

Práškové kovy, speciální chemie
digitální váhy, neodymové magnety
barevné pigmenty, Neocube...

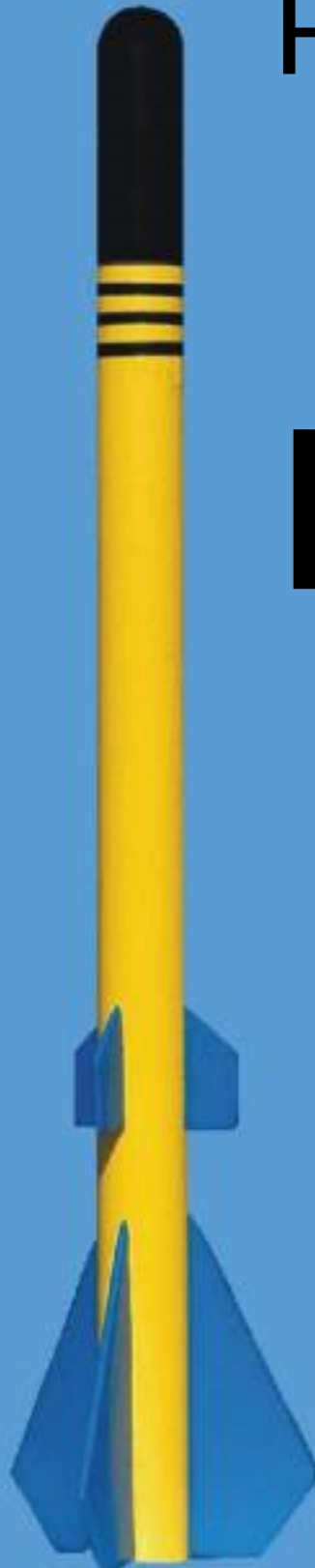


ROCKET

RAKETY

OD A

DO Z



O raketovém modelářství.

Raketové modelářství je jistě krásný, vzrušující a při zachování základních bezpečnostních pravidel a použití profesionálně vyráběných motorů i bezpečný koníček. Bohužel raketové motory pro pohon modelů raket se v současné době na pultech modelářských prodejen nevyskytují nebo je jejich cena dost neúnosná. To, že to před již mnoha lety šlo a nyní ne mi připadá naprosto nepochopitelné. Nezbyvá mi, než se trochu vrátit do historie a doufat, že se situace časem zlepší. Náznak se již objevuje.

Pro pohon modelu rakety je třeba použít vysokotlaký motor, který má tah mnohonásobně převyšující hmotnost rakety. Důvodem je nutnost velmi rychle dosáhnout vysoké rychlosti, neboť model je stabilizován pouze aerodynamicky a při malé rychlosti snadno změní směr třeba vlivem větru, ne zcela přesném směru vektoru tahu s podélnou osou modelu, nesymetrie hmoty ap.

Příkladem tohoto typu motorů byly dříve běžně prodávané motory [Adast](#), vyráběné v ZVS Dubnica nad Váhom. Měly vnější průměr 18mm, plášť silnostěnný papírový, tryska z kysličníkové keramiky, palivo vysokým tlakem lisovaný černý prach, vpředu zalisovaná zpožďovací slož (zároveň dýmovnice), pak výmetná slož - trochu obyčejného střelného prachu a nakonec papírové víčko. Jednalo se o typ s čelním odhoříváním paliva s krátkým vývrtem pro vyšší počáteční tah. V prodeji byly s impulzem 2.5, 5 a 10 Ns, lišily se délkou palivového jádra a tudíž délkou hoření, která byla odhadem tak 1-3s. Počáteční tah přesahoval 10N, takže rakety startovaly velmi hbitě. Zpoždění měly 0 (pro vícestupňové rakety kromě posledního stupně), 3s (raketoplány), 5s nebo 7s. Za mých mladých let (což už je víc tak čtvrt století...) stávaly 5Kčs, začátkem devadesátých let minulého století 20Kč, naposledy jsem je viděl někdy těsně před rokem 2000 za 56... velká škoda. Na závěr sezóny se v Praze na Letné pořádalo raketové show, při kterém létaly nejrůznější nesmysly a bandasky poháněné mnoha takovými motory, i to je už bohužel jen historie.

Taktéž se kdysi dávno vyráběly nízkotlaké motory, měly název S1 až S4, byla to krátká hliníková trubička vpředu uzavřená víčkem a vzadu ocelovým dýnkem s dírkou coby tryskou, dovnitř se vložila tabletka paliva, dýnko se přitáhlo převlečnou pružinkou, tryskou se prostrčila zápalnička. Motor běžel pomalu, asi 15s, tah dle velikosti desítky až stovky mN, balzová letadélka na to krásně létala, tableta stála tak korunu. Co bylo jako palivo nevím, volně hořelo pomalu duhovým horkým plamenem a zanechávalo bílý nálet, složení TPH bohužel stále nevím. Další velká škoda, že se něco takového nevyrábí, v dnešní době miniaturních RC souprav by to byla velká atrakce. Ze zahraničních firem se problematikou obdobných motorů zabývá firma [Jetex](#).

V současné době jsou v prodeji malé raketové motory pro modely letadel, vzhledově trochu podobné jako bývalé Adast, ale s malým tahem po dlouhou dobu a tudíž pro rakety nepoužitelné. Ale blýská se na lepší časy - objevily se i nové raketové motorečky pro modely raket od firmy [Rapier](#) Pardubice, tak je možno získat informace o nich přímo tam.

Základní typy raketových motorů na TPH.

Dříve, než přistoupím k popisu základních typů motorů na TPH, musím objasnit jeden dále často zmiňovaný důležitý pojem a tím je *zahrazení*. Jedná se o poměr plochy, na které TPH odhořívá, ku ploše (průřezu) trysky v jejím nejužším místě, označovaném jako krček nebo hrdlo. Pro každou TPH je jiná optimální hodnota zahrazení; čím je 'rychlejší', tím nižší zahrazení (=větší průměr trysky) a opačně. Při příliš nízkém zahrazení je nízký tlak ve spalovací komoře, tím je zpravidla nižší i rychlost odhořívání TPH a motor běží pomalu, s nízkou termodynamickou účinností a malým tahem. Naopak při příliš vysokém zahrazení tlak nebezpečně vzrůstá, tím většinou i rychlost hoření TPH a konstrukce motoru nemusí příliš vysoké namáhání vydržet. Taktéž jádro může popraskat nebo se odseparovat od pláště s následným zvýšením plochy odhořívání a následuje exploze motoru.

Nyní už konečně ke dvěma základním typům motorů:

Motory s čelním odhoříváním jádra.

Jedná se o nejjednodušší motor, kdy TPH kompletně vyplňuje spalovací prostor, vpředu je jádro zajištěno zátkou (často je to nalisovaná zpoždovací slož) a vzadu je zalisovaná, zalepená nebo jinak upevněná tryska. Po zažehnutí jádro rovnoměrně odhořívá odzadu dopředu. Běžně se jádro navrtává do hloubky cca tak $\frac{1}{4}$ svého průměru, čímž se kromě usnadnění zážehu dosáhne krátkodobého zvýšení tahu na počátku hoření, což je důležité pro rychlý start rakety. Pro tento typ motorů je potřeba rychle hořící TPH, jinak vyjde tryska příliš malá a nízký tah raketu neutáhne. Příkladem tohoto typu motorů byly dříve běžně prodávané motory Adast, vyráběné v ZVS Dubnica nad Váhom, poháněné lisovaným černým prachem..

Průměr r jádra	
Zahra- zení	
Průměr r trysky	

Zde vlevo je možno si nechat spočítat průměr trysky v závislosti na průměru jádra a zahrazení pro motor s čelním odhoříváním, vpravo pak opačně, zahrazení v závislosti na průměru jádra a trysky.

Dosazené počáteční hodnoty jsou mnohokrát úspěšně vyzkoušené při použití dále popisovaného sorbitolové TPH a vhodné pro první pokusy.

Průměr r jádra	
Průměr r trysky	
Zahra- zení	

Se zahrazením je možno jít v případě sorbitolové TPH až do hodnoty 100, ale je třeba mít na paměti, že to lze jen pokud uvnitř je tryska v celém průřezu kónická a jádro není navrtáno, t.j. rozhořívá se pouze z čelní plochy, nebo pokud je konstrukce motoru velmi pevná. Je třeba si uvědomit, že při rozhořívání jádra z návrtu dosáhne zahrazení krátkodobě podstatně vyšších hodnot. Použití vyšších zahrazení a tím i vyšších tlaků vyžaduje kromě vysoké pevnosti konstrukce motoru i dobře tvarovanou trysku s odpovídajícím expanzním poměrem (bude vysvětleno později), jinak ke zvýšení výkonu nedojde.

Motory s odhoříváním jádra z centrálního kanálku.

U těchto motorů je v jádře vytvářen jeden nebo několik kanálků po délce. V nejjednodušším případě je jediný kruhový kanálek (vývrt) v ose motoru, viz [obrázek](#) řezu motorem. Jádro odhořívá ze stěn kanálku do stran. Na první pohled je patrné, že plocha odhořívání je výrazně větší než u motorů s čelním odhoříváním. Úměrně tomu musí být i větší průměr trysky nebo lze použít pomalejší TPH. Jádro vyhořívá podstatně rychleji, motor táhne krátkou dobu vysokým tahem, což je obecně pro modely raket lepší z důvodu stability jejich letu. Nároky na odolnost trysky proti erozi a zvláště pak pláště motoru proti propálení jsou podstatně nižší. Je zde však problém u jednoduchého motoru s centrálním kanálkem kruhového průřezu : Po zažehnutí hoří TPH na stěnách kanálku o malém poloměru a tudíž o malé ploše, zahrazení je nízké a motor má malý počáteční tah. Postupem spalování se průměr kanálku zvětšuje, zahrazení a tím i tah stoupá, nejvyšší hodnoty se dosáhne až na konci spalování. Tento průběh tahu je přesně obráceně než by bylo třeba a navíc se energie z TPH plně nevyužije. Řešením je vytváření kanálku tak, aby měl větší počáteční plochu, např. do tvaru kříže, hvězdice apod. Nákrety je možno najít na jiných stránkách, viz odkazy, takže je zde už neuvádím. Sám jsem odzkoušel kříž a plochý obdélník s úspěchem, ale jsou s tím potíže a pracnost se oproti kruhovému zvýší. Takže používám dál kruhový centrální kanálek, musím však upozornit na dva problémy. První je ten, že kanálek by měl mít počáteční průměr větší než je průměr trysky, stačí asi tak o třetinu. Pokud se toto nedodrží, motor se dlouho rozbíhá, než se průměr odhoříváním dostatečně zvětší. V této fázi snadno dojde k erozi jádra z povrchu kanálku vlivem omývání jeho povrchu horkými spaliny zvláště při dosažení transsonické rychlosti proudění spalin, což může vést k nestabilitě hoření až k explozi. U sorbitolové, mnou používané a dále popisované TPH dojde ke stržení povrchové natavené vrstvičky, motor vyprodukuje zlomek sekundy trvající puls přičemž z trysky vylétnou kapénky

roztavené hořící TPH, pak téměř zhasne a znova naskočí tak za čtvrtinu sekundy. Tento jev jsem pečlivě sledoval krokováním videozáznamů a považuji jej za velmi nebezpečný, protože raketa může vyskočit z rampy a poté vystartovat přízemním letem, což může mít velmi neblahé následky. Další problém je, že se sorbitolová TPH na svém povrchu obtížně zapaluje. To je jinak velká výhoda, ale zde si vynucuje nutnost intenzivního zážehu na předním konci kanálku. Pokud se TPH zažehne poblíž trysky, na povrchu kanálku se nevznítí a motor pomalu vyhoří.

Průměr jádra	Zde vlevo je možno si nechat spočítat průměr trysky v závislosti na průměru jádra, kanálku, délce kanálku a maximálním zahrazení pro motor s vnitřním odhoříváním a jednoduchým centrálním kanálkem kruhového průřezu, který není po celé délce jádra.	Průměr jádra
Průměr kanálku		Průměr kanálku
Délka kanálku	Vpravo je možno si nechat spočítat maximální zahrazení v závislosti na průměru jádra, kanálku, délce kanálku a průměru trysky.	Délka kanálku
Zahrazení		Průměr trysky
Průměr trysky	Zahrazení je v tomto případě zjednodušená maximální teoretická hodnota, které motor dosáhne na konci spalování jádra; jinak je nižší.	Zahrazení
Dosazené počáteční hodnoty jsou mnohokrát úspěšně vyzkoušené při použití dále popisované sorbitolové TPH a vhodné pro první pokusy.		

Bližší představu o průběhu zahrazení v čase během odhořívání jádra čelního i kanálkového motoru dá program SHJ. K dispozici na internetu.

Tuhé pohonné hmoty (TPH) pro malé raketové motory.

Nejdříve pár slov, co to vlastně **TPH** je. Jedná se o takovou látku nebo směs látek, která je schopna rovnoměrného hoření v uzavřeném prostoru za zvýšeného tlaku. Pro vysoký výkon motoru je nejlepší, když všechny zplodiny hoření jsou při dané teplotě v plynném skupenství, mají co nejvyšší teplotu a co nejnižší střední molekulovou hmotnost.

TPH lze rozdělit do dvou základních skupin, a to na *homogenní* a *heterogenní*. První skupina jsou směsi látek, které spolu tvoří tuhý roztok nebo to může být i látka jediná. Typickým představitelem jsou TPH obdobného složení, jako mají bezdýmé střelné prachy, jejich hlavní složkou je nitrocelulóza želatinisovaná organickými nitroestery, převážně glycerolu nebo glykolu.

Technologicky jednodušší a pro amatéry použitelné jsou TPH druhé skupiny. V základním přiblížení se jedná o směs tuhého okysličovadla s palivem. Jedná se o heterogenní směs, t.j. jednotlivé složky lze při dostatečném zvětšení pozorovat a fyzikálně oddělit. Palivová složka má mnohdy i funkci pojiva, t.j. je např. snadno tavitelná nebo je chemickou cestou vytvrditelná.

Okysličovadlo je jedna nebo směs více látek, které se zahřátím rozkládají a uvolňují nejčastěji kyslík, potřebný ke spalování palivové složky. Často používanými látkami jsou amonné nebo draselné soli kyseliny chloristé a dusičné. Nejvyšší výkon poskytují TPH s chloristanem amonným.

Palivo nebo přesněji palivová složka je jedna nebo směs více látek, které se naopak snadno oxidují (spalují) za vývinu tepla a nízkomolekulárních plynných spalin. Zde je škála použitelných látek podstatně širší, nejznámější je asi síra a uhlík, pak sacharidy, syntetické pryskyřice, plasty a práškové kovy.

Směsné TPH mohou obsahovat ještě další látky, které jsou přidány z jiných důvodů. Tak třeba TPH na základě dusičnanu amonného musí obsahovat katalyzátor jeho rozkladu, např. dvojchromany. Dále při plnění paliva do motorů nebo forem je třeba, aby mělo plastickou konzistenci a poté se

vytvdřilo na vysokou pevnost. Pro tento účel se třeba používají vytvrditelné syntetické pryskyřice nebo je některá složka TPH nízkotavitelná a plní se při zvýšené teplotě.

Specifický impuls (Isp) je základní charakteristikou raketové TPH, která udává impuls motoru na její jednotkové množství. Pro jeho popis je třeba napřed objasnit celkový impuls motoru. Jedná se o součin středního tahu motoru a doby chodu a udává se v Ns. (Newtonsekundách)

Příklad : Motor vyvíjí střední tah 100N po dobu 1s, pak má impuls 100Ns. Stejný impuls má motor o středním tahu 200N po dobu 0.5s nebo 50N 2s nebo 10N 10s.

Nyní si představme, že máme dva motory o stejném impulsu 100Ns, v jednom je 100g TPH, ale v druhém je jen 50g dvojnásobně výkonnější TPH. Pak v prvním motoru je palivo o $I_{sp}=1\text{Ns/g}$, v druhém 2Ns/g . Většinou se jako jednotka pro I_{sp} používá pouze [s] (sekunda), protože vyjádříme-li I_{sp} třeba v ps/g (pondsekundách na gram) nebo v Kps/Kg nebo, jak bývá v anglicky psaných materiálech, v lb.sec/lb, pak se nám to pokrátí a zůstanou jen ty sekundy. Zanedbáme-li malou nepřesnost, pak 1N je 100p a pak v našem prvním motoru je palivo o $I_{sp}=100\text{s}$ a v druhém 200s.

Ted' už je jasné, že aby raketa letěla co nejvýše, je potřeba použít TPH o co nejvyšším I_{sp} a tudíž znát, na čem I_{sp} závisí. Odpověď vyplývá ze základního principu práce reaktivního motoru : Tah je vyvíjen urychlováním hmoty směrem dozadu, čímž reakcí vzniká dopředná síla. Tudíž čím více hmoty a čím rychleji, tím větší impuls. V našem případě je množství hmoty pevně dáno hmotností TPH a tudíž I_{sp} je určen výtokovou rychlostí.

Výtoková rychlost je rychlost, kterou jsou spaliny z motoru urychlovány směrem dozadu. Dosažení vysoké výtokové rychlosti je základním předpokladem vysokého výkonu motoru.

Základní parametry ovlivňující výtokovou rychlost :

- Konstrukce motoru.
 - Tlak ve spalovací komoře. Lze ovlivnit změnou zahrazení. Omezeno mechanickou pevností motoru i citlivostí TPH na příliš vysoký tlak. Má smysl jen po určité mez.
- Geometrický tvar trysky, je probráno v sekci o tryskách.
- Složení TPH.
 - Teplota (=střední molekulová rychlost) spalin. Dána výbuchovým teplem paliva. Vyšší teplota znamená zvýšení výkonu, ale zároveň vyšší tepelné namáhání zvláště trysky a nutnost použití vysoce odolných materiálů, což v amatérských podmínkách není příliš vhodné. Vysoké teploty se u TPH dosahuje přidavkem práškových kovů, zvláště Al nebo Mg.
- Podíl kapalného nebo tuhého aerosolu ve spalinách - optimálně žádný.
- Střední molekulová hmotnost spalin. Čím nižší, tím vyšší výtoková rychlost. Zvláště obsah volného vodíku ve spalinách má příznivý vliv. Je výhodnější TPH "bohatší", t.j. více paliva a méně okysličovadla než by byl stechiometrický poměr, právě z tohoto (i předcházejícího) důvodu.

Z těchto hledisek pro amatérské použití vyplývá, že výhodná je spíše raketová TPH o nižší teplotě spalin, ale co největším objemu plynů s co nejnižší střední molekulovou hmotností.

Další výhodné vlastnosti TPH pro amatérské použití :

- Snadná dostupnost a cena komponent.
- Bezpečnost z hlediska výbušnosti, toxicity i agresivity komponent, vlastní TPH i spalin.
- Stabilita, skladovatelnost.
- Snadné plnění motorů či forem.
- Výhodné charakteristiky spalování
- Slušný výkon.

Na základě všech těchto hledisek, studia materiálů, dlouholetých zkušeností a stovek pokusů jsem jako nejvýhodnější pro amatérské pokusy s raketovými motory vyhodnotil **TPH na základě dusičnanu draselného a sorbitolu**, které bude na následujících stránkách podrobně popsáno. Také

veškeré motory, popisované na těchto stránkách, jsou určeny pro použití této TPH.

Jiné TPH.

Moje stránky jsou zaměřeny na motory s použitím sorbitolové TPH, ale pro všeobecnou orientaci ještě na této stránce uvedu i jiné možnosti.

TPH na základě černého střelného prachu

Je asi nejstarší a nejznámější, použitá již ve starověké Číně. Běžný černý prach se zpravidla skládá ze 75% dusičnanu draselného, 12.5-15% uhlíku, zbytek (12.5-10%) síra. Všechny složky musí být velmi čisté, extrémně jemně semleté a technologický postup pro získání kvalitního prachu je dosti složitý. Černý prach není příliš bezpečný, snadno se vznítí a je citlivý na statickou elektřinu. Pro účel pohonu rakety musí být klasický černý prach slisován vysokým tlakem, uvádí se řádově 100MPa, na homogenní jádro o určité minimální hustotě, jinak je spalování vysoce progresivní a motor snadno exploduje. To je amatérsky obtížně dosažitelné a nebezpečné, ale je možno postupovat jinak.

První úpravou je změna poměru složek. Obsah uhlíku je třeba zvýšit na 25-35% a obsah síry snížit na 10-5%. Doporučuji spíše více uhlíku a méně síry z uvedeného rozsahu. Dále je vhodné přidat pojivo, osvědčený je dextrin v množství 1-5%. Více dextrinu způsobí zpomalení spalování, zato jádro je pevnější, odolnější k erozi a spalování je rovnoměrnější.

Další úpravou je lisování ve vlhkém stavu. Palivo se lehce zvlhčí lihem nebo vodou, optimálně směsí 1:1, ale skutečně jenom lehce, aby přebytečná kapalina při lisování nevytékala. Lih je výhodný z hlediska rychlého odpařování z vylisovaného jádra. Při použití vody může následné sušení trvat až několik dní, ale má určité výhody, neboť dusičnan draselný se ve vodě rozpouští, roztok nasýtí pórovitá zrníčka uhlíku čímž se kvalita paliva zvýší. To lze ještě zlepšit tak, že vodou zvlhčené palivo se v uzavřené nádobě nebo plastovém pytlíku na chvíli zahřeje, nejlépe ponořením do horké vody.

Z takto připraveného prachu lze lisovat jádra motorků i nízkým tlakem. Jde pak v podstatě o tytéž motorky, jaké se používají v ohňostrojových raketkách.

Nyní k jednotlivým složkám TPH na bázi černého prachu :

Dusičnan draselný KNO_3

známý též jako draselný ledek nebo sanitr (V Praze drogerie ve [Zlatnické](#) ulici, 65Kč/kg) musí být čistý, nesmí obsahovat žádné jiné soli. Pokud čistota není zaručena, je lépe jej překrystalovat z destilované vody.

Před přípravou TPH je nutno jej semlít na jemnost pudru, což lze nejjednodušeji mlýnkem na kávu s rotačními noži, co nejvyšší otáčky. Větší množství, tak 100-200g, lze mixerem, zde je však třeba rozebrat, vyčistit a kapkou oleje namazat ložisko a vždy tak po 30s mletí na maximální otáčky mixer zastavit, sundat nádobku a dotykem zespoda zjistit teplotu ložiska, které není dimenzováno na chod bez chlazení kapalinou v nádobě a případně nechat vychladnout. Na semletí jedné dávky stačí tak 2-3 minuty chodu mixeru.

Před mletím je dusičnan potřeba zbavit vlhkosti, protože jinak během mletí začne "lepit". Na to je nejlepší jej v tenké vrstvě rozprostřít na dokonale vyčištěný plech a vložit do elektrické trouby nastavené na teplotu 150 stupňů C nejméně na půl hodiny. Není třeba se obávat, čistý dusičnan draselný se nemůže vznítit, taví se při 339°C, rozkládá se až někde kolem 400°C. Vyzkoušel jsem 250°C bez následků. Jen je třeba důsledně dbát, aby při zahřívání nebyl ve styku s žádnou hořlavou látkou (papír ap.) a plech nebyl třeba mastný. Takto vysušený dusičnan je, pokud se hned nemele, nutno skladovat ve vzduchotěsně uzavřené nádobě, jinak znovu nepatrně navlhá a příště již je mletí obtížnější. Mletý dusičnan neskladovat, jeho kvalita se zhoršuje, sebelíp vysušený a vzduchotěsně skladovaný stejně časem hrubne a hrudkuje.

Uhlík

Jako uhlík se používá mleté dřevěné uhlí, které lze běžně koupit jako dřevěné uhlí na grilování. Dřevěné uhlí však není jenom uhlík, obsahuje ještě vysokomolekulární uhlovodíky, jejichž obsah je závislý na teplotě při výrobě. Dále obsahuje minerální látky ze dřeva, ze kterého bylo vyrobeno a které jsou nevítanou příměsí.

