článku, který se věnuje stavbě a létání s vícestupňovým modelem rakety. V první části jsme si vysvětlili, jak model vícestupňové rakety funguje. V dnešní části budu mluvit o tom, jak fyzicky uspořádat části rakety, abychom dosáhli úspěšného zážehu motorů v následujících stupních. Také se zmíním o bezpečnostních pravidlech, výběru vhodných motorů a strategii létání.

## Upevnění motoru & spojení stupňů

Způsob, jakým jednotlivé díly v raketě uspořádáme bude mít přímý vliv na úspěšný průběh všech fází letu modelu. Nejdůležitějšími díly jsou bezesporu motorová lože a způsob, jakým jsou stupně spojeny v jeden celek. Pokud je vnitřní průměr trupu rakety přibližně stejný jako vnější průměr motoru, způsob spojení obou stupňů je daný – spodní konec motoru horního stupně musí být zasunut do horního konce trupu spodního stupně. Tento způsob znázorňuje obrázek č. 2. Booster se zasouvá do trupu horním koncem trubky spodního stupně, přičemž je vhodné dovnitř dolního konce trubky spodního stupně vlepít mezikruží, které zabrání vypadnutí motoru při oddělování stupňů. Tato metoda je mnohem jednodušší, než kdybychom se snažili zajistit booster pomocí háčku z tenkého drátu.



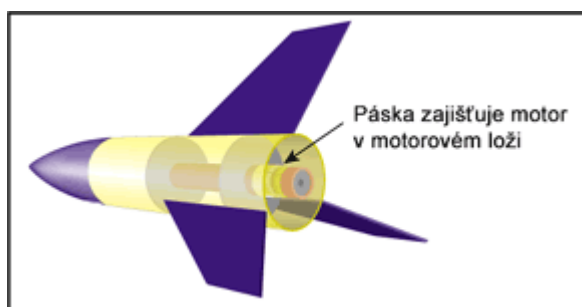
Obr. 2: U rakety s průměrem trupu rovným průměru motoru lze jako spojovacího prvku stupňů použít samotný motor.



Obr. 3: Při větším průměru trupů máme víc možností jak stupně spojit dohromady. Obrázek znázorňuje spojení pomocí spojovací trubky vmontované do spodního stupně.

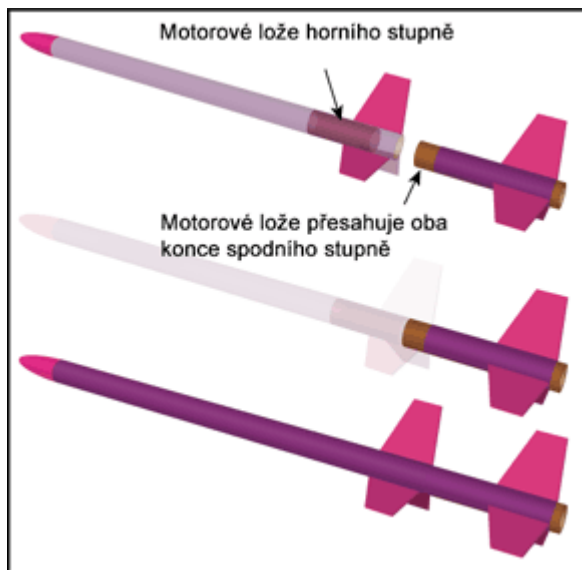
Další výhodou této metody je, že můžeme bez problému motory obou stupňů zajistit omotáním páskou. Praxe spojování motorů páskou pochází ze samého počátku raketového modelářství. Páska drží motory těsně u sebe a zaručí, že k zapálení motoru horního stupně dojde před tím, než se spodní stupeň oddělení (odpadne) od stupně horního. Teplo a plameny vycházející z horního stupně roztaví pásku a dovolí tak spodnímu stupni jeho oddělení. Předstartovní příprava pak vypadá následovně:

1. Nejprve spojíme motory obou stupňů omotáním páskou, booster se samozřejmě nachází dole. Použijeme pouze jednu vrstvu pásky. Lépe je použít celofánovou pásku než papírovou, protože se taví při nižší teplotě.
2. Potom omotáme booster několika vrstvami běžné pásky. To je třeba, abychom zvětšili tření, které zabráni vypadnutí boosteru z trupu ve fázi návratu spodního stupně na zem. Toto omotání neslouží k udržení boosteru uvnitř trupu při odhození spodního stupně, protože to zajistí vsazené mezikruží na dolním konci stupně. Zabráňuje ale vypadnutí boosteru vrchem stupně, když se při návratu na zem ve vzduchu převrací.
3. Naposledy omotáme páskou motor horního stupně. Použijeme dostatečné množství pásky, aby motor nebyl při výmetu návratného zařízení vyhozen z trupu rakety.