Kupované dřevěné uhlí je vyráběno z tvrdého dřeva a není příliš vhodné na přípravu raketové TPH. Naštěstí si lze snadno vyrobit lepší. Dřevo je třeba použít měkké, nesmolnaté, z listnatých stromů, například z lípy, olše, topolu ap. Vybrat dřevo mladé, z tenčích, rychle narostlých větví (běl), ne z jádra kmenů. Uhlí se snadno připraví v kovové nádobě s víkem, stačí i plechovka. Ve víku se prorazí několik dírek hřebíkem, plechovka se zcela naplní naštípanými kousky dřeva, zavíkuje a zahřívá jakýmkoliv způsobem (třeba ohniště nebo kotel) až do mírně červeného žáru. Z dírek ve víku uniká "dřevoplyn" a hoří. Plechovku občas pootočit, aby prohřátí bylo rovnoměrné. Přílišné rozžhavení nevadí, naopak, ale tenkostěnná plechovka se snadno propálí. Když přestane plyn z dírek ve víku unikat, ačkoli je plechovka prohřátá, zahřívání ukončit, nechat vychladnout a vyrobené uhlí přesypat do nehořlavé nádoby a těsně uzavřít - čerstvě vyrobené a ještě teplé uhlí se snadno znovu nenápadně vznítí!

Takto připravené drobné uhlí je měkké a velmi snadno se drtí na jemný prášek. Další vylepšení je možné provést odstraněním rozpustných minerálních látek, což lze snadno vyvařením drobného uhlí ve vodě, která musí být měkká, třeba čistá (přefiltrovaná) dešťová nebo nejlépe destilovaná.

Pro přípravu TPH je třeba nadrtit uhlí na co nejjemnější prášek, což je práce mimořádně špinavá. Není třeba obtížně sítovat pro odstranění hrubšího podílu, vzhledem k přebytku uhlí v TPH to zas až tolik nevadí a hrubější podíl způsobí ohnivý chvost jisker za letící raketou, což je efektní.

Síra

Použil jsem vždy mletou síru tak, jak se prodává. Prodejna drogerie ve [Zlatnické](#) v Praze 1kg/58Kč.

Dextrin

Pokud se nepodaří někde koupit, tak potřebné malé množství dextrinu lze snadno vyrobit pražením obyčejného škrobu. Rozprostřít v tenké vrstvě na čistý plech a péci v elektrické troubě, teplota tak 200 stupňů po dobu alespoň jedné hodiny. Škrob by měl velmi zvolna měnit barvu na zlatavou, pokud ne, zvýšit teplotu. Pokud hnědne, je teplota příliš vysoká. Po hodině odebrat lžičku a rozkvrdat ve skleničce vody, když se ihned zcela rozpouští na lepivý viskózní roztok, je hotovo.

Takto připravená TPH není nijak zvlášť výkonná, udává se dosažitelný Isp 80s a to ještě pro kvalitní, vysoce lisovaný prach, ale let rakety je efektní. Používá se v ohňostrojových raketách. Lze použít do motorů s čelním i centrálním odhoříváním jádra, ale v případě čelního musí být tryska dost odolná, minimálně ocelová vložka (krček) a palivo musí být nalisováno tlakem alespoň několik MPa, což lze pomocí jednoduchého šroubového nebo lépe hydraulického lisu. (Je popsán později.) Při použití nízkého lisovacího tlaku je takovýto motor velmi citlivý na zahrazení a tudíž průměr trysky, stačí o málo menší a roztrhne se.

Lepší je situace u motorů s centrálním odhoříváním, kterým stačí nižší zahrazení k dostatečnému tahu. Takovéto motorky jsou v obyčejných malých ohňostrojových raketkách a podle hustoty paliva soudím, že ho tam Čiňani jen tak ručně našťouchají klacíkem.

Příklad konstrukce jednoduchého motorku tohoto typu je možno nalézt na zajímavých a pěkných stránkách [Project-X vs. Detonator](#) o výbušninách. Ke zde uvedenému motorku si dovoluji ještě několik zjednodušení. Není u něj nutno používat žáruvzdorný tmel, zahrazení se během odhořívání paliva zvyšuje a ablaze hrdla trysky tento problém eliminuje. V optimálním případě by zvětšování průřezu trysky právě vyrovnávalo zvětšování plochy odhořívání paliva, počáteční průměr trysky by mohl být menší, zahrazení by bylo konstantní a termodynamická účinnost motoru nejvyšší. Při konstrukci velkých motorů tohoto typu se kromě tvarování palivového jádra s tímto efektem počítá, viz třeba ablativně chlazená grafit+polymer hrdla trysek motorů SRB, největších motorů tohoto typu a největších motorů na TPH vůbec. Mám ověřeno, že je možno použít i málo odolných

materiálů jako je sádra nebo tvrdé dřevo a současně zmenšit počáteční průměr hrdla trysky, raketa pak hbitěji startuje což je důležité z hlediska stability počáteční fáze letu.

Snížení finančních nákladů na motor lze dosáhnout nahrazením epoxydové zátky dřevěnou, drahý epoxy použít jen na její zalepení. Zátka by měla mít délku asi jako je její průměr.

Dále je třeba, aby plášť motoru nepřesahoval příliš přes ústí trysky. To se týká spíše motorů s čelním odhoříváním nebo s pomalejším palivem, kde je malý průměr hrdla trysky. Přesahující část pláště pak simuluje trysku s extrémně vysokým expanzním poměrem, což by bylo dobré ve vakuu, ale ne v přízemní atmosféře. Mám ověřeno citelné snížení tahu a zhoršení stability.

TPH na základě dusičnan draselný + sacharidy.

Sacharidy, též cukry nebo starším názvem uhlovodany, jsou sloučeniny uhlíku, vodíku a kyslíku o obecném vzorci $C_nH_{2n}O_n$ v přírodě zastoupené v živých organizmech v široké škále molekulových hmotností. Nejznámějším jednoduchým sacharidem je monosacharid glukóza (též dextróza), prodáváný pod názvem hroznový cukr. Obyčejný řepný cukr je disacharid sacharóza, škrob a celulóza jsou nejznámějšími zástupci vysokomolekulárních polysacharidů. Jejich role v metabolismu živých organismů je zřejmá, nás však nyní zajímá jejich použití jako složka raketové TPH.

TPH KNO_3 + sacharóza.

Sacharóza, řepný cukr nebo prostě jen cukr, je disacharid sumárního vzorce $C_{12}H_{22}O_{11}$. Pro jeho použití je výhodná snadná dostupnost a nízká cena. Výsledná TPH má příznivé charakteristiky hoření a slušný výkon, Isp kolem 130s, což je zhruba dvojnásobek, než lze v amatérských podmínkách dosáhnout s TPH na bázi černého prachu.

Nejdříve pár vět o poměru složek. Tato TPH pracuje v širokém rozsahu poměru KNO_3 / sacharóza, zhruba od 50/50 do 80/20%. To je výhodná vlastnost zaručující použitelnost i při nepřesném odvážení složek. Otázkou je, jaký poměr je nejvýhodnější pro amatérské použití. Prvním přiblížením může být stechiometrický poměr, což je takový poměr, kdy kyslík uvolněný rozkladem KNO_3 se právě beze zbytku využije na dokonalé spálení sacharózy na oxid uhličitý a vodu. Tento poměr je 74/26%, TPH tohoto složení je např. uvedena na stránce *Raketová paliva* již zmíněného webu [Project-X vs.Detonator](#) nebo na stránkách [The PFP database](#), kde je rozsáhlá sbírka nejružnějších složí. Energie uvolněná hořením směsi tohoto složení a tudíž i teplota je nejvyšší, dosahuje kolem 2000°C. Je jasné, že nemá smysl použít vyšší procento KNO_3 . Jinak je tomu ale v opačném směru. Jak již bylo uvedeno dříve, specifický impuls TPH stoupá nejen se zvyšující se teplotou, ale i s klesající střední molekulovou hmotností spalín a s klesajícím podílem tuhého či kapalného aerosolu ve spalínách. Budeme-li nyní snižovat podíl KNO_3 , bude sice klesat teplota, ale zároveň bude klesat podíl K_2CO_3 coby kapalného aerosolu ve spalínách. Současně bude klesat i střední molekulová hmotnost spalín, protože bude docházet k nedokonalému spalování. Tím začne klesat procento CO_2 a H_2O a naopak stoupat procento CO a H_2 . V okamžiku, kdy podíl KNO_3 klesne pod 64%, začne se ve spalínách objevovat volný uhlík ve formě tuhého aerosolu. Skutečně jako nejlepší poměr pto TPH je většinou uváděno 65/35%, jejíž teplota hoření je kolem 1400°C. Zvyšování podílu KNO_3 až na stechiometrickou směs je pro amatérské použití naprosto nevhodné, zvýšení výkonu se nedosáhne, zato spaliny ztrácejí redukční vlastnosti a zvyšují teplotu, což klade vyšší materiálové nároky na plášť motoru a zvláště trysku. Opačným směrem je možno snížit podíl KNO_3 až na 60%, čímž se ještě bez citelné ztráty impulsu dosáhne snadnějšího plnění motorů roztavenou směsí, spaliny mají ještě nižší teplotu a silnější redukční charakter, což umožňuje použít méně odolné materiály na pláště a trysky.

Další informace na toto téma, zvláště užitečné grafy, je možno si prohlédnout třeba na stránkách Richarda Nakky <http://members.aol.com/ricnakk/history.html> (Historical look back), <http://members.aol.com/nonillion/sucrose.html> (KN-Sucrose Propellant) a <http://members.aol.com/ricbnakk/succhem.html> (Chemistry and Performance Characteristics).

Pro vlastní přípravu TPH je nutno použít co nejjemněji semletý KNO_3 , třeba dle již uvedeného postupu. Pro vlastní plnění motorů je možno použít dvou metod, a to buď lisování práškové směsi nebo plnění motoru taveninou.

Plnění motoru lisováním práškové směsi.

Pro tento účel je nutno mít dostatečně silný, nejlépe hydraulický lis a další pomůcky. Nejedná se o nic složitějšího a drahého, bude popsáno na samostatné stránce. Směs nelze zvlhčit, stala by se hygroskopickou a nikdy by nevyschla, je nutno lisovat nasucho a použít vysoký tlak řádově alespoň desítky MPa, takže je nutno použít pevného pouzdra, samotný plášť motoru by se zbortil. Použití nižšího tlaku řádově jednotek MPa již nevede k dostatečnému zhutnění, takže směs hoří v motoru rychleji a nestabilně, což vede k explozím. Při pouhém ručním napěchování dojde k explozi vždy. Taktéž použití v motorech s centrálním kanálkem je nejisté, nasucho nejspíš nelze směs slisovat na takovou pevnost, aby nedocházelo k erozi. Sám jsem vyzkoušel pouze několik málo motorků s čelním odhoříváním se střídavými úspěchy. Lisovaná směs hoří rychleji než přetavená, je třeba použít nižší zahrazení cca 50. Nahrazením několika procent sacharózy mletou sírou se kvalita zlepší. Jako sacharózu je možno přímo použít cukr moučku. Před lisováním je nutno směs velmi dobře promísit, aby neobsahovala nehomogenity nebo dokonce hrudky. Na mísení směsi nelze použít mixeru, došlo by k explozi!

Stejným postupem by bylo možno připravit TPH z vysokomolekulárních netavitelných sacharidů, například škrobu. Zatím nevyzkoušeno.

Plnění motoru nebo formy roztavenou směsí.

Tento způsob je známý a dobře vyzkoušený, na webu lze najít různé práce na toto téma. Kdo může číst v angličtině nechť si přečte rozsáhlý a komplexní návod na zmíněných stránkách Richarda Nakky. Zde uvedu alespoň stručné shrnutí.

Základním problémem je, že je potřeba přesně dodržet teplotu tavení směsi a tudíž je potřeba disponovat dobře regulovatelnou olejovou lázní. Směs se připraví důkladným promísením co nejjemněji semletého KNO_3 a jemného cukru. Velmi jemné mletí cukru a mnohahodinové mísení, doporučované na výše zmíněné stránce, je přehnané, protože cukr se během tavení převádí na kapalnou fázi a sedimentací vznikají větší makroskopické nehomogenity než od ne naprosto dokonalého předchozího promísení. Navíc kolísání poměru složek v makroskopických nehomogenitách i o jednotky procent nemá u tohoto typu TPH zásadní vliv na impuls, důležitá je hlavně jemnost KNO_3 . Pak se směs po malých dávkách přidává do nádoby ponořené do olejové lázně vyhřáté na teplotu 190°C a za míchání se postupně taví. Teplotu nelze předem určit naprosto přesně, je lépe začít na 180°C a pokud směs netaje nebo příliš pomalu, přidat. Při příliš vysoké teplotě směs rychle žloutne až hnědne vlivem karamelizace cukru. To je základní problém této přípravy, cukr se začíná rozkládat (karamelizovat) již při teplotě jeho tání, takže se musí pracovat s teplotou těsně nad tímto bodem a ještě ke všemu rychle. Snadněji se pracuje při poměru složek 60/40. Jinou možností je snížit teplotu tavení směsi nahrazením části sacharózy glukózou, fruktózou nebo sorbitolem. Roztavená směs se přenese do přehřáté formy nebo přímo do motoru, což je u malých objemů znesnadněno jejím rychlým tuhnutím. Je třeba se vyvarovat styku roztavené směsi s pokožkou, přilepí se a silně popálí. Pro motory s centrálním kanálkem lze tento vytvořit zasunutím vyleštěné, přehřáté a tence naolejované kovové tyčky do roztavené směsi ve formě či motoru. Pokud je použita byť tence naolejovaná forma, je třeba počítat s nutností ztuhlé jádro z ní vylišovat nebo musí být vyložena třeba papírem nebo alobalem, se kterým se pak jádro vytáhne. Vyjmutí z formy a/nebo vykroucení tyčky z jádra provést ihned jakmile směs ztuhne a teplota se přiblíží pokojové, samotné jádro pokud možno nebrat do holé ruky, okamžitě na povrchu vlhne. Jádra i naplněné motory je nutno uložit do vzduchotěsně uzavřené nádoby nebo alespoň do těsného plastového sáčku a manipulovat s nimi na otevřeném vzduchu jen nezbytně nutnou dobu v suchém prostředí, protože TPH je hygroskopická, nejdříve vlhne na povrchu a po několika dnech na vzduchu se rozbředává a znehodnotí se. Pak už lze použít tak leda jako náplň do dýmovničky. Při použití této TPH je nutno motor vybalit až těsně před použitím a při použití zápalničky u motoru s

čelním odhoříváním prostrčit tryskou ostrý vrtáček a ručně trochu navrtat.

Bezpečnost a důsledky přehřátí směsi : Každého asi nyní napadne, že tavení raketové TPH při dosti vysoké teplotě je záležitost poněkud riskantní a tak pár slov, co se děje při přehřátí. Při zvýšení teploty na 200°C začne cukr rychle karamelizovat, směs hnědne stále tmavším odstínem.

Dekompozice sacharózy je reakce endotermní, takže teplota směsi dále nestoupá. Zvýšením příkonu tepla směs černá, začne se škvařit, kouří a uhelnatí. Dalším zvýšením teploty na cca 300°C se sacharóza zcela rozloží, jako tuhý zbytek zůstane amorfni uhlík. Při teplotě 339°C se KNO₃ taví a dalším zvyšováním teploty se rozkládá, přičemž uvolňuje oxidy dusíku a kyslík, tyto plyny začnou exotermicky reagovat se zbytky po dekompozici sacharózy a směs se prudce vznítí. Je vidět, že mezi teplotou tavení a vznícením je dosti široké pásmo, ve kterém probíhají dostatečně varovné reakce. Pokud nedojde k prudkému místnímu přehřátí, není tavení směsi nebezpečné. Tavit směs v plechovém hrnku na plynovém vařiči snad nikoho nenapadne, i když i to jsem viděl, kupodivu bez následků pro pachatele.

Hotová TPH je odolná vůči tření i nárazu, přežije i obrábění, zapálit lze dotykem s do červena rozžhaveným kovem (odporový drátek palníku) nebo intenzívně hořící zápalnicí. Tyčinka vystavená plameni nejdříve na povrchu taje a teprve se zpožděním se vznítí. Cigaretou lze zapálit pokud se otírá o okleplou špičku, na kterou se fouká. Volně na vzduchu hoří pomalu, asi 1 cm za 2-3s, syčí, plamen je malý, nevýrazný a nešíří se po povrchu. Roztavená směs by ale při zážehu shořela několikanásobně vyšší rychlostí! Spalováním vzniká značné množství bílého dýmu, kterým je hlavně aerosol K₂CO₃ a který není přímo jedovatý. Na povrchu předmětů vystavených spalínám (startovací rampa) vytváří hygroskopický, rychle se roztékající povlak, který má korozivní účinky a díky malému obsahu KOH je i mírně leptavý, lze však snadno opláchnout vodou.

Závěrem bych dodal, že byť tato TPH má některé cenné vlastnosti a je velmi levná, amatérská příprava zvláště většího počtu malých motorků není příliš snadná, i časově náročná a hygroskopičnost je nepříjemná. Naštěstí všechny tyto problémy lze eliminovat použitím sorbitolu místo sacharózy pouze za cenu mírného zvýšení finančních nákladů. Smysl má asi pouze pro pokusy s jednotlivými motory větších rozměrů, pro přípravu alespoň stogramových palivových tablet. Cena vyjde asi 50Kč/kg, sorbitolového 115Kč/kg.

TPH KNO₃ + glukóza.

Glukóza, též dextróza, prodávána pod názvem hroznový cukr, je aldehydický monosacharid sumárního vzorce C₆H₁₂O₆. Oproti sacharóze je cena vyšší, o vlastnostech a přípravě TPH platí naprosto to samé až na jedinou významnou výjimku. Tou je výrazně nižší bod tání a vyšší odolnost vůči tepelné dekompozici. Tyto parametry citelně usnadňují přípravu tavením směsi a umožňují plnit i menší motory.

Pro přípravu malých množství roztavené směsi již není nezbytně potřeba olejová lázeň, která je beztak nejnebezpečnějším prvkem, ale stačí i běžný kuchyňský elektrický sporák s masívní plotýnkou a šestistupňovou regulací. Na stupeň 1 je teplota plotýnky kolem 150°C a to je vyhovující. Dále je potřeba nerezový kastrolek se silnostěnným tepelně dobře vodivým dnem. Kastrolek necháme na vařiči prohřát, teplotu možno zkoušet i kapkou vody - musí prudce vzpěnit a vyvařit se. Pokud má tendenci sbalit se do kuličky, je teplota příliš vysoká. Glukózu ale napřed vyzkoušíme při teplotě slabě nad 100°C : Nasypeme lžičku do nahřátého kastrolku a sledujeme. Pokud taje a nebo se dokonce tvoří bublinky, obsahuje vodu. Pak většinou po chvíli znovu zkrystaluje. Je-li tomu tak, je dobré ji vysušit v tenké vrstvě v předem předeřáté elektrické troubě při teplotě 60-80°C minimálně 1 hodinu. Pozor - trouba po zapnutí udělá tepelný výkyv směrem nahoru, ponechat prázdnou až se stabilizuje. Nejspíš by bylo taky možné glukózu roztavit, chvíli ponechat při teplotě 150°C a po vychladnutí semlít. Suchá glukóza taje při teplotě nad 140°C, při 150°C je to čirá olejovitá kapalina. Suchou glukózu důkladně promísíme se suchým, co nejjemněji semletým KNO₃ a směs po malých dávkách vnášíme do vyhřátého kastrolku, mícháme dřevěnou tyčinkou nebo špachtličkou. Taky by možná šlo všechnu glukózu roztavit, mírně přehřát, rovnoměrně posypat KNO₃, ten roztírat do rovnoměrné vrstvy po povrchu a čekat, až se prohřeje a

nasákne glukózou. Teprve potom důkladně promíchat odedna. Tento postup mám dobře vyzkoušen se sorbitolem, jde to překvapivě snadno a během minuty je směs krásně homogenní, ale s glukózou by měl jít taky. Pravda, pan Nakka na svých excelentních stránkách uvádí jako velmi důležitý krok důkladné mísení suchých složek a používá rotační míchadlo charakteru kulového mlýnu po dobu 20 hodin, ale já jsem jiného názoru vzhledem k očividné kapilární elevaci taveniny do dusičnanu a naprosto bezproblémové rychlé homogenizaci roztavené směsi. Roztavenou směsí plníme formy nebo přímo motory, tuhne pomaleji než při použití sacharózy a taktéž vydrží dlouho roztavená bez viditelné dekompozice, takže je možno na jednu tavbu naplnit více forem či motorů. Nepoužitou roztavenou směs je možno vykydat na vhodnou podložku a ihned po ztuhnutí odloupnout a uskladnit ve vzduchotěsném obalu propříště, lze znovu roztavit a použít.

Bohužel i u této TPH je problém s hygroskopičností, i když má trochu jiný charakter. Povrch jádra vystavený volnému přístupu vlhne a lepí, ale vlhnutí nepostupuje do hloubky tak jako u sacharózy. I po mnoha dnech je na povrchu tenká změkklá vrstvička, ale uvnitř je vzorek stále tvrdý a hoří stejně jako čerstvý. Vzorek umístěný ve vzduchotěsné nádobě také na povrchu lehce navlhne, zdá se, že po ztvrdnutí je zbytková voda vytlačována na povrch jádra. Je možné, že při použití čistých a hlavně dokonale vysušených surovin bude problém s vlhnutím výrazně omezen.

Ještě se zde zmíním o fruktóze, která se občas dá koupit pod názvem ovocný cukr. Jedná se o ketonický monosacharid stejného sumárního vzorce jako glukóza. Její použití na přípravu TPH je naprosto shodné, taje ještě při nižší teplotě, ale je také dražší a hlavně je více navlhavější.

TPH na bázi dusičnanu amonného.

Dusičnan amonný NH_4NO_3 je dalším celkem snadno dostupným a levným oxidačním činidlem, použitelným na přípravu TPH. Lze koupit i jako hnojivo, prodávané pod názvem ledek amonný s vápencem, ze kterého lze získat rozpuštěním ve vodě, přefiltrováním a krystalizací.

Je sice obecně známo, že jeho směsi s malým množstvím organických látek (oleje, nafta, práškové uhlí), práškovými kovy (Al) a případně katalyzátory rozkladu (sloučeniny chromu, kobaltu) se používají i jako trhaviny, známé pod názvy DAP (Dusičnan Amonný + Palivo) nebo ANFO (Ammonium Nitrate Fuel-Oxidizer) a že je hlavní složkou amonnoledkových dynamitů, ale není třeba se obávat, jeho směsi vyžadují k detonaci silný počín, t.zn. průchod silné rázové vlny dostatečně velkým množstvím směsi. Pouhým zapálením malého množství k detonaci dojít nemůže.

Čistý dusičnan amonný je bílá krystalická polymorfní látka, bod tání 169°C , varu kolem 210°C za současného rozkladu. Bohužel je hygroskopická, na vzduchu navlhá. Pro použití v TPH je důležité, že při kolísání teploty mezi $30\text{--}35^\circ\text{C}$ dochází ke změně krystalové struktury a TPH může popraskat. Zahříváním taje a rozkládá se na vodu a azoxid (nesprávně oxid dusný) N_2O , ten se snadno dále rozkládá na dusík a kyslík. Všechny produkty tepelného rozkladu jsou plynné, což je výhodou. Kyslíku při rozkladu se uvolňuje málo, paliva v TPH musí být tudíž také málo, hoření je pomalé a při nízké teplotě. Pro zvýšení stability a rychlosti spalování se přidávají již zmíněné katalyzátory rozkladu, nejlépe dvojchroman amonný. Pro zvýšení teploty hoření jsou nejčastěji použity práškové kovy hořčík nebo i velmi jemný hliník, které pro své hoření dokáží využít i vodu vzniklou rozkladem dusičnanu.

Pro přípravu TPH je nutno dusičnan amonný důkladně vysušit. Při tom se musí postupovat opatrně, použít jen malé množství rozprostřené do tenké vrstvy na čisté nehořlavé podložce (plechu) a zvlhlý dusičnan zahřívát postupně, jinak se roztéká. Teplotu raději nezvyšovat příliš nad 100°C , při přehřátí se roztaví, těká (bílá mlha) a začne se rozkládat. Rozklad většího množství by mohl být nebezpečný. Sušit co nejdéle, hodina je minimum. Čerstvě usušený dusičnan nejmenno semlít, lze opět bez nebezpečí použít mixeru. Musí se okamžitě použít, velmi rychle absorbuje vodu ze vzduchu.

Jako palivová složka v TPH musí být použito nějaké pojivo, které zabezpečí tuhost a pevnost jádra a ochranu před provlhnáním. Používají se různé vytvrditelné syntetické pryskyřice, pro amatérské použití připadají v úvahu epoxidové a polyesterové, používané na lepení a laminování. Pro dobré

mechanické vlastnosti vytvrzeného jádra je potřeba kolem 20% pojiva, což je výrazně více, než kolik může být spáleno uvolněným kyslíkem z dusičnanu. Dekompozice přebytečného polymeru je výrazně endotermní, takže takovéto jednoduché palivo by nehořelo nebo jen velmi váhavě. Řešením jsou již zmíněné další složky s vysokou redukční schopností, zvláště práškový Mg nebo i Al. Při jejich použití je ale nutná tryska z vysoce odolného materiálu.

Nyní uvedu složení několika TPH. Musím ale upozornit, že jsem je převzal z jiných materiálů a s některými zatím nemám praktické zkušenosti, tudíž jejich funkci nemohu potvrdit. Specifický impuls těchto TPH by měl být kolem 160s, s vyššími obsahy práškových kovů přes 200s a blíží se chloristanovým.

Dusičnan amonný	60 %
Práškový hořčík	20 %
Pojivo	20 %
Základní TPH s práškovým hořčíkem. Pojivo v původním americkém návodu bylo specifikováno jako pryskyřice R45.	

Dusičnan amonný	70 %
Práškový hliník	5 %
Polyesterová pryskyřice	18 %
Dvojchroman amonný	5 %
Práškové dřevěné uhlí	2 %
Běžná základní TPH s práškovým hliníkem a katalyzátorem rozkladu dusičnanu amonného. Přídavek práškového uhlíku je pro stabilizaci rovnoměrnosti spalování.	

Dusičnan amonný	70 %
Chloristan amonný	10 %
Polyesterová pryskyřice	18 %
Práškové dřevěné uhlí	2 %
Pomalá TPH bez použití práškového kovu. Malá rychlost hoření, nízká teplota a absence agresivního tuhého podílu ve spalínách naznačuje, že by tato TPH mohla být použitelná pro opakovatelné plnění rozebíratelných motorků pro pohon modelů.	

Dusičnan amonný	65 %
Práškové PVC nebo plastisol	10 %
Práškový hliník	20 %
Dvojchroman amonný	2 %
Práškové dřevěné uhlí	3 %
Kompozice opsaná z polského pyrotechnického fóra. Ověřeno že skutečně spaluje běžný práškový Al. Vyžaduje zvlhčení THF (nebo použití plastisolu) a lisování.	

Výše ocitované kompozice vyjma poslední jsem přesně tak, jak jsou ocitovány, nezkoušel, ale provedl jsem velké množství testů jiných, převážně navržených na základě dostupných surovin, provedených termodynamických výpočtů a zkušeností. Vyzkoušel jsem několik pojiv, katalyzátorů, z kovů hořčík i hliník i kompozice bez kovů. Některé kompozice se ukázaly jako velmi dobré, ale dospěl jsem k závěru, že se pro začátečníky příliš nehodí a jejich důkladný popis by vydal na další rozsáhlé stránky. Uvedu jen stručně a heslovitě pár základních poznatků pro zkušenější zájemce o problematiku těchto TPH.

Kompozice bez práškového kovu : Jak jsem již uvedl, dusičnan amonný (dále AN) uvolňuje termickým rozkladem jen velmi málo snadno využitelného kyslíku, t.j. takového, který může být využit na spalování organických pojiv. Optimální poměry AN/organické pojivo se dle výpočtů pohybují v rozsazích od 93/7% pro běžné uhlovodíky do 89/11% pro pojiva obsahující vysoké procento balastních atomů, jako třeba PVC nebo silikon. Takovéto směsi jsou velmi "suché" a je nutno je slisovat vysokým tlakem, což se mnohdy obchází zvýšením obsahu pojiva na 15-20%. Tím se sice sníží teoretické Isp, ale hořlavost kupodivu nikoliv, což lze vysvětlit katalytickým účinkem uhlíku uvolněným pyrolýzou pojiva. Rychlost hoření je ale velmi nízká, za normálního tlaku se stabilní hoření většinou vůbec neudrží a použití v malých motorech je nereálné.

Prvním předpokladem úspěchu je použití takového pojiva, které se termicky snadno štěpí na reaktivní radikály. Literatura zpravidla doporučuje polyuretany. Úspěšně jsem ověřil použití dvousložkového PU laku. Epoxidy se nehodí, s AN nehoří a navíc běžná, silně zásaditá aminická tužidla z něj vytěsňují amoniak. Obsah PU je zpravidla uváděn 10-15%. Při obsahu pojiva 15% již není třeba vysokého lisovacího tlaku, lze přímo do pláště bez použití pouzdra. Z výpočtů vyplývá, že nad 15% již dramaticky klesá Isp. Použití laku který obsahuje cca 50% těkavého rozpouštědla a použití nízkých lisovacích tlaků vede k mikroporozitě jádra, což u většin TPH způsobí deflagraci, ale této to nijak viditelně nevadí.

Druhou nutností je použití katalyzátorů rozkladu AN. Bez nich TPH hoří velmi pomalu a zhasíná. Literatura jako nejúčinnější uvádí dvojchromany amonný a draselný, já dále vyzkoušel směs oxidu chromitého s oxidem měďnatým v molárním poměru 1:2 a posléze obyčejné jemné dřevěné uhlí. Katalyzátory účinné pro chloristanové kompozice jako je oxid železitý zde nemají význačný vliv. V souladu s materiály jsem dospěl k praktickým zjištěním, že optimální množství katalyzátoru se pohybuje kolem 5%. Za minimum lze považovat 2%, za maximum 10%. Hoření zkušebních tablet je skutečně nejlepší při použití dvojchromanů, ty jsou však jedovaté, karcinogenní a volně neprodejně. Hoření je bezplamenné, tableta se s lehkým sykotem rozkládá, její zážeh je snadný. V motorech byly kompozice s dvojchromany dost citlivé na zahrazení a intenzitu hoření zážehové tablety, i malé odchylky způsobovaly buď ztrátu tahu a pomalé vyhoření nebo naopak roztržení motoru, ostatně i literatura uvádí nepříjemně vysoký exponent hoření. Osobně dávám největší naději práškovému dřevnímu nebo ještě lépe aktivnímu (zatím nevyzkoušeno) uhlí. Zkušební tablety se zapalují obtížněji, ale udrží se v pomalém rovnoměrném spalování a na rozdíl od přechozích dokonce vytvoří pěkný oranžový sekundární plamen. Motory vyžadují vysoké zahrazení, 400 je minimum aby vůbec táhly a nezhasínaly, při 800 už dobře letí, citlivost na zahrazení i na intenzitu hoření zážehové tablety je citelně nižší a uhlí je dostupné takže tato volba bude možná nejlepší. Je vhodné, když v motoru navazuje zážehová tableta přímo na zpoždovací zátku z hořlavého epoxidového tmelu, její hoření nedovolí zhasnutí jádra při snížení tlaku. Je třeba počítat s pomalým rozběhem motoru, velmi dlouhým a nepříliš velkým tahem, žádný plamen, žádná kouřová stopa. Kompozice je vhodná pouze pro větší a dlouhé kanálkové motory, jinak vyjde tryska o příliš malém průměru. Pravděpodobně vhodné zahrazení bude 1000 i více, já se se svými příliš malými testovacími motory nad 800 nedostal, ale i tak jich několik skvěle letělo.

Kompozice s práškovými kovy : Zde je situace poněkud jiná. Kovy s vysokými redukčními schopnostmi jsou schopny hořet ve vodní páře, která vzniká rozkladem AN. Tím jednak výrazně stoupá teplota hoření a současně redukcí vody se ve spalínách objevuje volný vodík, tyto kladné vlivy citelně převáží záporný vliv vzniklých kovových oxidů coby kondenzované složky spalin a Isp dále stoupá. Navíc je hoření rychlejší a spolehlivější. Bohužel možný výběr těchto aditiv je velmi úzký a má své dost podstatné nevýhody.

Hořčík je nejčastěji používanou složkou. Literatura uvádí jeho vhodný hmotnostní obsah v kompozici v rozsahu 10-25%, nejčastěji 20%, což je i obsah poskytující dle výpočtů nejvyšší Isp. Zkušební tablety i motory se snadno zažehují a rychle rozbíhají. Důvodem je okamžitá reakce práškového Mg s vodní párou už za nízkých teplot. Čím jemnější je Mg, tím spolehlivěji a rychleji TPH pracuje. Jeho jemnost by měla být v řádu desítek mikronů, takže třeba hrubost pilin, což jsou už stovky mikronů, je nepoužitelná.

Zásadním problémem použití Mg je jeho reakce s AN už za studena za přítomnosti stop vlhkosti, kterých se z důvodu vysoké hygroskopicity AN nelze nikdy stoprocentně zbavit. Typickým projevem touto reakcí postiženého jádra je zápach po amoniaku, vlhnutí, vypocování krůpějí až nakonec rozbřednutí. Na rozdíl od směsi dusičnanu/Al není směs dusičnan/Mg zvyšující se pH katalyzována, ale naopak dochází k její inhibici takže její průběh není progresivní, ale i tak je dost rychlá a je třeba se vyvarovat i krátkého uchování směsi bez vhodného pojiva. Pojivo je třeba použít takové, které je hydrofobní, ani trochu navlhavé, což třeba epoxid nesplňuje a s ním připravené jádro se rozkládá během hodin. Zároveň musí být silně vzlinavé, práškovou směs musí spolehlivě a rychle provlhčit. Pokud těmito vlastnostem vyhovuje, oddělí částičky AN od Mg a nedovolí jejich vzájemnou reakci. Polyuretanová pojiva typu licích pryskyřic a možná i výše zmíněného dvousložkového PU laku by měla být v pohodě. CP Technologies používá pryskyřice značené jako RxHT kde x je číslo definující viskozitu, pryskyřice je HTPB (polybutadienový řetězec ukončený OH skupinami), tužidly jsou diisokyanáty. Používají 20% což už je z hlediska Isp příliš moc, asi z důvodů pouze ručního přechování jader bez nutnosti slisování a možná i pro vyšší odolnost proti vlhnutí. Nouzový PU jde připravit z obyčejného ricinového oleje a lepidla Purex v objemovém poměru 2:1, olej je třeba dehydratovat 150C po dobu jedné hodiny ve vrstvě do 1cm, směs po půlhodině houstne, po dvou hodinách rosolovatí a tuhne, za den je z ní krásná houževnatá guma. S AN jsem ji ale nezkoušel, jen s AP. PVC plastisol by taktéž měl být použitelný, ale vytvrzování zvýšenou teplotou je riskantní a bylo by ji nutno důsledně omezit na 100C vodní lázni. Je třeba si uvědomit, že jakmile by došlo k roztavení AN, t.j. zhruba 160C a v případě stop vlhkosti níže, dojde okamžitě k jeho rychlé reakci s Mg a pravděpodobně k zážehu. Jediným pojivem, které jsem do okamžiku psaní tohoto odstavce v praxi úspěšně použil ve více motorech, byl silikon, přesněji polydimetylsiloxan, licí silikonová pryskyřice vyráběná u nás (Kolín) a prodávaná pod názvem Lukopren N1000 včetně tužidla. Tato je nejřidší a neobsahuje žádná plniva. Je možno ji použít v množství 20% kdy je Isp dokonce vyšší než s PU a kompozici lze lehce lisovat a pravděpodobně by stačilo i důkladné ruční napěchování. AN musí být perfektně vysušen, nevytvrzenou kompozici je třeba chránit před vlhkostí. Dlouhodobé skladování jader či motorů taktéž uzavřené nebo alespoň zabalené do potravinářské fólie. Lehký zápach po amoniaku nevadí. Výrazným zvlhnutím nebo namočením se jádro zvolna rozdrobuje a silně páchne po amoniaku. Skladování zkušebních tablet v uzavřené sklenici s občasnou manipulací na vzduchu ověřeno rok, volně položené motory několik dní bez známek degradace. Vhodné zahrazení u zkušebních papírových motorů 250, u větších laminátových použito 300 a zřejmě by to sneslo ještě o dost více. Tah dlouhý, provázený hlubokým hukotem, dolet velký, plamen bílý nepříliš velký a středně svítivý, kouřová stopa velmi slabá šedá. Zvýšení odolnosti proti vlhkosti lze dále dosáhnout chromátováním Mg, a to jeho máčením v koncentrovaném roztoku dvojchromanu draselného za normální teploty po dobu dvou hodin a následném propláchnutí a vysušení, vyzkoušeno. Postup je doporučován i pro pyrotechnické směsi s Mg pro jejich stabilizaci. Silnější a rychlejší prezervace je dosaženo za horka, nezkoušel jsem, povrch Mg má ztmavnout.

Hliník je levnější, dostupnější, korozně odolnější a při teoretickém vyhodnocení kompozic dává vyšší přírůstek Isp než Mg, takže by se na první pohled zdálo, že není co řešit. Problém je právě v té jeho odolnosti vůči korozi, způsobené kompaktní vrstvičkou vysoce odolného oxidu, kterou se částičky povlékají. Dokonce ani roztavený hliník za vysoké teploty nehoří, oxid okamžitě tvoří na

povrchu blánu která brání další oxidaci. Kdo někdy taval hliník, mohl to přímo pozorovat. Rychle začíná hořet až nad teplotou varu, což je za normálního tlaku nad 2500°C. TPH na bázi AN ale hoří tak nízkou teplotou, že se hliník jednoduše nezapálí nebo jen tvoří jiskry.

Prvním možným řešením je použití extrémně jemného (mikronového) Al, což ale není dostupná surovina tak jde jen o zmínku o této možnosti; navíc asi vyžaduje specifické zacházení. Běžný šedý pyrotechnický Al má velikost částic až desítky mikronů a ten přímo použít nelze.

Naštěstí je možné hoření Al podpořit vhodnými aditivy. Připomenu síru, která se používá ve světlicových směsích s hliníkem na zabránění jiskření a zvýšení bodové svítivosti. Dále přítomnost halogenů ve spalínách jeho vznícení usnadňuje. Při studiu US patentů jsem našel použití fluorovaných uhlovodíků pro pokrytí částic Al a následné použití takto upraveného práškového Al v kompozicích. No a jako poslední mě upoutala TPH zveřejněná na polských pyrotechnických stránkách, opsaná výše v tabulce. Z ní lze předpokládat, že elementární Cl a/nebo HCl uvolňované rozkladem PVC porušují ochrannou oxidovou vrstvičku na částicích Al a usnadňují jeho vznícení. Obsah PVC i Al je z hlediska teoretického výkonu téměř optimální, při testech jsem jej neměnil, laboroval jsem s katalyzátory. Místo samotného PVC jsem použil plastisol PVC/DBF 50/50% (původní zdroj to taktéž doporučuje), lisoval zkušební tablety bez zvlhčení THF a tyto vytvrzoval při 100°C cca 15min. Při použití dvojchromanu, zvláště pokud se jeho obsah zvýší na 5%, je zapálení snadné, na zkušební tabletu stačí cigareta či zapalovač. První 1-3 sekundy tabletka pomalu hoří bezplamenně, pak se prudce vznítí svítivým bílým plamenem a shoří překvapivě rychle, skoro jako obdobná z TPH na bázi AP. Tento efekt se pravidelně opakuje, a to i s jinými katalyzátory, ty mají vliv pouze na snadnost prvotního zážehu. Bez katalyzátoru se povrch nataví a škvaří, ale nakonec dojde k hoření Al taktéž. Jiskření je překvapivě malé, takže tato kompozice skutečně Al spaluje dobře. První testovací motorky taktéž pracovaly dobře a teoretický Isp přesahuje 200 už při pracovním tlaku 1.5MPa, takže na testování se bude dále pokračovat. První odhad vhodného zahrazení 400, ale letěl i motorek s 250, takže exponent bude asi nízký a rychlost hoření se s tlakem nebude příliš měnit, což je vhodné.

Další kovy : Jedinou zmínku, kterou jsem v literatuře našel, byl ještě práškový křemík. Ale jen zmínka o úspěšném použití, nic přesnějšího. Výpočet nedává žádné význačné zlepšení Isp, vliv na rychlost a stabilitu hoření zatím neznám.

Jiné dusičnany.

V žádných materiálech jsem se o úspěšných využitích jiných běžných dusičnanů pro malé raketové motorky nedočel, ale vyvinul jsem několik kompozic s překvapivě vysokým teoretickým specifickým impulzem, které pracují dobře a spolehlivě.

Dusičnan sodný NaNO_3 je z dusičnanů nejlevnější a přitom poskytuje teoreticky vyšší výkon, než draselný. Důvod je v nižší atomové hmotnosti sodíku oproti draslíku. Tím pádem je v dusičnanu sodném vyšší hmotnostní obsah kyslíku, ve spalínách je méně kondenzovaného podílu a mají nižší střední molekulovou hmotnost a současně i vyšší teplotu, což, jak jsme si již řekli dříve v teoretickém úvodu, vede k vyšší výtokové rychlosti a tím k vyššímu specifickému impulzu dané TPH. Zdálo by se tedy, že dusičnan sodný je optimálním okysličovadlem pro amatéry. Bohužel tomu ale tak není. Prvním problémem je jeho vyšší navlhavost oproti draselnému, ale ne tak velká jako v případě amonného. To by zas až tolik nevadilo, stačí jej před použitím dobře vysušit zcela shodně, jako je popsáno u draselného, ale kdo zkusil namíchat vzorek třeba s cukrem, sorbitolem, nějakou pryskyřicí ap., zjistil, že směs buď nehoří vůbec nebo velmi špatně. Přitom chemické tabulky uvádějí zhruba stejné body tání i rozkladu jako v případě draselného. Pravděpodobný důvod bude v tom, že dusičnan se nejdříve rozkládá na odolný dusitan, přičemž se uvolňuje natolik málo kyslíku, že běžné palivové složky se jím spalují jen z malé části a uvolněné teplo není dostatečně rasantní pro pokračování reakcí a směs zhasne.

Řešení problému je ale celkem jednoduché, a to v použití dostatečně vysokého procenta práškového hořčíku v kompozici. Jen je třeba dbát na to, že pojivo musí být nenavlhavé, jinak dojde k navlhání jádra a jeho postupnému rozkladu. Jako pojivo jsem nejdříve použil laminační pryskyřici ChS531. Nyní si asi každý, kdo četl mé předcházející stránky, připomene hořlavý epoxidový tmel. Ano,

princip je zcela shodný, po úpravě poměrů se získá spolehlivě pracující TPH výkonově srovnatelná s kompozicemi na bázi podstatně dražšího a nedostupnějšího chloristanu draselného. Nevýhodou je vysoký obsah dražšího a hůře dostupného práškového hořčíku a nutnost směs lisovat, stačí ale celkem nízký tlak, takže lze i do papírových trubek bez nutnosti lisovacího pouzdra. Práce s touto kompozicí již vyžaduje určité zkušenosti a kdo je má, potřebné nalezne na grafu na stránkách o výpočtech TPH a na stránce z letových akcí roku 2003, kde jsou také efektní obrázky i video. Tato TPH v kanálkovém motoru vyvozuje citelně delší tah než sorbitolová a vytváří nádherný [oranžový plamen](#). Vhodné vyzkoušené zahrazení pro papírovou trubku 250, pro pevnější 320.

Lze očekávat, že tato TPH bude dobře pracovat s různými pojivy. Osobně jsem úspěšně vyzkoušel PVC plastisol. Výhodou je pravděpodobně neomezená životnost připravené plastické kompozice a snadné lisování nízkým tlakem. Vytvrzování se provádí zvýšenou teplotou. Výkon je subjektivně shodný, plamen intenzívně svítící, ostatně se v principu jedná i o dobrou oranžovou světlicovou směs. Výkonové maximum je v téměř shodné oblasti poměrů složek jako při použití epoxidu.

Dusičnan strotnatý $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ je sice v materiálech o TPH zmiňován jako možná oxidační složka, ale zpravidla se uvádí, že vyšší atomová hmotnost stroncia a tudíž následná vyšší střední molekulová hmotnost spalin způsobí nižší specifický impuls. Po provedení výpočtů jsem ale zjistil opak. Posléze lze uvážit, že atomová hmotnost stroncia je zhruba dvojnásobná oproti draslíku, ale současně v molekule dusičnanu je molárně dvojnásobek kyslíku oproti draselnému, čímž se nevýhoda stroncia vyrovná a není vyloučeno, že i převyší. Alespoň provedené výpočty to naznačují. Dále z výpočtů plyne, že optimální směs obsahuje jen celkem málo hořčíku a překvapivě hodně pojiva.

Jako první jsem odzkoušel směs obsahující 27% ChS531 a 8% Mg. Stejně jako v případě hořlavých tmelů i v předchozím odstavci zmíněné kompozici přidávám navíc jemný červený oxid železitý, vhodné množství je 1-3%. Na rozdíl od chloristanových směsí nemá žádný drastický vliv a není nutno odměřovat jej přesně, ale hoření se s ním stane rovnoměrnější a spolehlivější a navíc mletí dusičnanů společně s ním jde snadněji. Připravená kompozice má cennou vlastnost a to velmi dobrou tekutost, lze snadno odlévat. Na vytvarování kanálku jsem použil leštěnou nerezovou tyčku, která musí být důkladně naseparována např. opakovaným přetřením voskovým přípravkem jako je třeba pasta na parkety. I tak pak její vytažení vyžaduje pevné upnutí a značnou sílu. TPH je pomalá, ale stabilně hořící, vyžaduje zahrazení kolem 400. Plamen je překvapivě nevýrazný, červený, kouřová stopa slabá šedá. Tah je dlouhý, připomínající spíš sorbitolový čelní motor, ale je vyšší a díky kanálkové koncepci motor nevyžaduje silnou tepelnou izolaci. Dolet motorků s hlavicí je skutečně velký. TPH má vysokou měrnou hmotnost, takže se jí do stejného motoru vejde hmotnostně větší množství a pak již skutečně může konkurovat chloristanovým.

První testy naznačují, že zcela obdobně bude pracovat kompozice obsahující jako pojivo PVC plastisol, která má konzistenci měkké plastelíny a pracuje se s ní mimořádně snadno. Směs s vyšším obsahem hořčíku (20%) a nižším plastisolu (také 20%) se jeví jako velmi dobrá červená světlicová kompozice snadno pěchovatelná do lukoprenových forem a vytvrzovatelná teplem přímo v nich.

TPH na bázi chloristanů.

Chloristany, zvláště chloristan amonný (AP) a případně i chloristan draselný, jsou excelentní oxidační složkou pro přípravu TPH. Bohužel jejich cena je vysoká a není mi známo, že by je bylo možno někde běžně koupit nebo byly obsaženy v nějakém běžně prodávaném prostředku. Jsou poměrně stabilní, rozkládají se až při razantním zahřátí. Jedná se o soli kyseliny chloristé HClO_4 , ze které je lze těž připravit neutralizací zředěných roztoků a následnou krystalizací. Přímá výroba se zakládá na anodické oxidaci při použití anody s vysokým přepětím kyslíku, nejlépe platina.

Sice to sem nepatří, ale alespoň stručně pro informaci. Vychází se z chloridu sodného (obyčejná sůl), jiná sůl není vhodná, použít přímo chlorid amonný je nebezpečné, protože meziprodukt - chlorečnan amonný - je vysoce nestabilní. Roztok chloridu sodného se při teplotě kolem 70°C elektrolyzuje, elektrolyzátor s anodou odolnou chloru nemá oddělen anodový a katodový prostor, naopak je třeba, aby na anodě vznikající chlor přicházel co nejvíce do styku s promíchávaným

roztokem. Na katodě vylučovaný sodík ihned reaguje s vodou, uniká vodík a do roztoku uvolňovaný hydroxid sodný reaguje s chlorem na chlornan sodný. Ten při zvýšené teplotě disproportionuje na chlorid a chlorečnan. Chlorid vstupuje zpět do procesu, koncentrace chlorečnanu stoupá. Po skončení elektrolýzy a odpaření vody se získá surový chlorečnan sodný, znečištěný zbytky chloridu. Tento produkt bylo možné dříve koupit jako prostředek na hubení plevele pod názvem Travex, nyní se již neprodává. Chlorečnan sodný se po přečištění rozpustí ve vodě a pokračuje se v elektrolýze s použitím platinové anody, kde dochází k anodické oxidaci na chloristan. Při použití anody z materiálu o nižším přepětí kyslíku se zde přednostně vylučuje kyslík a k anodické oxidaci nedojde. Výsledný produkt se čistí a případně převádí na jiné chloristany. Spotřeba elektrické energie je značná. Podrobný popis viz třeba na <http://huizen.dds.nl/~wfvisser/indexEN.html>, preparation of chlorates and perchlorates.