Obr. 4: Udržení motoru v horním stupni zajistíme tím, že navíc omotáme páskou motorového lože společně s motorem.

Protože je uchycení motoru v horním stupni řešeno třením (pomocí dostatečného množství pásky), má tato metoda jednu nevýhodu. Motor může být nesnadné vyndat z trupu po návratu rakety. Z tohoto důvodu by bylo vhodnější zajistit motor jiným způsobem. Znamená to ale zvolit větší průměr trupu horního stupně, aby do něj bylo možné zabudovat nějaký typ motorového lože. Osobně preferuji zajistit motor v motorovém loži horního stupně způsobem znázorněným na obrázku č. 4. Pokud bychom k zajištění motoru použili jakýkoliv typ háčku, motory obou stupňů by nasedly přímo na sobě a mezi nimi by byla malá mezera.



**Obr. 5: Model rakety s průměrem trupu blízcím se průměru motoru. Motorové lože spodního stupně přesahuje oba konce trubky trupu. Horní přesah slouží pro spojení stupňů, dolní přesah slouží k upevnění motoru pomocí pásky.**

Tento způsob zajištění motoru v horním stupni a použití spojovací trubky vmontované ve spodním stupni představuje metodu, která se mi osobně zdá pro spojení stupňů nevhodnější. Velkou výhodou tohoto uspořádání je, že lze snadněji dosáhnout spojení stupňů přesně v ose, než je tomu při spojení stupňů pouze pomocí motoru. Navíc u metody spojení pomocí motoru se stává, že díky příliš lehkému rozpojení stupňů dojde k výraznému a neočekávanému odklonu dráhy letu rakety v bodě oddělování stupňů. Naopak nevýhodou spojení stupňů pomocí spojovací trubky je, že průměr trupu rakety musí být větší než průměr motorů, abychom mohli do trubek vestavět potřebná motorová lože. Čím je průměr trupu rakety větší, tím větší odpor raketa má a nedosáhne takové výšky.

Sportovní modeláři přišli na způsob, jak spolehlivě zajistit spojení i oddělení stupňů u raket malých průměrů trupu (obr.5). Klíčovým bodem návrhu takové rakety jsou motorová lože. Motorové lože přesahuje spodní stupeň na obou jeho koncích. Horní přesah funguje jako spojovací díl a zasouvá se do horního stupně. A protože spojovací díl se zároveň nasazuje na dolní část motoru horního stupně, síla spojení stupňů je dvojnásobná.