Nyní zpět k vlastní TPH. Zvláště chloristan amonný je asi ta nejlepší oxidační složka, kterou lze použít. Jako palivová složka je opět práškový hliník a polymer, který zároveň plní funkci pojiva. Teplota hoření je vysoká, tryska musí být velmi odolná (grafit, keramika z Al_2O_3), i rychlost hoření je vyšší, než u dusičnanu. TPH na tomto základě je použita i v motorech SRB pro starty amerického raketoplánu.

Nyní uvedu složení alespoň dvou TPH, ale musím opět upozornit, že jsem je převzal z jiných materiálů a nemám s nimi praktické zkušenosti, tudíž jejich funkci nemohu potvrdit. Na naposledy odkázané stránce je možno najít další.

Chloristan amonný	55 %
Chloristan draselný	20 %
Epoxidová pryskyřice	17 %
Práškový hliník	8 %
Rychle hořící TPH o Isp 200. (K vytvrzování epoxidů ve směsích obsahujících AP nelze použít silně zásaditá tužidla, jako jsou běžná aminická.)	

Chloristan amonný	75 %
Práškový hliník	10 %
Polyvinylchlorid	15 %
Velmi výkonná směs o Isp 250. Směs se lisuje po zvlhčení THF. Nutno pracovat v dobře větraném prostoru a vyvarovat se styku pokožky s THF. Jádro musí před použitím důkladně vyschnout. Jinou možností je použití PVC plastisolu.	

Chloristan amonný	69.6 %
Práškový hliník	16 %
Oxid železitý (katalyzátor)	0.4 %
Polymer (PBAN)	12.04 %
Tužidlo (epoxy)	1.96 %
TPH použitá v motorech SRB.	

Osobně jsem z dostupných pojmů vyzkoušel několik kompozic, ale z důvodů náročnějších technologií, bezpečnosti, ceny i možnosti zneužití neuvažuji o jejich zveřejnění. Začátečnickům nedoporučuji s těmito TPH dělat pokusy, zkušenější najdou na mých dalších stránkách pár nenápadných podnětů.

Důrazné varování ! Nikdy a za žádných okolností nepoužít chlorečnany místo chloristanů nebo surové, nevyčištěné chloristany. Směsi s chlorečnany nehoří, ale prudce detonují a jsou velmi citlivé, takže k explozi může dojít už při promíchávání. Tak to by byl alespoň stručný úvod o základních TPH.

Plnění raketových motorů sorbitolovou TPH.

Začnu z hlediska vytvoření jádra jednoduššími motory s čelním odhoříváním, neboť vytvoření centrálního kanálku je trochu náročnější a zaslouží si vlastní stránku. Z geometrického hlediska je takovéto palivové jádro prostý váleček, který lze vytvořit jak přímým natlačením plastické TPH do pláště motoru, tak separátně ve formě a do pláště jej zalepit. Než přistoupím k vlastnímu vytvoření jádra, tak několik technických poznámek.

Separace nástrojů a forem, obecně všech povrchů, u kterých je požadováno, aby se k nim plastická TPH nelepila nebo aby po ztuhnutí šla snadno odloupnout, je značný problém. Roztavená hmota je extrémně lepkavá a okamžitě po dotyku s jakýmkoliv předmětem se k němu přilepí. S tím je největší problém při upěchování TPH v motoru nebo formě. Vyzkoušel jsem různé oleje a mazací tuky s mizivým výsledkem. Nakonec se nejvíc osvědčilo povrch naseparovat tenkou vrstvičkou silikonového oleje a poprášit vhodným práškem, který ale nesmí znehodnocovat TPH. Vrstvička, která pak v jádře zůstane, nesmí způsobit zakolísání rychlosti hoření nebo dokonce zhasnutí. Osvědčil se práškový hliník, a to nejlépe druh, který se používá do stříbřenek. Stačí malé množství dát do mističky a pak část nástroje, která přijde do styku s taveninou, v něm poválet. V žádném případě tento hliník nesypat, velmi snadno se rozpráší do vzduchu, což je nepříjemné a nebezpečné. Jako úplně nejlepší se nakonec ukázal prostředek [WD-40](#), malý sprejíček vydrží dlouho, na separaci povrchu stačí rozetřít nepatrné množství.

Pěchovací tyčky je potřeba si připravit pro upěchování směsi do motorů, které mají malý průměr nebo i větších, které jsou plněny TPH viskóznější, než je základní, například SX-81. Vhodný průměr je tak o 1 až 2mm menší než průměr jádra, těsná tyčka se neosvědčila. Při použití základní, řidší TPH a motorů či forem s průměrem větším než zhruba 22mm již nejsou třeba. Vhodným a dostupným materiálem je dřevo, konec tyčky je vhodné zaoblit dokulata, zabrání se tím vytvoření prstencové vzduchové bubliny po přidání další dávky taveniny. Zaoblený konec je třeba vybrousit dohladka a opakovaně nalakovat epoxidovým lakem nebo potřít epoxidovým lepidlem a přebrousit, až je zcela hladký bez pórů a vyvstávajících vláken dřeva. Také je možno použít tyčku kovovou, nejlépe hliníkovou, raději se vyhnout oceli. Konec se ale musí osoustružit dokulata a vyleštit. Opačný konec tyčky ponechat kolmo zaříznutý.

Špachtličky použít jediné dřevěné. Při plnění řídkou směsí je třeba občas širokou špachtličkou směs celkově promísit, zvolna sedimentuje a ode dna houstne. Též se dá použít kuchyňská špachtlička s gumovým koncem, kterou lze směs dobře stírat. Tyto špachtličky lze přímo použít pro nabírání směsi a jejímu nalévání do větších motorů. Pro plnění menších je vhodnější užší, asi tak rozměru příborového nože, konec šikmo seříznout a zploštit. Nástroj tvaru dřevěné lžičky s dlouhou rukojetí by byl optimální. Použití kovových nástrojů, jako třeba toho příborového nože, je nevhodné, odvádějí teplo, pálí, převrhávají se a tření ocelového nástroje o ocelovou nádobu či jeho pádu do směsi je třeba se vyvarovat.

Formy pro vytvoření samostatných válečků z TPH se osvědčily z plastových trubek.

Tvrdé PVC trubky mají často nepřesný vnitřní průměr a ne zcela perfektní vnitřní povrch a ztuhlé jádro by z nich nešlo vylišovat. Pak lze tuto trubku podélně rozříznout třeba pilkou na železo,

odstranit otřepty a těsně napasovat do jiné trubky, která ale musí mít přesný vnitřní průměr a tudíž ji nejspíš bude nutno vyrobit. Přímo lze použít odpadní trubka s vnějším průměrem 32mm a přes ní trubka používaná jako svod vody od splachovačů WC, touto kombinací se vyrobí jádra o průměru 28 mm. Po ztuhnutí jádra nejméně jeden den se trubky ze sebe vysunou, vnitřní se v místě rozříznutí opatrně nožem rozpáčí a jádro se vyloupne.

Nejlepší jsou silnostěnné, poměrně měkké trubky používané nyní na vodovodní potrubí. Mají perfektní vnitřní povrch, ale je problematické zajistit přesně kolmé konce. Houževnatý plast není obrobitelný ani brousitelný. Je třeba co nejpřesněji z hlediska kolmosti odříznout kus trubky. Na soustruhu lze konce zarovnat odpichováním tenké vrstvičky plastu čerstvě nabroušeným ocelovým nožikem na konci zkoseným do ostré špičky. Po naplnění těchto forem je *nutno* ponechat TPH důkladně vytvrdnout nejméně dva dny, raději déle, jinak se jádro při vytlačování pěchuje a nepodaří se ho vyjmout. Vylisování se *musí* provést klidným tlakem pomocí měkké a hladké dřevěné tyčky, použití kladiva vede vždy k popraskání jádra. Rukou to většinou nejde, na soustruhu lze opřít formu o sklíčidlo rozevřené tak, aby šel váleček vytlačit dovnitř, z druhé strany podržet tyčku a vytlačit suportem. Nejjednodušší [šroubový lis](#) je na náčrtku, lze zhotovit svařením z oceli i jako rámeček z prkének, shora díra kudy prochází šroub, zevnitř dobře přitmelená matice. [Hydraulický lis](#) na přípravu vysoce kvalitních jader, což bude popsáno později, stačí na tento účel upravit výměnou horního prkénka za prkénko s dírou pro průchod vylisovávaného jádra.

Dobře vytvrzená TPH se sice od plastu poměrně snadno odseparuje, nicméně i zde je vhodné aplikovat tenkou vrstvičku separačního prostředku, stačí jednu kapku rozetřít prstem po vnitřním povrchu. Na [obrázku](#) je vlevo první typ formy z podélně rozříznuté PVC trubky, převlečené prstýnky z větší, které brání rozevření při plnění. Ostatní jsou z plastových vodovodních trubek. Hotová jádra vypadají [takto](#).

Trochu jiným typem je papírová forma, která už na jádře zůstane a slouží zároveň jako tepelná izolace, chránící plášť motoru před propálením. Pro tento účel je nutno navinout dost přesné trubky třeba z hnědé lepicí pásky na trnu vhodného průměru, aby jejich vnější průměr byl takový, aby šly těsně suvně zasunout do pláště. Při kompletaci se pak válcový povrch jádra i pláště tence potře epoxidem. Nadměrné množství epoxidu způsobí jeho zatečení do trysky !

Vkládaná jádra, t.j. jádra vyrobená samostatně, lze instalovat do pláště dvojím způsobem.

První možností je, že jádra jsou vyrobena s takovým průměrem, že jdou do pláště těsně a jsou do něj zalepena epoxidem. Jediným problémem je použití správného množství epoxidu, aby mezi jádrem a pláštěm nezůstaly příliš velké vzduchové bubliny a zároveň epoxid nezalil trysku. Tento způsob není vhodný pro větší motory a pro motory s měkkým či pružným pláštěm. Malé motory se plní přímo, separátní příprava jader je obtížnější a šlo by o zbytečnou komplikaci takže možnost zalepování jader do pláště je zřejmě k ničemu.

Druhou možností je jádro volně vložené, t.j. mezi ním a pláštěm je vzduchová mezera. Při nárůstu tlaku po zážehu motoru do této spáry proniknou spaliny, takže jádro nemůže být holé. Pokud je připraveno naplněním papírové formy, je vše v pořádku. Jinak je nutno jej izolovat, stačí jej nalakovat epoxidem a ovinout dvěma vrstvami obyčejného, třeba novinového papíru za použití epoxidu. Vyzkoušel jsem i alobal, taktéž bez problémů. Výhodou tohoto řešení je podstatně nižší mechanické namáhání křehkého jádra, které je vystaveno rovnoměrnému tlaku i ze stran a nemusí se přizpůsobovat rozměrovým změnám pláště vlivem tlaku a teploty. Vycentrovat v plášti lze třeba pomocí měkkých dřevěných štěpinek, ovinutím toaletním papírem ap. Před instalací zátky je nutno jádro kolem horního okraje utěsnit a upevnit, např. trochou eposinu nebo lépe obepěchováním provázkem a nasycením epoxidem. Pokud je v zátku centrální díra vyplněná zpoždovací složi, je při jejím zalepování nutno zajistit propojení zpoždovací složi s obnaženým koncem jádra kouskem roztavené TPH. Je-li zpoždovací slož obtížněji zapálitelná, je vhodné tento kousek roztavené propojovací TPH obohatit hořčíkovými nebo elektronovými pilinami, popř. jemnými třískami. Tento druhý způsob vypadá poněkud komplikovaně a pracně, ale vyplatí se při přípravě velkých motorů, kde křehkost jádra může jinak způsobit jeho prasknutí či separaci od pláště a taktéž u série motorů, kde pracnost v přepočtu na jednotku klesá. U skutečně velkých motorů je to asi jediná možnost, jak eliminovat problém s vysokým modulem pružnosti vytvrzené sorbitolové TPH.

Plnění forem malých průměrů nebo i větších při použití hustší TPH jako je SX-81 nebo při nižší teplotě lze jednoduchým způsobem. V hrnci se roztaví takové množství směsi, aby vytvořila rovnoměrnou vrstvu o tloušťce nepřesahující vnitřní průměr formy. Po promísení je směs potřeba uhladit do rovnoměrné vrstvy, přičemž je nutno ponechat na okraji kousek dna obnažen. Pak stačí formu natlačit do směsi u okraje, vysunout na obnažený kousek dna a během sunutí zvednout za současného zaklonění. Při svislém a/nebo kolmém zvednutí by část nebo všechna směs, natlačená do formy, vypadla. Postup opakovat tak dlouho, až je forma vyplněna, přičemž každé přitlačení formy do směsi je třeba provést v takovém místě, kde je povrch směsi vyklenut nahoru, tím se zabrání vytvoření bubliny v jádře. Nakonec vyplněnou formu přenést na rovnou plochu pokrytou kousky PE fólie nebo alobalu a nechat ztuhnout. Taveninu, která se nabalí kolem spodního okraje formy, je nejjednodušší odstraňovat nožem. Formy na dlouhá jádra malých průměrů je vhodné předem trochu předeheřt. Pokud je tavenina příliš řídká a z formy vypadává, snížit teplotu. Po ztuhnutí uskladnit naplněné formy před vylišováním jádra na minimálně dva dny, raději déle, až do úplného vytvrzení.

Plnění motorů je možno provádět dvěma způsoby, a to podle viskozity roztavené směsi. V obou případech je již v plášti tryska. Oběma způsoby je samozřejmě možno plnit i formu, postavenou na kousek plastové fólie nebo alobalu.

Plnění motorů řídkou směsí je u malých průměrů dosti obtížné a zdlouhavé, u větších naopak snadné. Tato metoda je též vhodná pro plnění větších forem. Je vhodné motory, zvláště menší, předeheřt, aby se plněná směs udržela chvíli kapalná, dobře přilnula ke stěnám a netvořila dutiny. Motor se postaví na trysku, na špachtličku se nabere trochu směsi, kouskem lišty nebo špejle se přebytek z okrajů setře aby nescapávala. Pak špachtličku přenést nad motor, zvolna naklánět a taveninu špejlí po kouskách sesunovat tak, aby v malých kouscích skapávala do motoru. Najednou takto přenést zhruba takové množství, které svojí výškou sloupce v motoru zhruba odpovídá jeho průměru. Poté opatrně vsunout do motoru špejli a tupováním povrchu taveniny dosáhnout jejího rozlití a přilnutí k plášti. Taktéž je možno motorem poklepat. Základ úspěchu je vpravovat taveninu do motoru tak, aby se nepřichytila k horní části pláště. Pokud se tak stane, nesnažit se jí rychle odstranit, rozmatlá se. Počkat chvilku, až trochu zchladne a zavadne, a opatrně odloupnout od pláště špičkou nože. U nejmenších motorů, tak do průměru 18mm, je reálné vnášet směs do pláště pouze špejlí, obalit konec, vsunout opatrně do pláště a tupováním povrchu směsi v motoru se část směsi, nabalené na liště, přenesse k předchozí. Nejmenší motory, které jsem takto naplnil, měly průměr jádra pouhých 10mm. Naopak při průměru zhruba od 25mm je tento způsob plnění snadný a lze doporučit i pro plnění větších forem při použití řídké taveniny.

Plnění motorů hustou směsí, jako je třeba SX-81, která má konzistenci měkké plastelíny, je možné předchozím způsobem jen u vysloveně velkých motorů. Pro běžné průměry je vhodný podstatně jiný postup. Nejdříve je třeba si připravit pěchovací tyčku dle výše uvedeného odstavce a separační prostředek. Směs po roztavení a promísení nechat trochu zchladnout, tak na 80-90°C, aby její konzistence byla asi jako ta plastelína a bylo možno se jí krátce dotknout, aniž se přilepí na kůži. Pak je postup následující : Špachtličkou udloubnout kousek zhruba takový, ze kterého lze vytvarovat kuličku o průměru jako bude mít jádro. Rychlými pohyby prstů stáhnout tento kousek do dlaně, mezi dlaněmi rychle uválet kuličku a rychle vhodit do motoru. To se dá stihnout tak za 3 sekundy, ani na okamžik se nesmí zastavit vzájemný pohyb rukou oproti kuličce, jinak se přilepí na pokožku a trochu popálí. Chce to cvik, pro začátek vyzkoušet při nižší teplotě, ale při příliš nízké ztrácí směs plasticitu a kulička se může rozpadnout. Kdo umí přehazovat pověstnou horkou bramboru, ví, jak na to... Poté je nutno kuličku směsi v motoru přetvarovat zaobleným naseparovaným koncem tyčky. Opět platí, že je nutno minimalizovat dobu styku tentokrát tyčky se směsí, jinak se přilepí a část se vytrhne. Toho lze dosáhnout tak, že přitlačení tyčky je mžikové, v podstatě se jedná o udusání, ale stačí jediný rychlý silnější přitlak. Hrozný výraz "dusnutí" to vystihuje nejlépe. To provést za současného rychlého pootočení tyčkou. Opakování přitlaku nebo delší přitlačení vede k přilepení tyčky ke směsi a následnému vytržení. Celý postup pak s dalšími kuličkami opakovat až do naplnění motoru. Pokaždé tyčku znovu naseparovat práškem.

Jinou možností, jak zabránit nalepování směsi na tyčku, je použití jemných pilin z hořčíku nebo elektronu. Vzhledem k nepatrné spotřebě stačí piliny získané třeba pilováním nebo řezáním nějakého elektronového odlitku. Kuličku směsi po vhození do motoru stačí posypat malou špetičkou těchto pilin, tyčka se pak nelepí. Kvalitu jádra to nezhorší, naopak.

Po úplném naplnění motoru je vhodné směs silně stlačit. To se provede nejlépe tak, že na opačný, kolmo seříznutý konec tyčky se natvaruje kousek alobalu nebo PE fólie (mikrotén) a směs se silně stlačí. Tyčka se pak vytáhne, přičemž fólie zůstane přilepena na jádře. Nesnažit se ji hned odstranit, jde snadno sloupnout až po vytvrzení jádra.

Navrtání jádra je vhodné provést hned po vychladnutí směsi v motoru. Směs je již tuhá, ale není tvrdá, takže se snadno odstraní z trysky. Vrtání se ručně nejsnadněji provede tak, že se vrtáček upne do samotného sklíčidla od vrtačky. Vrtačku nepoužívat, jednak je to zbytečné a při vyšších otáčkách a ocelovém hrdle trysky i riskantní. Taktéž lze navrtání provést zatlačením zahrocené tyčinky, ale takovýto vývrt má jednak tendenci se zatáhnout a je stejně vhodné jej převrtat, aby jeho povrch byl drsný, což usnadňuje zážeh. Pokud se na včasné navrtání zapomene, tak dodatečné po úplném vytvrzení směsi je dost obtížné. V každém případě je nutno použít ostrý, nejlépe zcela nový a na jiné účely nepoužívaný vrtáček.

Navrtání jádra se provádí ze dvou důvodů. Jednak se jím velmi usnadní zážeh motoru, ať už zápalničkou nebo elektricky odporovým drátkem nebo palničkem. Dále rozhořívání jádra z větší plochy, t.j. s větším zahrazením, způsobí vyšší počáteční tah, což je pro rychlý start a tudíž i stabilitu letu rakety důležité. Hloubka navrtání se osvědčila zhruba jedna čtvrtina průměru jádra. Pokud je pevnostní rezerva motoru vysoká, možno až polovina průměru, start je pak rasantní. Při navrtání do hloubky jednoho průměru se již běžný motor zničí, dojde k vytržení trysky, vystřelení zátky i s jádrem nebo protřetí pláště.

Pokud se při plnění motoru vytlačí trochu TPH tryskou ven ve tvaru housenky, je možné ji ponechat a využít k zážehu. Nutno ji zkrátit, jinak se po vytvrzení snadno vylomí. Lze přímo zapálit, byť dost obtížně, kouskem doutnáku nebo cigaretou. Možno usnadnit přichyceným kousku černé stopiny. Prohořívání skrz trysku je pomalé, trvá několik sekund, takže je čas odstoupit. Takto zažehnutý motor se ale rozbíhá pomalu, bez počátečního zvýšeného tahu jako při navrtání. I nepatrné zvlhnutí způsobí, že směs v trysce zhasne a je nutno převrtat. Použitelné od průměru trysky 3mm, t.j. od průměru jádra 25mm, v menší trysce TPH zhasíná.

Tvarování návrtu během plnění je asi optimální způsob, jak snadno připravovat navrtání definované délky. Principem je [přípravek](#), jehož principem je destička s kolmo orientovaným trnem vhodné délky a průměru takovém, aby právě prošel tryskou. V nejjednodušším případě i silnější prkénko s kolmo zatlučeným hřebíkem, uštipnutým na vhodnou délku a obroušeným. Motor se na takovýto přípravek nasadí tryskou, napěchuje se TPH a ponechá chvíli zchladnout; pak lze přípravek z motoru vykrotit a vytáhnout. Je proto vhodné mít je minimálně dva, pokud se plní větší série. Ponechání motoru na přípravku dlouhou dobu nevede, jen vykroucení je obtížnější.

Poslední operací po naplnění motoru je instalace zátky, která již byla popsána na samostatné stránce.

Zážeh raketových motorů pomocí zápalnice.

Použití zápalnice je základní a nejjednodušší způsob zážehu malého raketového motoru na TPH. Kdysi dávno, už je to desítky let, se vhodná zápalnička prodávala i v modelářských prodejnách. Používala se na zážeh nízkotlakých raketových motorků řady S pro pohon malých, volně létajících modelů letadel, nebo jako náhradní řešení pro zážeh vysokotlakých motorů Adast pro pohon modelů raket, ke kterým se jinak přikládal odporový palničkový. Dnes je modelářských prodejen spousta a s obrovským výběrem všeho možného z celosvětové produkce, ale s materiálem pro rakety je to bída. Naštěstí se zase objevily prodejny se zábavnou pyrotechnikou, kde se občas dají

vhodné zápalničky koupit. Já je nakupoval v Davli, asi 15km jižně od Prahy podél Vltavy, prodejna se nachází pod mostem přes Vltavu. Prodávají se dva druhy, viz [obrázek](#), jejich cena byla koncem roku 2000 ve zmíněné prodejně 8 Kč za metr a postupem času se nijak významně nemění. (Nákupem většího množství vlastníkem průkazu odpalovače ohňostrojů přímo od distributora se cena několikanásobně snížila.)

- Nazelenalé barvy kruhového průřezu, volně v prodeji o průměru cca 1.8mm, další průměry (přibližně) 1.4mm, 2.4mm a 3mm, celkem odolné proti přelomení. Jedná se o dutou šňůrku, uvnitř vyplněnou pyrotechnickou složí, na povrchu je impregnovaná a zpevněná lakem. Hoří rovnoměrně a poměrně pomalu nepříliš výrazným plaménkem, spolehlivě prohoří i skrz dlouhou díрку. U zábavné pyrotechniky je použita například u římských svíček, kde je vnitřkem protažena v celé délce. Sorbitolovou TPH zažehnou tenčí obtížně, 2.4mm celkem dobře, 3mm zcela spolehlivě..
- Tlustší černá, prodávaná pod názvem stopina. Má nepravidelný průměr 3-3.5mm, někdy spíš pásek šířky cca 4mm. Je složena z několika tenkých bavlněných šňůrek prosycených a vzájemně slepených kašičkou z černého prachu. Nelze ohýbat, snadno se zlomí. Hoří výrazným plamenem, rychle a nerovnoměrně. V úzké dlouhé dírci (trubičce) zpravidla prohoří téměř skokem. Sorbitolovou TPH zažehne spolehlivě.

Motory s čelním odhoříváním jádra mají vzhledem ke svému průměru malý průměr trysky, což je dáno pro ně dost nízkou rychlostí hoření sorbitolové TPH a tudíž nutným dostatečně vysokým zahrazením. U menších motorů, zhruba do průměru jádra 25mm, vychází průměr trysky do 3mm a je nutno použít tenkou zelenou zápalnici. Její průměr umožňuje protažení tryskou 2mm, t.j. nejmenší možný motor tohoto typu je zhruba s průměrem jádra 16mm. Menší motory nedoporučuji připravovat, plnění je obtížné a zážeh ještě tenčí zápalničkou značně nespolehlivý. Nejmenší jsem vyzkoušel s průměrem jádra 10mm a trysky 1.5mm, použil nejtenčí zelenou zápalničku, létaly hezky, ale zážeh byl velmi nespolehlivý.

Celkem dobře se zažehují motory s průměrem jádra kolem 20mm a trysky 2.5mm. Jádro se ručně navrtá vrtáčkem, prostrčeným skrz trysku a upevněným do samotného malého sklíčidla od vrtačky, do hloubky tak 3-6mm. Čím více, tím ostřejší bude start, ale pak musí být konstrukce motoru pevnější. Kousek zelené zápalničky se drží ve svislé poloze a horní konec se nehtem pomalíčku opatrně roztřepí, přičemž je třeba dbát, aby se její duše co nejméně vysypala. Nenaklánět, držet stále ve svislé poloze a pomalu zasunout skrz trysku až na doraz do navrtání. Mělo by to jít mírným tlakem, po zasunutí se roztřepení zahákne a už nelze zlehka vytáhnout. Pokud tam jde zlehka a nedrží, nutno roztřepení zvětšit. Naopak pokud bylo příliš velké, nemusí se podařit zasunout zápalničku až na doraz a zážeh je pak nejistý.

U nejmenších motorů, kde zápalnička tak tak projde skrz trysku, zážeh často selže. Pokud jde alespoň trochu volně, tak se dá konec seříznout novou ostrou žiletkou v ostrém úhlu, hrot velmi opatrně přehnout zpět do tvaru nepatrného háčku a pomalu zasunout, opět tak, aby se nevydrobila duše. Jde-li však zápalnička skrz trysku zcela těsně, nezbyvá než konec pomocí žiletky ořezat asi tak, jako je ořezaná tužka, a to bez vylomení "tuhy" - duše by měla trošičku vyčuhovat. Pak velejemně zasunout až na doraz.

U větších motorů, kde zápalnička prochází tryskou se značnou vůlí, je vhodné jádro navrtat vrtáčkem menšího průměru než tryska, aby se zápalnička nemusela příliš roztřepovat, pak už nedrží. Po spolehlivém zasunutí do navrtání zajistit zápalničku v trysce štěpinkou nejměkčího dřeva, balzové je optimální. Při větším průměru navrtání je zcela nevhodné zápalničku na konci přehnout; sice tam pěkně drží, ale zážeh je nespolehlivý. V tom případě použít dva kousky zápalničky, oba na konci trochu roztřepené, zasunované společně. Optimální je použít zápalničku většího průměru.

U motorů s tryskou o průměru 3 a více mm lze k zážehu použít černou stopinu, která hoří intenzivně a TPH spolehlivě zažehne. Zde je ale problém s její vysokou a nerovnoměrnou rychlostí hoření. Pokud je třeba položena na zemi, ještě se zdá dobrá, ale když visí svisle z motoru na rampě, tak směrem zespoda nahoru hoří překotně, někdy až skokově. To platí i v případě jejího navlečení třeba do bužírky nebo papírové trubičky. Komu se zdá, že 1s od zapálení stopiny do zážehu motoru

je příliš krátký čas na ústup, tak může použít jen malý kousek, aby po natlačení do trysky a navrtání nevyčouhal ven. Pak použít pomalejší zelenou zápalničku, zasunutou ke stopině v trysce. Snadno vznětlivá stopina se od ní spolehlivě vznítí. Případné zajištění opět štěpinkou měkkého balzového dřeva.

Zážeh zelenou zápalničkou se velmi usnadní tím, že se do navrtání vpraví malé množství nějaké snadno zápalné směsi. Daná směs musí hořet vysokou teplotou a přitom uvolňovat malé množství plynů. Zcela nevhodný je běžný černý prach, shoří rychle za uvolnění velkého množství plynů, které z trysky rychle vyfouknou a TPH se od něj nevznítí. Kdo nevěří, nechť nasype špetku na papír a zapálí, prach rychle blafne, aniž se s papírem cokoli stane. Lepší je pomalý prach připravený z jemně mletého dusičnanu draselného, stejného, jako byl použit na přípravu TPH, dále jemně nadrceného dřevěného uhlí a mleté síry, hmotnostní poměr zhruba 7:2:1, není kritický. Malé množství směsi opatrně promísit, zvlhčit kapkou vody a ve vlhkém stavu důkladně utřít. Po uschnutí nadrobit, pak stačí před zápalničku vhodit do navrtání několik málo milimetrových zrněk. Kdo má trochu chloristanu (ne chlorečnanu !!!) draselného, tak jemně utřít (čistý !!!) a opatrně promísit s práškovým hliníkem a mletou sírou ve hmotnostním poměru 2:1:1. Tato směs není tak lehce vznětlivá jako černý prach, ale hoří oslepujícím žářem a přitom nevyvíjí velký objem plynů. Bez síry je už pro tento účel příliš obtížně zapálitelná, zato pak snadněji exploduje. Směsi stačí nasypat do navrtání nepatrné množství, mnohdy stačí roztřepený konec zápalničky v ní "omočit" a zážeh je naprosto spolehlivý.

Při vlastním vypouštění rakety je nevhodné zapalovat zápalničku a zvláště pak černou stopinu zápalkami nebo zapalovačem. V podstatě nikdy není takový klid, aby plamének neposkakoval nebo nezhasínal a další zvyšování nervozity rozhodně není v tuto chvíli nejlepší. Taky se snadno stane, že plamének olízne zápalničku tak, že tato vzplane nečekanou rychlostí. Navíc zapalovač někdy nečekaně blafne, zápalka zase může odstřelit kousek hořící hlavičky. Kuřáci mají výhodu, od cigarety se zápalnička zažehuje spolehlivě. Jinou možností je kousek tlusté bavlněné šňůrky, která po zapálení pomalu doutná. Těmito prostředky se snadno a bez nebezpečí zapaluje i v nepřístupných místech.

Rozběh takto zažehnutých motorů je pomalý, sorbitolová TPH hoří zpočátku zvolna a teprve, když v jádře vyhoří dutina s dostatečnou plochou, motor zabere a raketa startuje. Při krátkém navrtání jádra to trvá zhruba jednu sekundu, s delším se tento čas zkracuje. Dříve známé motory Adast měly taktéž navrtané jádro, navíc jejich TPH byla na bázi vysokým tlakem lisovaného černého prachu. Jejich rychlost hoření je podstatně vyšší, což je pro tento typ motorů výhodnější. Jejich rozběh byl rychlý a tah slušný, ale doba chodu velmi krátká. Obdobný motor se sorbitolovou TPH má tah citelně nižší, zato však po překvapivě dlouhou dobu. Model rakety musí být lehký a stabilní, t.j. raketka musí být dlouhá a štíhlá, pak je stabilní i při nižších rychlostech letu a s dlouhou dobou chodu motoru dosáhne překvapivé výšky. T.j. zpravidla uletí...

Motory s odhoříváním jádra z centrálního kanálku vyžadují při použití sorbitolové TPH specifický způsob zážehu. Je bezpodmínečně nutné provést intenzivní zážeh až na předním konci kanálku. V případě zážehu na zadním konci, t.j. poblíž trysky, odhořívá jádro čelně, plamen se nerozšíří po stěnách kanálku. Tah je nepatrný, raketa se nevznese a motor pomalu vyhoří. Při zážehu zhruba uprostřed běží motor delší dobu nízkým tahem, což může vést k nestabilitě letu, ale hlavně zbytek jádra dlouho dohořívá, většinou až do dopadu rakety na zem, což je nebezpečné. I při správném zážehu na předním konci kanálku, pokud tento není dostatečně intenzivní, bývá někdy rozběh váhavý s nebezpečím zapulsování. Velkým množstvím pokusů jsem dospěl k závěru, že je třeba zajistit, aby zápalnička prohořela kanálkem až dopředu, aniž by zapálila TPH na jeho stěně. Teprve na předním konci musí zažehnout něco, co shoří intenzivním žářem a zde spolehlivě zapálí TPH. Toho je možno docílit například následujícími způsoby :

- Nejjednodušší je použití černé stopiny. Stačí tak 2-3cm dlouhý kousek opatrně přeložit, nejlépe zlomením přes zaoblenou hranu, aby se co nejméně odrolila. Přeložený kousek pak nasadit na konec zápalničky a zajistit omotáním několika závitů nitě a zavázáním. Pokud to

průměr trysky dovoluje, postup zopakovat s druhým kouskem. Pro tento účel je vhodné vybrat takový kousek stopiny, kde má v průřezu spíš tvar pásku. Dále je možné kousek stopiny přiměřené délky zlomit do tvaru písmene Z, zasunout tryskou do vývrtu a opatrně zatlačit až na konec pomocí dřevěné tyčinky.

- Pyrotechnická směs hořící vysokou teplotou zajistí nejlepší zážeh. Nelze ji ovšem jen tak nasypat do vývrtu, po otočení by se vysypala. U motorů s průměrem trysky 10mm a délkou kanálku 100mm jsem vyzkoušel následující řešení s již výše popsanou směsí z chloristanu draselného, hliníku a síry. Na konec zelené zápalnice se přichytí kousek černé stopiny nebo se alespoň přehne, to pro jistotu spolehlivého vznícení směsi. Pak se z tenkého papíru, mikroténu nebo alobalu vytvaruje miniaturní pytlíček, například natvarováním na zaoblenou tyčinku o průměru cca 10mm. Třeba rukojeť vařečky. Mě se nejlépe osvědčil mikrotén, který je tažný a lze dobře vytvarovat natahováním na tyčku nebo i na prst. Do pytlíčku se nasype 1/4 kávové lžičky směsi, zasune se konec zápalnice, pytlíček se pomalu a opatrně, aby se směs nerozprášila, uzavře, omotá nití a zaváže. Nakonec se přebytečný materiál odstříhne. Před zasunutím do motoru se pytlíček na konci zápalnice opatrně prsty zpracuje do podlouhlého tvaru tak, aby prošel tryskou bez násilí a protržení.
- Spolehlivé rozběhnutí motoru lze taktéž zajistit zakončením kanálku tabletou jiné TPH, která je na rozdíl od sorbitolové snadno zapálitelná a rychle hoří intenzivním plamenem. Nejvýhodnější se jeví malá tabletka ze světlicové směsi s centrální dírkou pro zalepení konce stopiny a s nalisovanou prachovou vrstvičkou pro snadný zážeh, moje tablety mají průměr 10mm, dírky 3.5mm, délka kolem 5mm. Vzhledem k tomu, že kanálek by měl mít větší průměr než tryska, je nutno tuto tabletu zabudovat do jádra při jeho vytváření. Současně s ní lze do kanálku předem nainstalovat kus černé stopiny. Bližší již bylo uvedeno na stránce o vytváření centrálního kanálku. Tato úprava se mi nakonec ukázala jako nejspolehlivější, jinou již nepoužívám.

Před zasunutím zápalnice do motoru je třeba tuto nějak izolovat, aby předčasně nezapálila jádro na nesprávném konci. To lze mnoha způsoby, vyzkoušeno je navlečení plastové hadičky, bužírky, papírové trubičky i pouhé zarolování do čtverečku papíru, dokonce i toaletního, a zajištění omotáním nití. Jedinou podmínkou je, aby zápalnička obal nepropálila. Zelená zápalnička toho moc nepropálí, s černou stopinou už je to horší, ale ta zase prohoří rychle.

Zde musím upozornit, že zvláště při prvních pokusech s nevyzkoušenými motory je lépe použít zelenou zápalničku. Černá stopina prohoří skrz izolační trubičku velmi rychle, někdy až skokově, a není dostatek času na ústup.

Poslední operací je zajištění zápalnice, aby při manipulaci nedošlo k jejímu povytažení nebo i vypadnutí. Jednoduchým, spolehlivým a dobře vyzkoušeným způsobem je její obepěchování v trysce kouskem zkrouceného toaletního papíru. Takovéto ucpávky v trysce není třeba se obávat, snadno se při zážehu vyfoukne. Úmyslně jsem vyzkoušel i velmi těsné obepěchování, u několika kusů dokonce v celém kanálku, nejen v trysce, a vždy si s tím motor poradil.

Pokud někdo získá profesionální Bickfordovu zápalnici, co vypadá jako asi 6mm silná bužírka, uvnitř vyplněná bavlněnou šňůrou, v ose černá hořlavá duše, tak i ta je dobře použitelná. Jedinou podmínkou je, aby volně prošla tryskou, takže nelze použít na malé motory. Hoří pomalu, takže je dost času na ústup. Dost obtížně se zapaluje, což lze vyřešit tak, že se konec v délce asi 1cm podélně nařízne ostrým skalpelem nebo žiletkou až na duši, rozevře se, k ní se přiloží kousek hodně šikmo seřízlé zelené zápalničky, sevře se a pevně omotá nití. Vyčuhující konec tenké zápalničky se snadno zapálí cigaretou nebo doutnákem. Vlastní zápalnice po prohoření vytvoří na konci jen maličký plamének, který sorbitolovou TPH nezapálí. Opět lze použít trochu zážehové složky nebo alespoň napěchovat na konec kanálku kousek popřekládané černé stopiny. Zápalnici je třeba v trysce zajistit proti vypadnutí třeba štěpinou měkkého dřeva, napěchováním kousku toaletního papíru, kuličky penového polystyrénu a podobně.

Již jsem zachytil dotazy, jestli by nebylo možné rovnou celý kanálek vyplnit nějakou pyrotechnickou směsí, třeba černým nebo zábleskovým (flash) prachem. To v žádném případě

nikoliv ! Černý prach je pro zážeh sorbitolové TPH zcela nevhodný, shoří rychle za vývinu velkého objemu plynů s nedostatečným tepelným účinkem. V případě většího motoru jej může roztrhnout, u menšího nebo v případě kanálku malého průměru způsobí nadskočení až vypadnutí rakety z rampy, přičemž TPH se buď nevznítí nebo opožděně. Vyzkoušeno, velmi nebezpečné ! U zábleskového prachu, který hoří velmi vysokou teplotou a TPH spolehlivě zapaluje, je třeba použít malé množství, i u velkých motorů tak do 1g. Použít pomalejší verze, jako je třeba ta zde popsaná. Ta je z hlediska manipulace podstatně bezpečnější než prodáváný obyčejný černý prach, ale v případě vznícení většího množství jsou následky mnohonásobně horší. Vyplnit jím celý kanálek by pravděpodobně způsobilo prudkou explozi s rozmetáním motoru. Znamější a snadněji dostupný zábleskový prach s použitím manganistanu draselného místo chloristanu jsem nezkoušel, ale obávám se, že bude příliš rychlý. Tato směs je z hlediska citlivosti i stability podstatně nebezpečnější, ve styku s některými látkami (glycerín) se samovznítí a exploduje. Teoreticky by mohlo být nebezpečné zvlhnutí, zvláště ve styku se sorbitolovou TPH.

Amatérské zhotovení pomalu a spolehlivě hořící zápalnice je problém, který se mi, abych se přiznal také k nějakému neúspěchu, nepodařilo uspokojivě vyřešit. Tak alespoň několik zajímavostí.

Celkem snadno lze vyrobit černou stopinu, ta je však rychlá a lze ji levně koupit. Takže spíš jen pro orientaci. Na její přípravu je třeba tenká bavlněná šňůrka z jemných vláken. Po zapálení a sfouknutí musí pomalu doutnat, aniž zhasne, pak je dobrá. Vyprání a důkladné vymáčení, naposledy v destilované vodě, kvalitu zlepši. Šňůrku je napřed třeba krátce povařit v roztoku dusičnanu draselného, který se připraví jeho rozpuštěním ve zhruba dvojnásobku horké vody. Dusičnan musí být čistý, nejlépe překrystalovaný, voda destilovaná. Různé nečistoty, například minerální látky z tvrdé vody, mají negativní dopad na kvalitu. Usušením ztverdne, pomnutím opět zvláční a vydrolí se příliš velké krystalky dusičnanu. V tomto stavu funguje jako dobrý doutnák, ale v úzké dírce zpravidla zhasne. Stopina se zhotoví ze tří nebo více paralelních kousků tak, že se tyto nasatí kašičkou z černého prachu rozmočeného ve vodě a s přísadkou několika procent dextransu. Konce se prostrčí shora dolů tenkou destičkou, ve které je vyvrtána dírka se zaoblenou vstupní hranou takového průměru, aby šňůrky šly bez velké vůle, ale zlehka protáhnout. Pak se shora v místě vstupu šňůrek do průvlaku nanese kašička a pomalu za mírného zkrucování se protáhne. Mokré stopiny se opatrně zavěsí ve svislé poloze a nechají vyschnout, čímž částečně ztuhnou. Nakonec se vytvrdí krátkým pečením v troubě při teplotě kolem 100°C. Nutno vyzkoušet, při nízké teplotě se vytvrdí málo, při vysoké se taví a vypařuje v nich obsažená síra a mohly by se vznítit. Vyhovující dextrin lze připravit pomalým pražením škrobu, tak půl hodiny až hodinu při teplotě kolem 150°C a pak pomalu přidávat až začne žloutnout. Optimální barva je slámová, hnědá je moc.

Možná, že z celého tohoto postupu je nejzajímavější stadium doutnáku. Na něj je vhodné použít tlustší šňůrku, třeba co se prodává jako knot do olejových lampiček. Příprava je primitivní, pak lze snadno změřit rychlost hoření a použít kousek pro zapálení zápalničky. Pro ten účel se poblíž jednoho konce kousku propíchne napříč dírka, navlékne se na zápalničku a druhý konec se opatrně zapálí také kouskem doutnáku nebo cigaretou, ne plamenem. Předem je třeba dobře ověřit, jestli doutnák hoří rovnoměrně, hlavně jestli občas doutnání nezrychlí. Pokud ano, použít méně koncentrovaný roztok dusičnanu a/nebo hotový doutnák pomnout, aby se vydrolily větší krystalky.

Primitivní náhradu pomalé zápalnice lze vyrobit z vlastní TPH, složením nejlépe někde uprostřed mezi základní a SX-81. Principem je tyčinka TPH v silnostěnné papírové trubičce. Vhodný průměr tyčinky je 3-4mm, tenčí se obtížně připravuje, je příliš křehká a zhasíná, tlustší víc propaluje trubičku a použití se omezuje na větší motory. Pěchování malých kousků plastické TPH do tak malého průměru při požadované délce je nereálné, takže nezbyvá než vyrobit samotné tyčinky a ty pak zasunout do samostatně připravené trubičky nebo přímo na nich trubičku opatrně navinout. Pro tento účel je vhodné separátně připravit samostatnou várku co nejkvalitnější směsi. Dusičnan musí být perfektně vysušený a čerstvě velmi důkladně semletý, sorbitol taktéž vysušený, síra přemletá a nejlépe čerstvě prosátá. Směs je potřeba důkladně promísit třeba hnětením v plastovém pytlíku a ihned přetavit na vodní lázni ([mlékovar](#)), ne napřímo. Roztavenou směs důkladně prohníst dřevěnou špachtličkou a nechat ztvdnout nejméně dva dny. Poté znovu roztavit, čímž je připravena homogenní, perfektně plastická směs. Pak, po snížení teploty na 90-80°C, lze

kousek udloubnout, co nejrychleji (2s) mezi dlaněmi uválet kuličku, položit na hladké, čisté a rovné kuchyňské prkénko a vyválet čistou tlustou korkovou destičkou tyčinku. Přítlak, zvláště na začátku, musí být nepatrný, stačí vlastní váha destičky, válení musí být rychlé, nesmí se zastavit, vše je záležitost několika sekund. Čerstvě vyválená tyčinka, ačkoli je již studená, je stále plastická, nelze ji uchopit, musí se opatrně sesunout z prkénka třeba na připravený rovný a perfektně čistý plech a kouskem pravítka opatrně srovnat. Zpočátku to moc nejde, obnáší to připálené prsty, dlaně a výtvary připomínající rozšláplé žížaly, ale s trochou cviku lze zhotovit 10cm dlouhé tyčinky. Tyto se musí nechat několik hodin v suchu vytvrdnout a pak uskladnit ve vodorovné poloze v jedné vrstvě. Veškerá manipulace se musí provádět ve velmi suchém prostředí, u motorů nepatrné zvlhnutí nevadí, zde ano. Neohmatávat prsty. Papírové trubičky je možno připravit separátně navinutím z pevného, lesklého, silně klíženého a plněného papíru. Takový obtížně uhelnatí, nedoutná a trubička se i po zuhelnatění nerozpadá. Různé obtížné reklamní letáky projednou dobře poslouží. Použití epoxidového lepidla vede k odolnějším trubičkám než vodové lepidlo. Kombinace pórovitého, málo klíženého a neplněného papíru, jako je třeba novinový, s vodovým lepidlem vede k nepoužitelným trubičkám, rychle se propálí a doutnají. Na navíjení se hodí kus rovného drátu, narolovat první závit, zbytek papíru tence potřít lepidlem, dorolovat a zajistit omotáním nití, pak možno stáhnout a rolovat další. Síla stěny trubičky by měla být alespoň 1mm, raději více. Trubičky lze narolovat i přímo na tyčince, jen je nutno použít tenký papír a epoxidové lepidlo. První dva závity narolovat nasucho, aby se epoxid nedostal na tyčinku. Manipulace musí být jemná, tyčinka se snadno zlomí. Na obou koncích trubičky musí zůstat kousek volné tyčinky. Pro jistotu nebo pokud bylo nutno vzhledem k průměru trysky použít tenkostěnnou trubičku lze ji ještě ovinout alobalem.

Použití takovéto pseudozápalnice je obdobné jako normální. Velkou výhodou je pomalé hoření, 10cm hoří asi půl minuty. Nevýhodou je pracnost, křehkost, velká citlivost k vlhkosti a nekvalitě přípravy. Stačí nepatrné navlhnutí, prasknutí, nehomogenita ve směsi a zhasne. K zajištění ve vývrtu je třeba zlehka opatrně obepéčovat nedoutnavým materiálem, třeba tenkým alobalem (z obalu čokolády) nebo i toaletním papírem, který byl předem navlhčen roztokem chloridu amonného (salmiak) a usušen. Konec tyčinky se zapaluje obtížně, jde to otíráním okleplou špičkou cigarety nebo doutnáku. Po zapálení tyčinka pomalu za syčení a kouření prohořívá trubičkou, ta sice částečně uhelnatí, ale neshoří, plamének je nepatrný a má redukční charakter, spaliny brání doutnání. Tímto způsobem jsem kdysi odpálil větší množství motorů a i když trubičky mnohdy nestály za nic, nikdy nedošlo k předčasnému zážehu v nevhodném místě kanálku, jen tyčinky občas zhasínaly hlavně z důvodu zvlhnutí nebo příliš malého průměru. Schopnost tyčinky propálit trubičku je překvapivě malá.

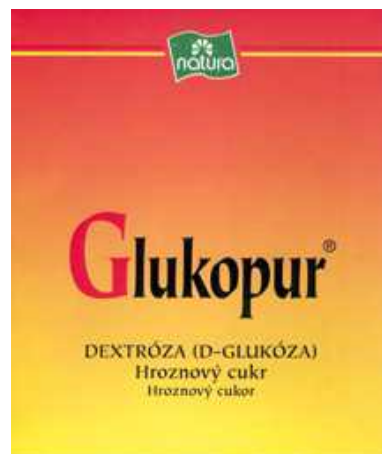
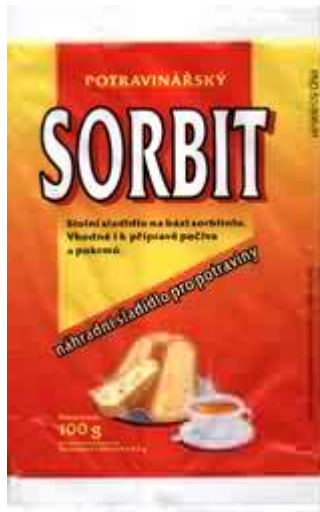
Téma materiál, nástroje,...



To je skoro vše, co stačí pro přípravu sorbitolové TPH. Regulovaný elektrický vařič s masívní ploténkou, nerezový hrnec se silným dnem a/nebo [mlékovar](#) (na odkazu je obrázek novějšího nerezového), dřevěná špachtlička... Ještě chybí mixer nebo kafemlejek na mletí dusičnanu.