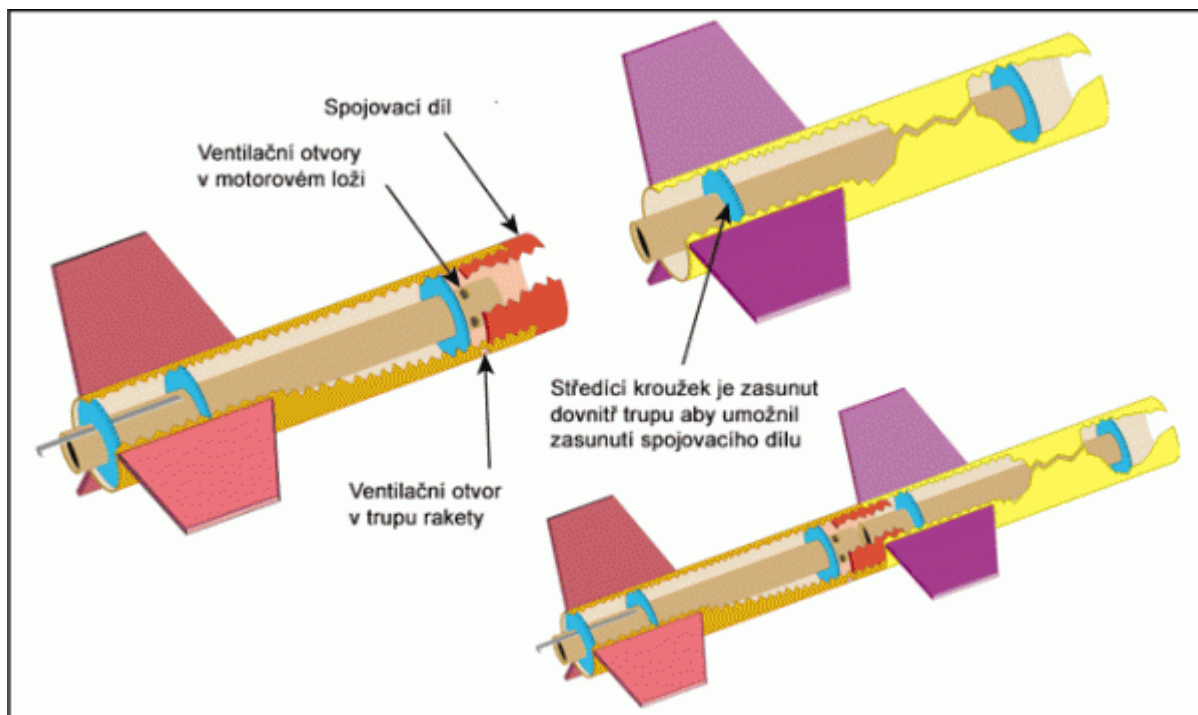
Kvůli tomuto uspořádání spodního stupně musí být motorové ložko horního stupně odpovídajícím způsobem zasunuto dovnitř trupu (zadní konec motoru „visí“ volně v prostoru uvnitř trupu). Jedinou nevýhodou této metody je, že motor horního stupně je v loži uchycen pouze pomocí tření, což však u poměrně málo výkonných motorů používaných při raketových soutěžích není na překážku.

## Zažehování na vzdálenost u velkých průměrů

V minulém díle tohoto článku jsme hovořili o metodě přímého zažehování v případě, kdy motory jednotlivých stupňů nejsou v přímém kontaktu. Obrázek č. 6 ukazuje, jak se tato metoda provádí u raket s velkým průměrem trupu.

První důležitou věcí je umístění ventilačních otvorů jak na trupu rakety, tak i na motorovém loži. Jedině tak může vzduch hnaný od boosteru uniknout ven z trupu rakety, aniž by došlo pouze k natlakování prostoru mezi stupni. Kdyby v trupu rakety otvory nebyly, došlo by k oddělení stupňů bez zážehu horního stupně. Další důležitou věcí je umístění spodního středícího mezikruží motorového lože horního stupně hluboko do trupu. To proto, aby šel spojovací díl zasunout do horního stupně.

Motor horního stupně může být uchycen k motorovému loži pomocí pásky tak, jak ukazuje obrázek č. 4. Jen je třeba dát pozor na to, aby omotaná část motoru nezasahovala po sestavení rakety dovnitř motorového lože spodního stupně.



Obr. 6: Zažehování na vzdálenost u modelů s velkým průměrem trupu.

## Pravidla bezpečnosti

Kdykoliv použijeme v jedné raketě více motorů, zvětšuje se pravděpodobnost, že něco nebude fungovat správně. Protože chceme, aby let rakety byl bezpečný, měli bychom udělat vše pro zvýšení spolehlivosti funkce jednotlivých prvků modelu. Ze všeho nejvíce se snažíme vše uspořádat tak, aby skutečně došlo k oddělení stupňů a všechny následující stupně byly odpáleny po vertikále. Odpálení následujících stupňů s odklonem od původní dráhy rakety není v pořádku. Z těchto důvodů bychom nikdy neměli navrhovat rakety s více než třemi stupni. Čím více stupňů raketa má, tím horší bude její směrová stabilita při startu ve větrných podmínkách. Shrnuto, čtyřstupňová raketa už představuje tolik rizika, že by neměla být nikdy odpálena.