Sorbit se prodává běžně v potravinách, v oddělení potravin pro diabetiky. Většinou je v takovémto pytlíčku, 100g, cena 15-20 Kč.

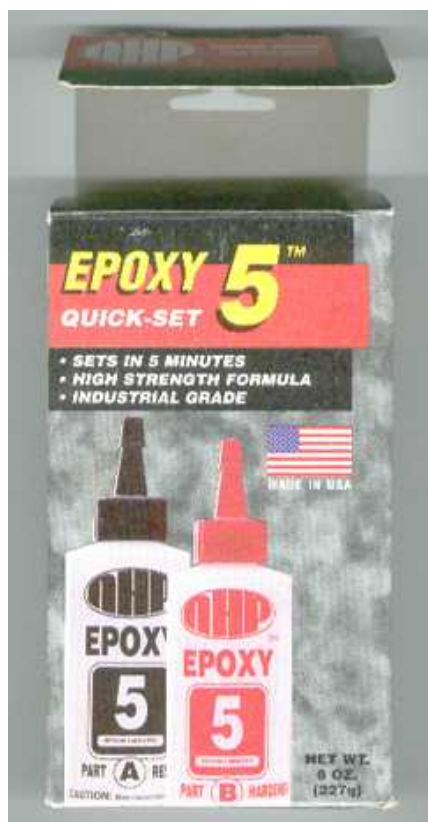
Potravinářská glukóza se prodává ve čtvrtkilové krabici, obrázek vpravo.



Epoxidové lepidlo
Epoxy 1200 a
epoxidový tmel
Eprosin T30, bez nich
nebo obdobných se
nelze obejít. V malé
lahvičce je tužidlo, je
stejně pro lepidlo i
tmel. Tuhne několik
hodin dle teploty.



Pro urychlení práce se velmi hodí rychletuhnoucí epoxid. Často se prodává ve dvojici malých tubiček, pak ale přijde na dané množství neúměrně draho. Mě se osvědčil epoxid NHP, balení je cca 2x110g, prodává se 5, 12 a 30-ti minutové, cena cca 300Kč. To se zdá hodně, ale i mě vydrží nejmíň rok a to s ním nijak nešetřím.



Zvláště pro rychlé lepení lišt na motory je velmi vhodné středně husté kyanoakrylátové lepidlo, na obrázku vpravo je moje oblíbené.

Obě lepidla prodávají modelářské prodejny.



Pro lisování TPH do motorů či forem i pro jiné účely je velmi dobrou pomůckou malý hydraulický lis, postavený na základě automobilového zvedáku, tzv. panenky. Ukázka lisovacích přípravků je vpravo.



Pro zlepšení spolehlivosti motorů stačí lisovat TPH malým tlakem, takže je možno použít i jednoduchý šroubový lis, princip je na nákrese vlevo.

Na vytvarování centrálního kanálku jsou dobré duralové tyče, broušené do táhlého kužele a leštěné. Ale násadou od vařečky to jde taky...



y j při lisování, vpravo při vyt y

Lisovací formy na světlicové tablety ap.

Vždy vlevo je stavlačování tablet.



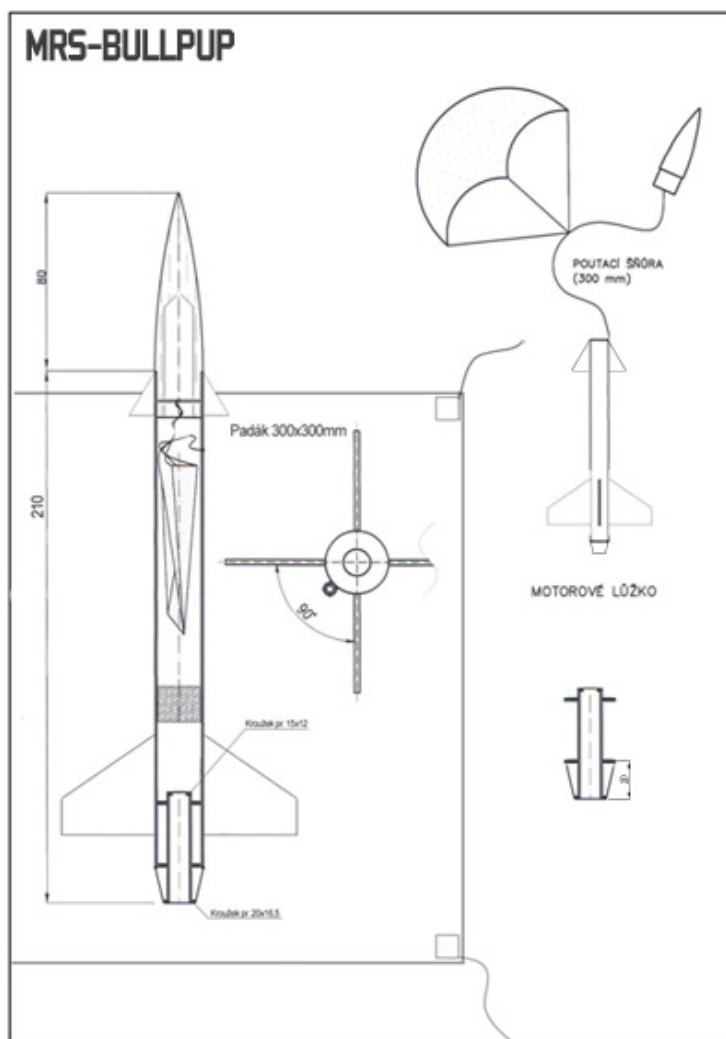
Nejjednodušší forma na klasické tablety, jednodílná a dvoudílná na tablety s centrální dírkou.

Poslední, můj nejosvědčenější typ formy v realu, a ukázka vylisovaných tablet.

Odkazy - rakety a související.

<http://www.nakka-rocketry.net> Richard Nakka's Experimental Rocketry Web Site
Asi to nejlepší, co o tomto tématu znám. <http://www.nakka-rocketry.net/linx.html> A konkrétně zde je spousta dalších odkazů. <http://www.howstuffworks.com/rocket5.htm> How Rocket Engines Work
http://www.info-central.org/research_solids.shtml Solid propellants. Základní úvod.
<http://www.astronautix.com/props/solid.htm>
<http://www.astronautix.com/articles/comlants.htm> Composite solid propellants. Historie, rozsáhlý popis používaných kompozic. <http://home.iae.nl/users/aed/gdp/gdp.htm> Zde je asi nejzajímavější GDP (Grain design program). Animované ukázky dávají dobrou představu o průběhu odhořívání TPH z různě tvarovaného kanálku. <http://science.ksc.nasa.gov/history/rocket-history.txt> Brief history of rocketry. <http://www.rocketryonline.com> Rocketry Online
<http://www.jcrocket.com/otrag.shtml> OTRAG. Large models ! <http://www.near.no> Norwegian experimental amateur rocketry. <http://www.near.no/links.html> A konkrétně zde je rozsáhlá sbírka odkazů s komentáři. <http://www.space-rockets.com/cptech> CP Technologies. <http://jetex.org> Micro rocket motors and jet resources. <http://members.aol.com/SspacePyro> The Page for The Amateur Experimental Rocketry Enthusiast. <http://users.cybercity.dk/~dko7904/linklib.htm> The Amateur Rocketry Link Library <http://members.aol.com/hpboehme/links.htm> A ještě jedna sbírka odkazů.
<http://www.csar.uiuc.edu/~tlj/aluminum.htm> Spalování Al v TPH.
<http://www.stephensonline.ca/rockets/links.html> Rocketry links.
<http://www.allstar.fiu.edu/aero/rocket3.htm> Exhaust Gases' Diamond Pattern.
<http://www.eng.vt.edu/fluids/msc/gallery/gall.htm> Gallery of Fluid Mechanics.
<http://www.tecaeromex.com/ingles/indexi.html> Hydrogen Peroxide Rockets Technology.
<http://ntrs.nasa.gov/> NASA technical report server. <http://www.jcrocket.com/research.shtml> Rocketry Research. <http://www.total.net/~launch/ss67b3.htm> SS67B-3 liquid fuel rocket kit.
<http://holden.customer.netspace.net.au/rocketcam.html> Model rocket video camera.
<http://www.angelfire.com/nv/bpnozzlelessrockets> Nozzle-less rockets.
<http://digilander.libero.it/fme/pvc.html> Plasticized PVC rocket propellant.
<http://members.shaw.ca/gryphon223/PFP> The PFP database - rozsáhlá sbírka TPH a pyrosloží.
<http://home.earthlink.net/~lenyr> Spark, Bang, Buzz and Other Good Stuff.
<http://www.frii.com/~bsimon/backyard.html> Backyard Ballistics <http://roguesci.org/megalomania> Megalomania's Controversial Chem Lab. Konečně také něco v češtině... <http://rapier.cz> Stránky firmy RAPIER Pardubice. http://www.volny.cz/mik-brod/raketove_modely.htm Mik-Brod, Raketové modely. <http://www.raketovemodely-jp.wz.cz> Raketové modely JP.
<http://www.mlchemica.cz> ML Chemica, chemikálie pro laboratorní a průmyslové použití.
<http://www.p-lab.cz/new/p-lab.html> P-lab, potřeby pro laboratoř. <http://www.pyrotechnika.cz> Pyrotechnika, obchod. <http://www.pyroshop.cz/pyrotechnika/pyrotechnika.php> PyroShop.cz - Zábavní pyrotechnika. <http://www.drogeriezlatnicka.cz> Prodejna drogerie v Praze, Zlatnická ul., kde lze koupit chemikálie. http://www.sweb.cz/ophoenix/zlatnicka_chem.htm Zde je novější ceník.
<http://www.volny.cz/chemid> Výroba a prodej chemikálií. <http://www.p-lab.com> Potřeby pro laboratoř. <http://www.verkon.cz> Verkon s.r.o., laboratorní potřeby. <http://www.sweb.cz/hlinik-horcik> Specializovaná internetová prodejna práškového hliníku a hořčíku. <http://www.chemex.cz> Epoxidy, Lukopreny. <http://www.havel-composites.com/index0.php?newlang=cz> Vše pro laminování. <http://www.parizek.cz> Prodejna v Davli - stopiny, zápalnice. <http://pxd.zde.cz> Project-X vs.Detonator, rozsáhlý web o výbušninách. <http://kattarit.vyrobce.cz> Kattarit - výbušniny, pyrotechnika, rakety - TPH, KPH. <http://www.kaboom.zde.cz> Výbušniny, pyrotechnika.
<http://www.pinot.webpark.pl> Polské stránky obdobné mým.

BULLPUP



Model rakety pro mírně-pokročilé modeláře s
papírovým trupem, lipovou hlavicí a balzovými
stabilizátory.

Technické údaje:

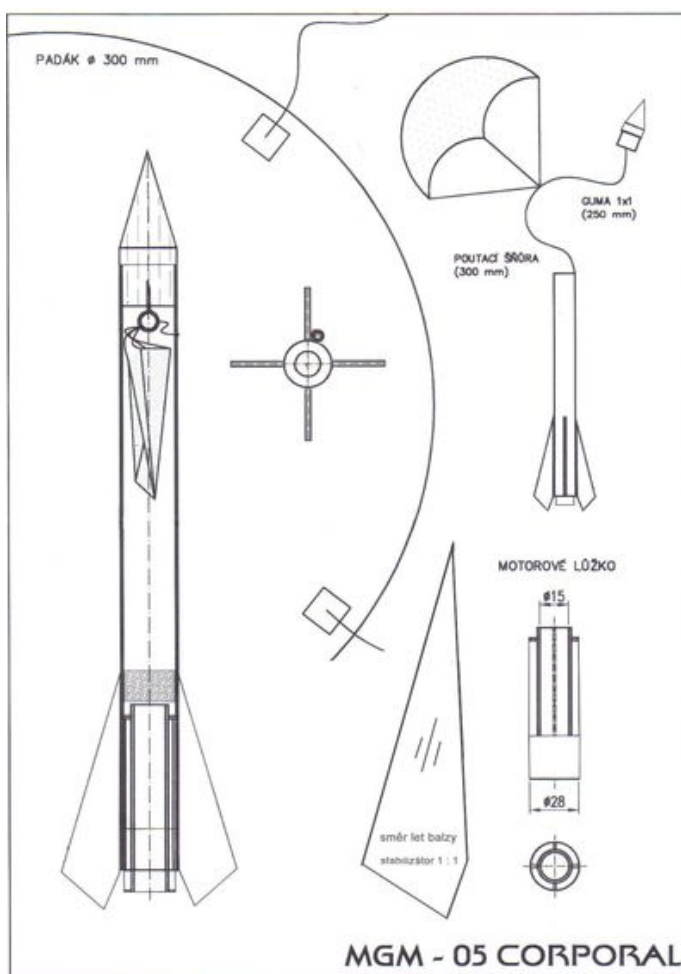
Hmotnost – 40g
Výška modelu – 270mm
Průměr trupu – 28mm
Návratné zařízení – padák Ø 300mm
Typ motoru – B 2-5 , A 4-5

Stavebnice obsahuje:

- plánek a návod ke stavbě
- lipovou hlavicí a balsové stabilizátory
 - papírový trup
- kroužky výstuhy a trubky mot. lože
- poutací a padák. šňůry, vodítka
- polyesterový padák Ø 300mm

Cena: 118Kč

MGM - 5A CORPORAL



Polomaketa americké bojové rakety MGM - 05
CORPORAL pro mírně pokročilé.

Technické údaje:

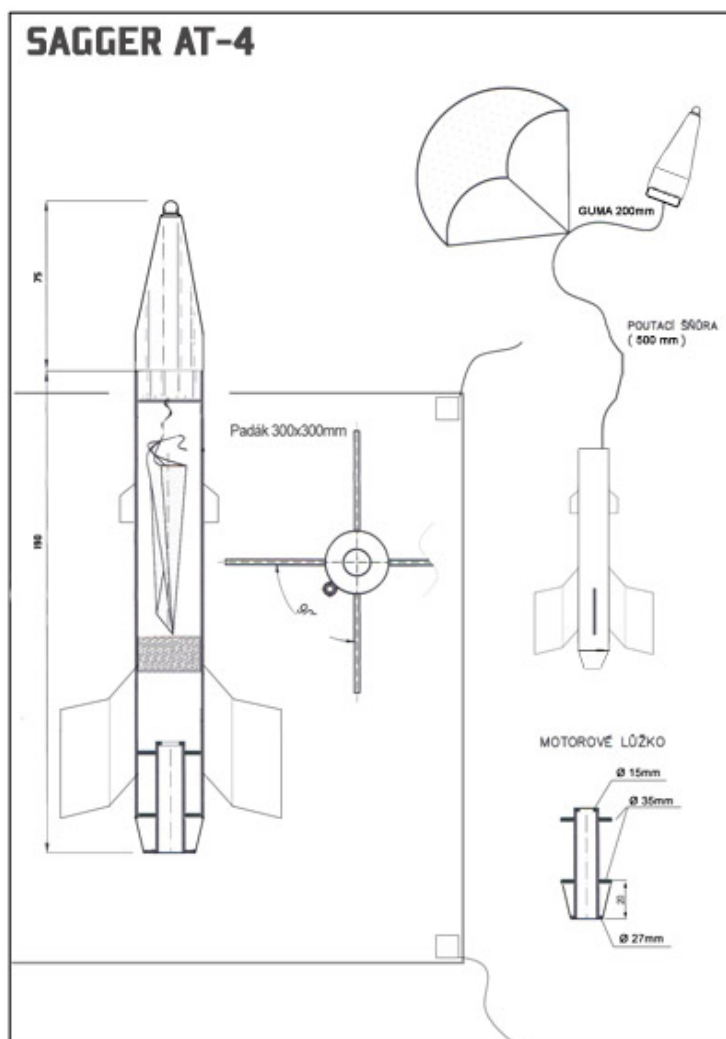
Hmotnost – 52g
Výška modelu – 520mm
Průměr trupu – 28mm
Návratné zařízení – padák Ø 300mm
Typ motoru – B 2-5

Stavebnice obsahuje:

- plánek a návod ke stavbě
- lipovou hlavici a balsové stabilisátory
 - papírový trup
- kroužky výstuhy a trubky mot. Lože
- poutací a padákové šňůry, vodítka
- polyesterový padák Ø 300mm (mikroten)

Cena: 118Kč

SAGGER AT-4



Model rakety pro mírně-pokročilé modeláře s papírovým trupem, lipovou hlavicí a balzovými stabilizátory.

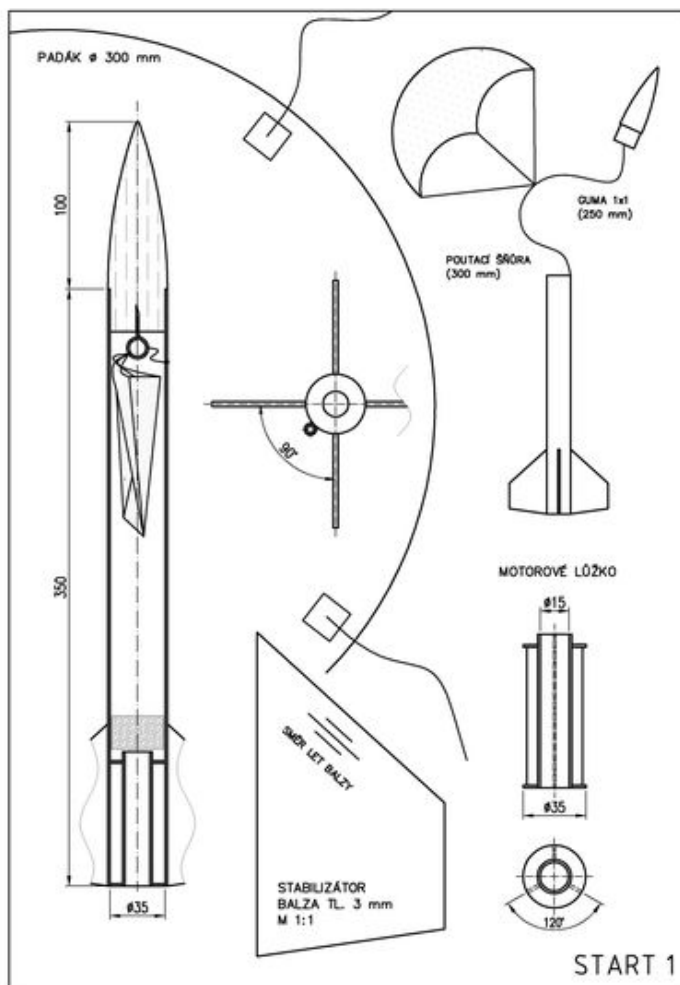
Technické údaje:

Hmotnost – 54g
Výška modelu – 260mm
Průměr trupu – 35mm
Návratné zařízení – Padák 300x300mm
Typ motoru – B 2-5, A 4-5

Stavebnice obsahuje:

- plánek a návod ke stavbě
- lipovou hlavicí a balsové stabilizátory
 - papírový trup
- kroužky výstuhy a trubky mot. Lože
- poutací a padákové šňůry, vodítko
- polyesterový padák Ø 300mm (mikroten)

Cena: 128Kč



Technické údaje:

Výška modelu – 440mm

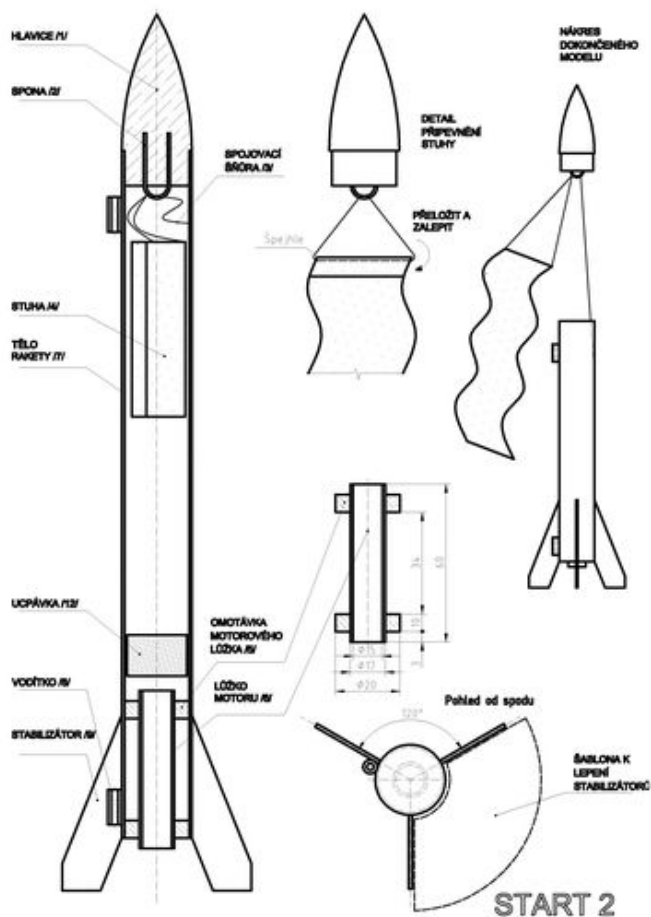
Návratné zařízení - Padák Ø300mm

Typ motoru - B 2-5

- plánec a návod ke stavbě
- lipovou hlavici a balsové stabilisátory
 - papírový trup
- kroužky výstuhy a trubky mot. lože
- poutací a padákové šňůry, vodítka
 - padák Ø 300mm (mikroten)

Cena: 118Kč

A red and black model rocket with a white label that reads "START 2". The rocket is oriented vertically, with the nose pointing upwards. The body is red, and the fins are black. The label is white with black text.



Technické údaje:

Výška modelu – 305mm

Průměr trupu – 20mm

Návratné zařízení – Stuha 70x700mm

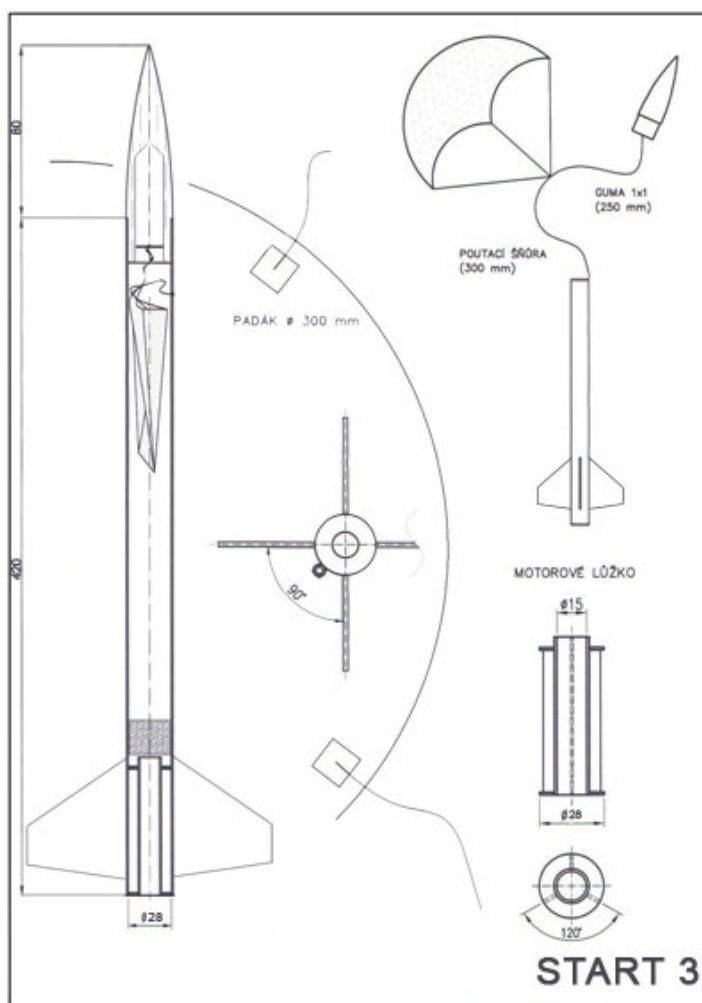
Typ motoru - B 2-5 , A 4-5

Stavebnice obsahuje:

- plánec a návod ke stavbě
 - lipovou hlavici
 - balsové stabilisátory
 - papírový trup
- kroužky výstuhu a trubky mot. lože
 - poutací a padákové šňůry
 - vodítka
 - stuhu – 70 x 700mm

Cena: 102Kč

START 3



Model rakety pro začínající modeláře s trupem vinutým z šesti vrstev pásky, lipovou hlavicí a balzovými stabilizátory.

Technické údaje:

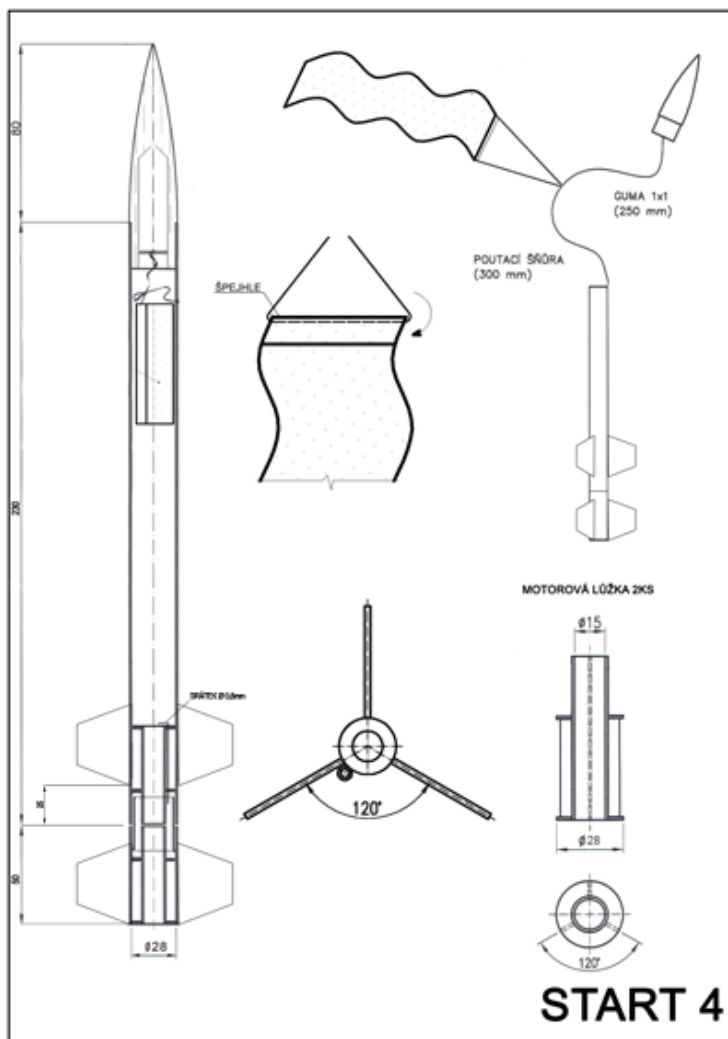
Hmotnost – 52g
Výška modelu – 510mm
Průměr trupu – 28mm
Návratné zařízení – Stuha 70 x 700mm
Typ motoru – B 2-5 , A 4-5

Stavebnice obsahuje:

- plánek a návod ke stavbě
- lipovou hlavicí a balsové stabilisátory
 - papírový trup
- kroužky výstuhy a trubky mot. Lože 2x
 - poutací šňůru a vodítka
 - padák Ø 300 (mikroten)

Cena: 118Kč

START 4



Model rakety pro začínající modeláře s trupem vinutým z šesti vrstev pásky, lipovou hlavicí a balzovými stabilizátory.

Technické údaje:

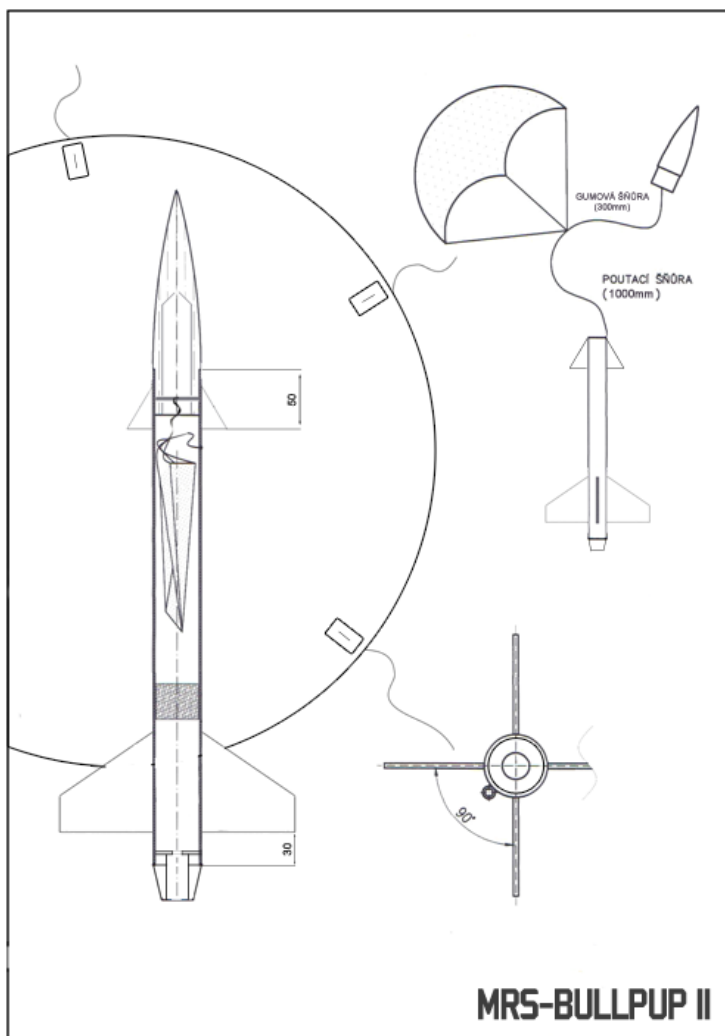
Hmotnost – 52g
 Výška modelu – 510mm
 Průměr trupu – 28mm
 Návrtné zařízení – Stuha 70 x 700mm
 Typ motoru – B 2-5 , A 4-5

Stavebnice obsahuje:

- plánek a návod ke stavbě
- lipovou hlavicí a balsové stabilizátory
 - papírový trup
- kroužky výstuhy a trubky mot. Lože 2x
 - poutací šňůru a vodítka
 - stuhu 70 x 700mm

Cena: 138Kč

BULLPUP II



Model rakety pro pokročilé modeláře s
papírovým trupem, balsovou hlavicí a
balzovými stabilizátory.

Technické údaje:

Hmotnost – 260g
Výška modelu – 580mm
Průměr trupu – 60mm
Návratné zařízení – Padák 600mm
Typ motoru – 40Ns

Stavebnice obsahuje:

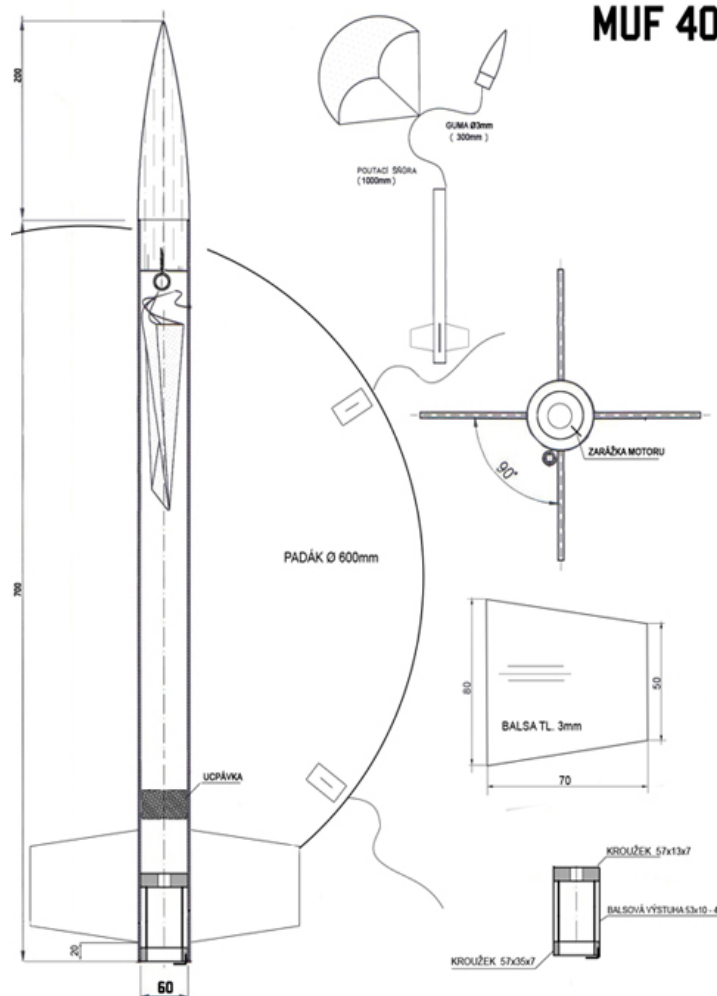
- papírový trup
- balsová hlavičce
- balsové stabilizátory
- balsový motorový modul
- poutací a padákové šňůry
- polyesterový padák Ø 600mm
- 2x motor 40Ns (2x palník)

Cena: 450Kč(+ 2 motory)

MUF 40



MUF 40



Model rakety pro pokročilé modeláře s
papírovým trupem, balsovou hlavicí a
balzovými stabilizátory.

Technické údaje:

Hmotnost – 260g
Výška modelu – 910mm
Průměr trupu – 60mm
Návratné zařízení – Padák 600mm
Typ motoru – 40Ns

Stavebnice obsahuje:

- papírový trup Ø 60mm
 - balsová hlavičce
 - balsové stabilizátory
- kroužky a výstupy motorového lože
 - poutací a padákové šňůry
- polyesterový padák Ø 600mm
 - 2x motor 40Ns (2x palník)

Cena: 430Kč(+ 2 motory)

Jak funguje model vícestupňové rakety I

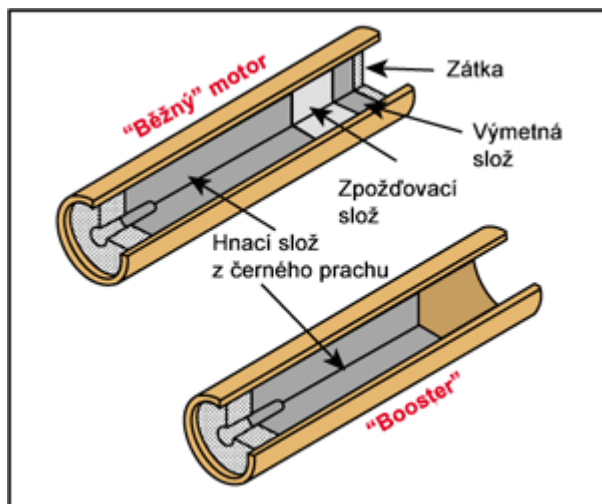
Tomu, kdo se raketovému modelářství věnuje již nějaký čas, se může tento článek zdát jako příliš základní. Myslím ale, že i takový modelář v článku objeví pár nových věcí. Článek se zabývá principy fungování modelu vícestupňové rakety a podává informace důležité pro návrh vlastního modelu vícestupňové rakety. Motivem k napsání tohoto článku byly prosby lidí, kteří mi tvrdili, že na Síti existuje jen málo informací k tomuto tématu. Doufám, že můj článek pomůže těm, kteří by rádi postavili vlastní model dvou (nebo tří) stupňové rakety.

V knize [Model Rocket Design & Construction](#) lze nalézt následující definici: „Raketa, která má dva nebo více motorů uspořádaných těsně za sebou a které jsou postupně zažehovány, se nazývá vícestupňová raketa“. Každá motorová jednotka, stupeň, je po úplném vyhoření oddělena od ostatních částí rakety. Hlavním důvodem, proč raketový modelář dělí raketu do více stupňů, je dosažení velmi vysoké výšky. Postupným redukováním váhy rakety během motorové fáze letu dosáhneme toho, že poslední stupeň rakety je velmi lehký a může proto vystoupat do značné výšky.

Přímé vs. nepřímé zažehování

V podstatě existují dva způsoby postupného zažehování raketových motorů. U jednodušší metody, tzv. přímého zažehování, je motor horního stupně zažehován vlastním motorem stupně spodního. V tomto článku se budeme zabývat právě touto metodou. Druhý způsob se nazývá nepřímé zažehování. Motor horního stupně je zažehován samostatným zažehovacím zařízením, které je nezávislé na motoru spodního stupně. Tento způsob je popsán v bulletinu [Apogee e-zine newsletter 91](#). Nepřímé zažehování se používá u modelů s větším průměrem trupu, protože výběr vhodných motorů pro první stupeň je omezen.

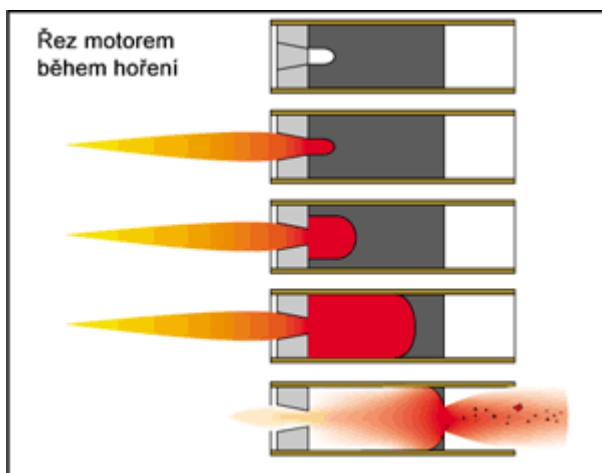
Jak funguje přímé zažehování



Při přímém zažehování motor spodního stupně, tzv. „booster“, přímo zažehuje motor v následujícím stupni. Z praktického hlediska je přímé zažehování jednoduché a levné. Není třeba používat žádné složité elektroniky ani jiná pomocná zařízení, protože o zážeh motoru v následujícím stupni se postará fyzika. Obrázek ukazuje řez typickým „prachovým“ raketovým motorem – hnací slož tvoří černý prach a motor je zakončen zpoždovací slož, která hoří pomalu a dovolí raketě stoupat do výšky předtím, než je zažehnuta výmetná slož. Zpoždovací slož také při svém hoření produkuje mnoho kouře, což usnadňuje sledování rakety ve výšce. Speciální „booster“ motory neobsahují žádnou zpoždovací ani výmetnou slož. Hnací slož odhořívá směrem k hornímu konci motoru a po jejím vyhoření vychrlí horní částí motoru množství tepla a hořících částic prachu (viz obr. 3). Horké plyny a hořící částice vniknou do trysky motoru

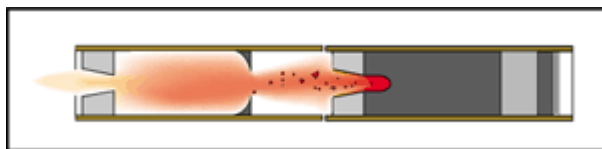
následujícího stupně. Z „boosteru“ vychází takové množství tepla, že dojde k zážehu motoru následujícího stupně (viz obr. 4). Není třeba žádné roznětky, protože spodní motor sám dodá dostatečné množství energie k zážehu.

Jak se liší Booster od běžného motoru



Oba dva motory jsou až na jedinou věc identické – booster nemá zpožďovací slož. Podíváme-li se do horního konce boosteru, uvidíme tmavě černý povrch hnací slože. V porovnání s běžným raketovým motorem se zpožďovací složí neuvidíme vrchní zátka z našedivělé hmoty. Tím, že v boosteru není zpožďovací slož, dojde k zážehu motoru následujícího stupně ihned po vyhoření hnací slože boosteru. Pokud by existovalo časové zpoždění od vyhoření boosteru k zážehu motoru následujícího stupně, raketa by mohla přejít do obloukové dráhy a horní stupeň by nebyl odpálen po vertikále. Takový stav představuje vážné bezpečnostní riziko a měli bychom se mu vyhnout.

Podmínky pro úspěšný zážeh dalšího stupně



Aby vše pracovalo perfektně, musí být splněno několik základních podmínek. Předně, oba dva motory musí mít hnací slož z černého prachu. Proč? Protože hoření prachového motoru probíhá lineárně od trysky až k hornímu konci. To je důležitá skutečnost, zejména pro booster. Vlastní hnací slož sama tvoří zátka, která drží tlak uvnitř motoru. Bez vnitřního tlaku by nebylo dosaženo příslušného tahu. V boosteru slož, která ještě nevyhořela, tvoří zátka. Jak slož během letu odhořívá, zátka se postupně ztenčuje. Když se plamen přibližuje ke konci, zátka je již natolik tenká, že nemůže udržet tlak uvnitř motoru, praskne a horké plyny spolu s hořícími částicemi vyletí horním koncem motoru.

U motorů s kompozitní složí jsou vlastnosti samotné slože nepříznivé. Ta díky své měkkosti a elasticitě nedokáže sama udržet žádný vnitřní tlak. To znamená, že nemůže fungovat jako zátka pro udržení tlaku tak, jako tvrdé zrno prachového motoru. Motory s kompozitní složí musí být vždy opatřeny pevnou zátkou vyrobenou z odlišného materiálu než hnací slož. Jedině tak lze udržet tlak uvnitř motoru. Právě tato zátka znemožňuje motorům s kompozitní složí jejich použití jako boosteru při metodě přímého zažehování.

Jiným problémem je, že kompozitní motory potřebují vysoký vnitřní tlak, aby byly schopny udržet proces hoření. Možná jste viděli případ, kdy se kompozitní motor protrhl v momentě zážehu. Když se toto stane, motor „zhasne“ a zbývající slož nevyhoří. To znamená, že i kdyby samotná slož byla schopna fungovat jako zátka, jakmile by se plamen přiblížil k hornímu konci a zbývající složí prorazil, motor by okamžitě uhasl. Pravděpodobnost, že by byly horké plyny a hořící částice vymeteny z motoru je v takovém případě velmi nízká.

Proč prachový motor v horním stupni?

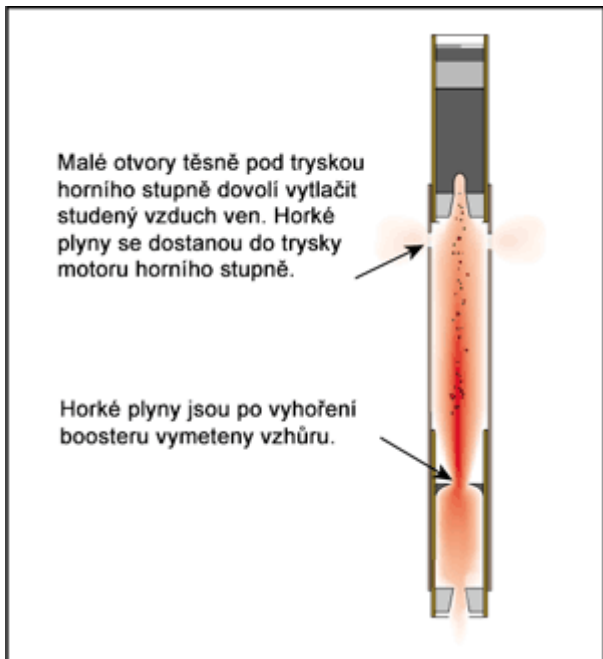


Důvodem, proč se také v horním stupni používá při metodě přímého zažehování prachového motoru je skutečnost, že vznětlivá slož uvnitř motoru horního stupně musí být co nejbližší jeho trysce. Horké plyny a hořící částice emitované boosterem musí přijít do kontaktu s hnací slož motoru následujícího stupně. U prachového motoru se čelo hnací slož nachází přímo u trysky. Naproti tomu u kompozitního motoru má slož kanálek po celé délce motoru – od trysky až po zátku. Toto uspořádání snižuje pravděpodobnost zážehu horkými plyny a hořícími částicemi. Je to stejné, jako když se budeme snažit foukat z určité vzdálenosti vzduch do obyčejného brčka. Při nezaslepeném konci je snadné brčko profouknout. V okamžiku, kdy jeho konec zaslepíme, nemáme šanci do něho vehnat žádný nový vzduch. Proto horké plyny vycházející z boosteru nemají šanci dostat se dále než do poloviny motoru. Prachové motory mají hnací slož velmi blízko hrdla trysky, takže pravděpodobnost vniknutí horkých plynů a hořících částic do motoru následujícího stupně a jejich kontaktu s hnací slož je velmi vysoká.

Další podmínkou, která musí být při metodě přímého zažehování splněna, je krátká vzdálenost mezi oběma motory. Horké plyny vycházející z boosteru musí zůstat horké až do chvíle, kdy vniknou do trysky motoru následujícího stupně. Pokud bude vzdálenost mezi motory příliš velká, horké plyny se mohou ochladit do takové míry, že nebudou schopny zažehnout slož v horním motoru. Čím blíže jsou motory k sobě, tím spolehlivěji dosáhneme zážehu horního stupně.

Pokud jsou motory v přímém kontaktu tak, jak ukazuje obr. 4, bývá běžnou praxí konce motorů spojit omotáním celofánovou páskou. To zabrání mžikovému oddělení (oddálení) motorů a horké plyny mají dostatečný čas na zážeh motoru dalšího stupně. Po úspěšném zážehu se páska jednoduše roztaví a dojde k oddělení stupňů.

Zažehování na vzdálenost



Přímé zažehování funguje dobře i když budou motory od sebe vzdáleny až 25 cm. Jen je třeba ošetřit, aby vzduch hnaný od spodního boosteru mohl uniknout ven do okolí. Pokud bychom tak neučinili, došlo by k oddělení stupňů bez zážehu motoru horního stupně. Horké plyny vycházející z horního konce boosteru před sebou tlačí studený vzduch, který se nachází mezi oběma motory. Pokud studený vzduch nemá kudy uniknout, zabrání vniknutí horkých plynů do trysky motoru horního stupně. Opět zde platí analogie s foukáním vzduchu do zaslepeného brčka (obr. 6). Problém vyřeší ventilační otvor o průměru 6,35 mm, nebo i méně, v případě použití více ventilačních otvorů. Ventilační otvor se umísťuje co nejbližší spodnímu konci horního stupně. To dovolí horkým plynům vytlačit veškerý studený vzduch, který se nachází v trubce spojující stupně.

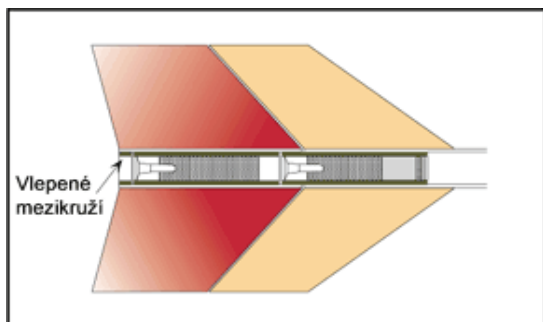
V příštím vydání e-zinu budu hovořit a poněkud důležitějších tématech spojených s vícestupňovými modely. Mezi tato témata patří: bezpečnost, výběr motorů, způsoby spojení stupňů a strategie létání.

Jak funguje model vícestupňové rakety II

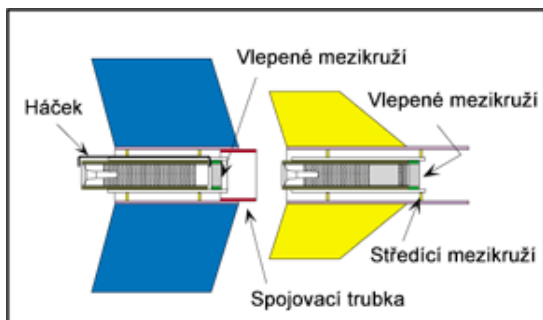
Toto je druhá část článku, který se věnuje stavbě a létání s vícestupňovým modelem rakety. V první části jsme si vysvětlili, jak model vícestupňové rakety funguje. V dnešní části budu mluvit o tom, jak fyzicky uspořádat části rakety, abychom dosáhli úspěšného zážehu motorů v následujících stupních. Také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



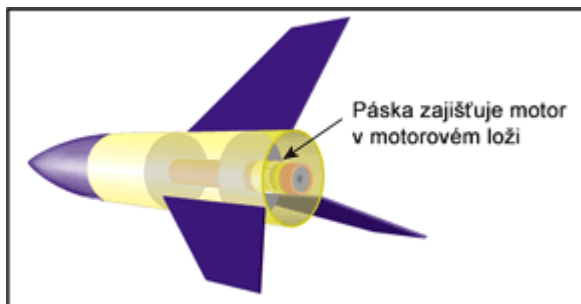
Obr. 2: U rakety s průměrem trupu rovným průměru motoru lze jako spojovacího prvku stupňů použít samotný motor.