Jak již bylo řečeno, měli bychom zajistit správné spojení stupňů, přičemž jejich oddělování by mělo probíhat v ose. To zabrání náhlé změně směru letu horního stupně po oddělení. Pokud je to jen trochu

možné, měli bychom vždy dát přednost použití spojovacího dílu před spojováním stupňů jen pomocí konce motoru.

Volba správného motoru pro každý stupeň je velmi důležitá a měli bychom jí věnovat zvýšenou pozornost. Pokud model opustí rampu s nedostatečnou rychlostí, drasticky změni směr letu. Z pohledu bezpečnosti je potřebné, aby raketa po opuštění rampy pokračovala po vertikále, nikoliv horizontále. Motory, které zvolíme pro jednotlivé stupně budou přímo určovat trajektorii letu. Více informací o tom, jak správně motory vybírat, naleznete v sérii článků, která vyšla v našem e-zinu počínaje **číslem 38**.

Dalším prvkem, který bude ovlivňovat trajektorii modelu je plocha stabilizátorů, protože ta má vliv na polohu těžiště tlaku (CP) modelu. Způsob, jakým se určuje plocha stabilizátorů u vícestupňových raket, byl rovněž dříve popsán v e-zinu **číslo 96**.

## Strategie létání

Při odpalování vícestupňových raket musíme být více obezřetní a dávat pozor na každý detail, než při odpalování jednostupňových modelů. Zde je několik obecných zásad:

1. **Mějte k dispozici větší plochu na létání. Vícestupňové modely poletí mnohem výše a budou tudíž větrem hnány do větší vzdálenosti. Čím větší prostor pro létání, tím větší šance pro nalezení modelu a pro jeho opětovný startu.**
2. **Zkuste si vzdálenost dopadu modelu nasimulovat v programu RockSim a uvidíte, že při rychlosti větru 15 km/h raketa dopadne přibližně dvakrát tak daleko od místa startu, než bude její dostup. Takže pokud se předpokládá, že raketa dostoupí do 300 m, pravděpodobně přistane v okruhu 600 m od místa odpalu. Vzdálenost dopadu lze zmenšit, když v horním stupni použijeme návratové zařízení s malou plochou, případně malým náklonem startovací rampy proti větru.**
3. **Vícestupňové rakety jsou mnohem náchylnější na udržení směrové stability než jednostupňové modely. Dbejte tedy zvýšené pozornosti i při slabém větru. Můžete zkusit uklonit stabilizátory prvního stupně, čímž se dosáhne mírné rotace modelu. To sice sníží dostup rakety, ale na druhou stranu podstatně zvýší směrovou stabilitu.**
4. **Jiným trikem odedávna používaným modeláři pro urychlení sestupu je použití padáku s otvorem ve vrchlíku. Raketa pak klesá rychleji a zkrátí se tím vzdálenost dopadu od místa odpalu.**
5. **Sledování letu rakety usnadníme tím, že v horním stupni použijeme tzv. tracking powder. Tracking powder je jakýkoliv nehořlavý prášek (barevný) umístěný v raketě, který je vymeten a rozptýlen do okolí na vrcholu dráhy letu. Barevný oblak pomůže lokalizovat raketu velmi vysoko. Lze použít například suché tempery, křídový prášek nebo kosmetický pudr. Při zatažené obloze se nejvíce hodí černá barva, červená pak při jasné obloze.**

## Další informace

V knize „Model Rocket Design and Construction“ nalezou zájemci další informace týkající se vícestupňových modelů raket. Kniha obsahuje užitečné informace z oblasti: návratová zařízení prvního stupně, plachtící první stupeň, techniky nepřímého zažehování jednotlivých stupňů a další.

## O autorovi

Tim Van Milligan je vlastníkem **Apogee Components** a nového **vzdělávacího serveru** pro raketové modeláře. Je také autorem knih: **Model Rocket Design and Construction**, **69 Simple Science Fair Projects with Model Rockets: Aeronautics** a vydavatelem webového periodika o raketových modelech. Zaslání tohoto e-zinu lze zdarma objednat na webu Apogee Components, nebo zasláním prázdné zprávy na adresu [ezine\(zavináč\)apogeerockets.com](mailto:ezine(zavináč)apogeerockets.com) s předmětem zprávy „SUBSCRIBE“.

**Překlad: Roman Maňásek**