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 oddělí (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:

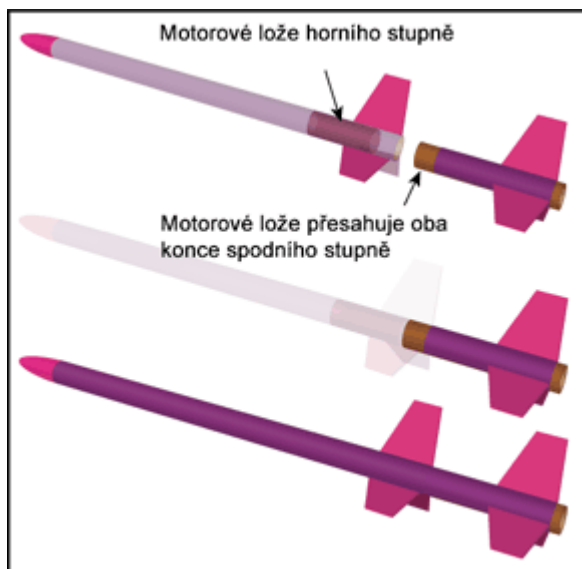
1. Nejprve spojíme motory obou stupňů omotáním páskou, booster se samozřejmě nachází dole. Použijeme pouze jednu vrstvu pásky. Lépe je použít celofánovou pásku než papírovou, protože se taví při nižší teplotě.
2. Potom omotáme booster několika vrstvami běžné pásky. To je třeba, abychom zvětšili tření, které zabrání 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. Zabraňuje 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 neseděly 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 nejvhodnější. 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.

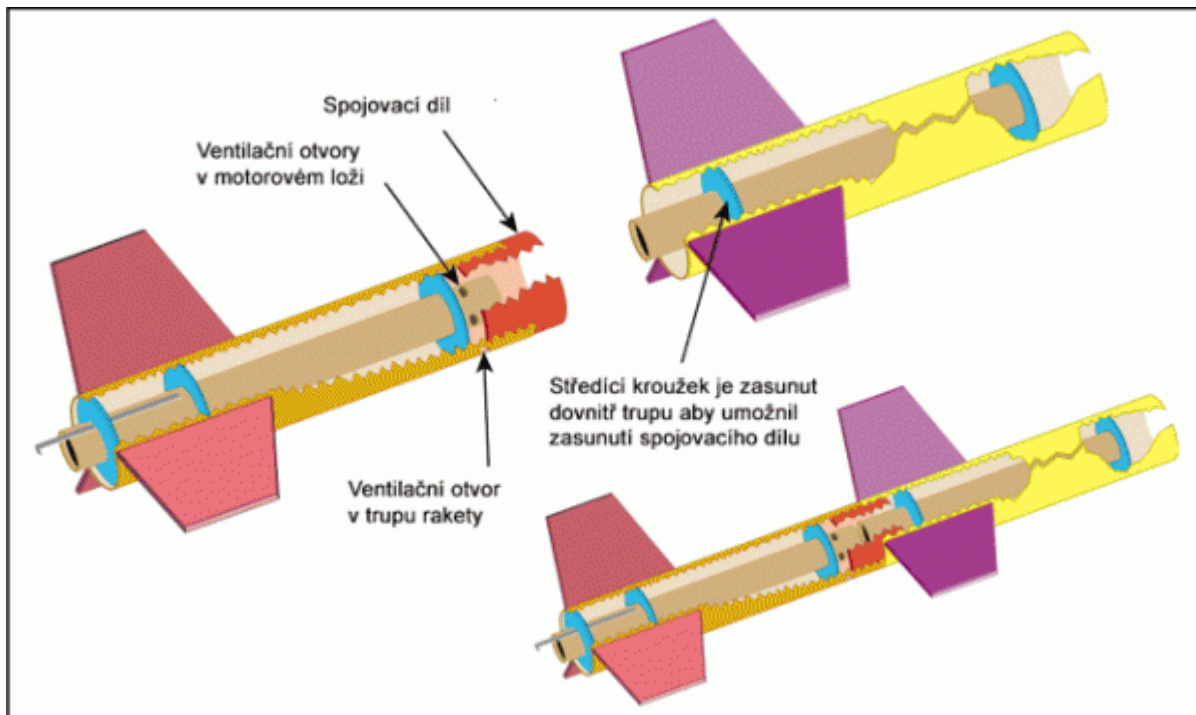
Kvůli tomuto uspořádání spodního stupně musí být motorové ložko horního stupně odpovídajícím způsobem zasunuto dovnitř trupu (zadní konec motoru „visí“ volně v prostoru uvnitř trupu). Jedinou nevýhodou této metody je, že motor horního stupně je v loži uchycen pouze pomocí tření, což však u poměrně málo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

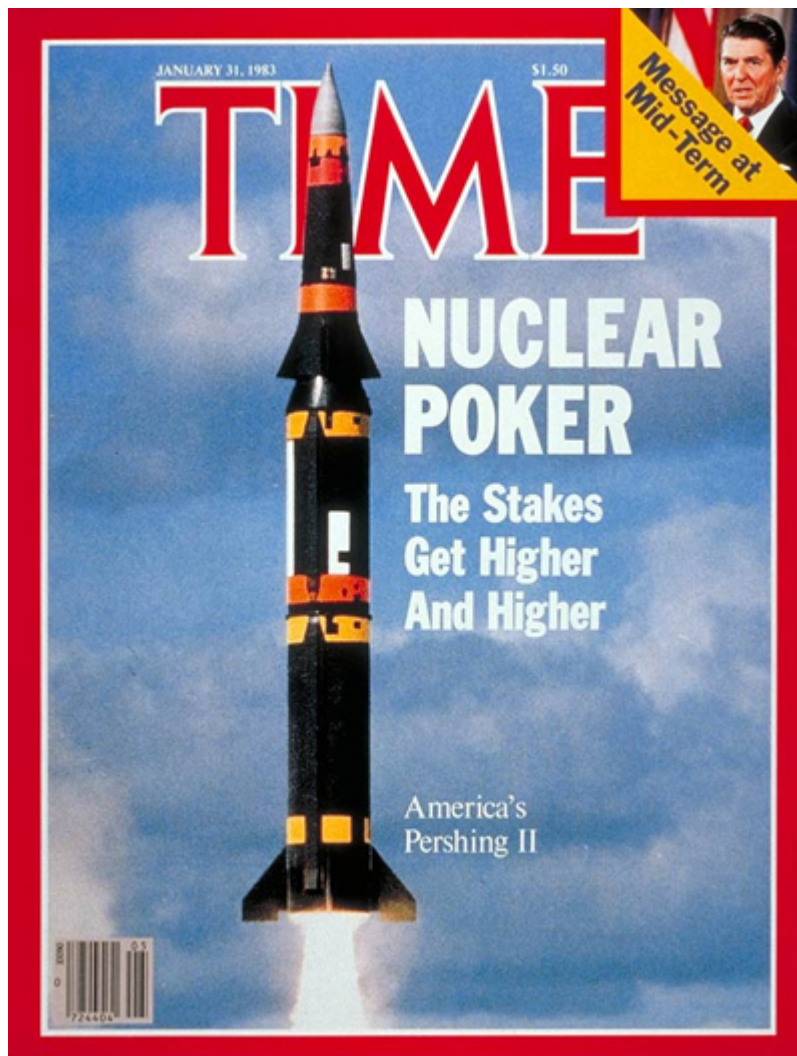
1. Mějte k dispozici větší plochu na létání. Vícestupňové modely poletí mnohem výše a budou tudíž větrem hnány do větší vzdálenosti. Čím větší prostor pro létání, tím větší šance pro nalezení modelu a pro jeho opětovný startu.
2. Zkuste si vzdálenost dopadu modelu nasimulovat v programu RockSim a uvidíte, 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“ naleznou zájemci další informace týkající se vícestupňových modelů raket. Kniha obsahuje užitečné informace z oblastí: 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“.



Rakety

Pershingový deštník dával kdysi člověku pocit jistoty. Tato balistická modelka byla vybavena dvěma motory Thiokol, stejná firma později vyráběla SRB pro raketoplány.



Lepší Pershing ve sklepě než SS-20 na střeše, to byly svého času populární nápisy na tričku. :)

Jak funguje model vícestupňové rakety

PEAK OF FLIGHT

ČÍSLO 99 - FEB 28, 2003

Napsal Tim Van Milligan

Na úvod: 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. 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 oddělí (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:

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.

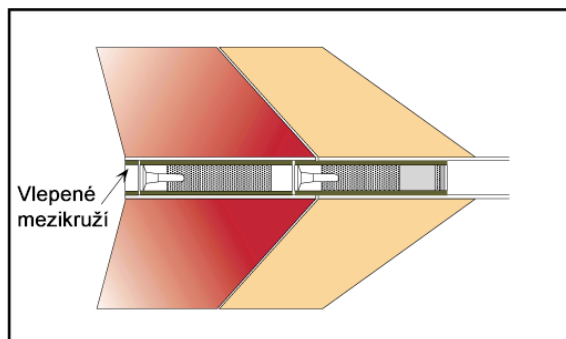
Potom omotáme booster několika vrstvami běžné pásky. To je třeba, abychom zvětšili tření, které zabrání vypadnutí boosteru z trupu ve fázi návratu spodního stupně na zem. Toto omotání neslouží k udržení boosteru uvnitř trupu při odhození spodního stupně, protože to zajistí vsazené mezikruží na dolním konci stupně. Zabraňuje ale vypadnutí boosteru vrchem stupně, když se při návratu na zem ve vzduchu převrací.

Naposledy omotáme páskou motor horního stupně. Použijeme dostatečné množství pásky, aby motor nebyl při výmetu návratného zařízení vyhozen z trupu rakety.

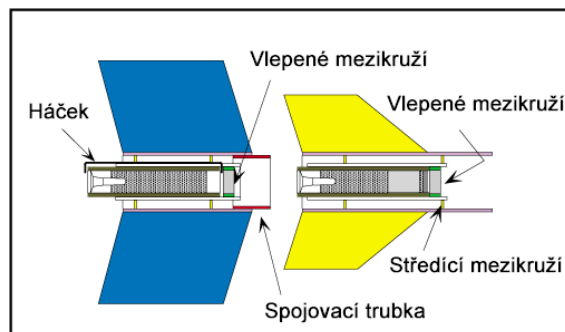
Protože je uchycení motoru v horním stupni řešeno třením (pomocí dostatečného množství pásky), má tato metoda jednu nevýhodu. Motor může být nesnadné vyndat z trupu po návratu rakety. Z tohoto důvodu by bylo vhodnější zajistit motor jiným způsobem.

Znamená to ale zvolit větší průměr trupu horního stupně, aby do něj bylo možné zabudovat nějaký typ motorového lože.

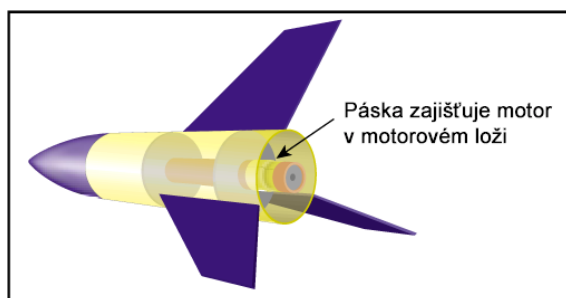
Osobně preferuji zajistit motor v motorovém loži



Obr. 2: U rakety s průměrem trupu rovným průměru motoru lze jako spojovací prvky 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.



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

horního stupně způsobem znázorněným na obrázku č. 4. Pokud bychom k zajištění motoru použili jakýkoliv typ háčku, motory obou stupňů by neseděly přímo na sobě a mezi nimi by byla malá mezera.

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 nejvhodnější. 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 (viz. 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 lůžko 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.

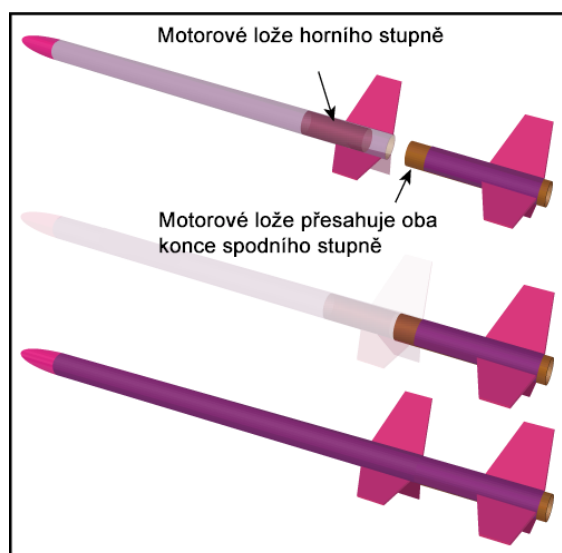
Obrázek č. 6 ukazuje, jak se tato metoda provádí u raket s velkým průměrem trupu.

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.

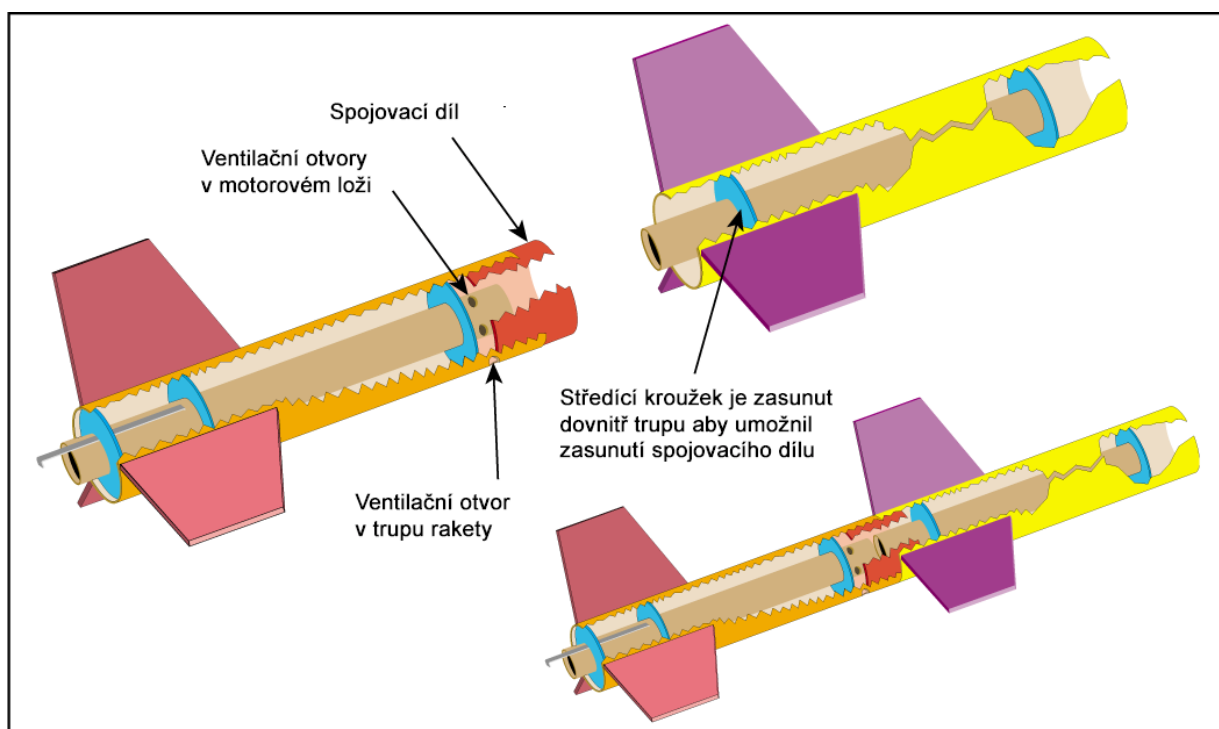
Motor horního stupně může být uchycen k motorovému loži pomocí pásky tak, jak ukazuje obrázek č. 4. Jen je třeba dát pozor na to, aby omotaná část motoru nezasahovala po sestavení rakety dovnitř motorového lože spodního stupně.

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. Shrnutí, čtyřstupňová raketa už



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.



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

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:

<http://www.ApogeeRockets.com/education/newsletter38.asp>

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:

<http://www.ApogeeRockets.com/education/download/s/newsletter96.pdf>

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.

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.

2. 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.

3. 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.

4. 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

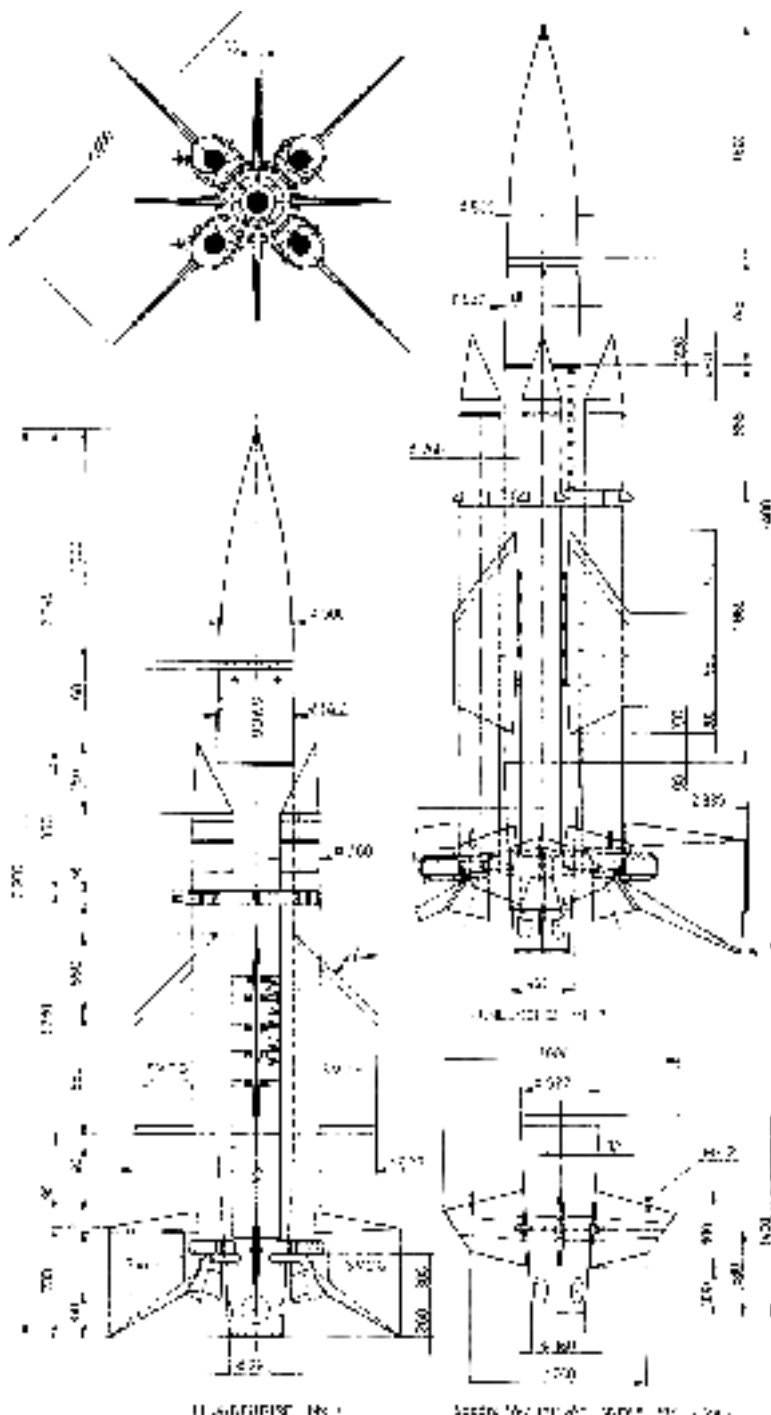
V knize „Model Rocket Design and Construction“ naleznou zájemci další informace týkající se vícestupňových modelů raket.

Knihy obsahuje užitečné informace z oblastí: návratová zařízení prvního stupně, plachtící první stupeň, techniky nepřímého zažehování jednotlivých stupňů a další.

O autorovi

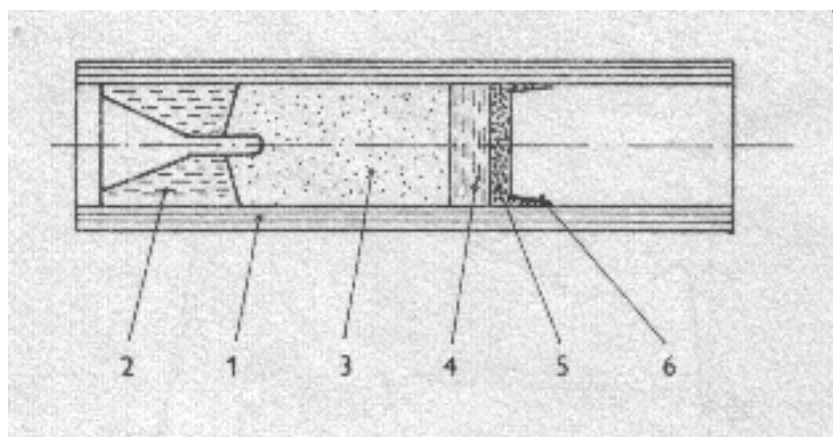
Tim Van Milligan je vlastníkem Apogee Components (<http://www.apogeerockets.com>) a nového vzdělávacího serveru pro raketové modeláře: <http://www.apogeerockets.com/education>. Je také autorem knih: *Model Rocket Design and Construction*, *69 Simple Science Fair Projects with Model Rockets: Aeronautics* 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@apogeerockets.com s předmětem zprávy „SUBSCRIBE“.

Zdroj: <http://www.apogeerockets.com>



Příklad znacení: RM 2,5 - 1,2 - 4

/		\	\		
	označení motoru	celkový impuls	max. tah	doba od zážehu po výmet	
		(Ns)	(Kp)	(s)	



Rez motorem RM

- (1 - papírová trubka, 2 - lisovaná keramická tryska,
- 3 - TPH s kuželovou zážehovou dutinou,
- 4 - zpöždovací slož, 5 - výmetná nápln, 6 - krytka)

Rakety a raketoplány

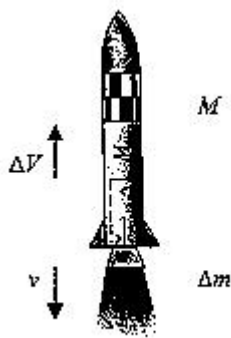
Výskum vesmíru je jedna z najzaujímavejších oblastí intelektuálnej činnosti človeka. K tomu patrí aj splnenie dávneho sna ľudstva prekonať zemskú príťažlivosť a lietať do kozmu. Dnes už sú lety rakiet, raketoplánov, či umelých družíc viac-menej bežnou záležitosťou, a tak im často ani nevenujeme pozornosť. Hoci sa občas prihodí niečo nové a zaujímavé, čo nás opäť pritiahne k tejto problematike. Často sa však nevie nič podrobnejšie o fyzike letu takýchto telies. Tu si povieme základné informácie o lete rakety, či raketoplánu a o 1. 2. a 3. kozmickej rýchlosti.

Aby sa raketa, alebo raketoplán dostala na obežnú dráhu okolo Zeme, a teda po vypnutí motorov nespadla späť na Zem, musí dosiahnuť tzv. *1. kozmickú rýchlosť*. Pri nej je gravitačná sila pôsobiaca na raketu vlastne rovná dostredivej sile, a iba stáča pohyb rakety do kružnice okolo Zeme. Veľkosť prvej kozmickej rýchlosti je pre našu planétu asi 7,9 km/s, a dlho sa zdalo, že sa prakticky nebude dať dosiahnuť. Kvôli odporu vzduchu a veľkým preťaženiam sa nedá získať napríklad výstrelom z dela. Až objav reaktívnych raketových motorov ukázal, že aj takáto veľká rýchlosť sa dá dosiahnuť.

Rakety teda pri svojom lete využívajú reaktívnu silu plynov unikajúcich z trysiek motorov. S podobným princípom sa môžeme stretnúť napríklad aj pri spätnom ráze pušky alebo dela po vystrelení náboja. V izolovaných sústavách totiž platí *zákon zachovania hybnosti*, ktorý vlastne hovorí, že ak sa hybnosť jednej časti sústavy zmení v jednom smere, tak hybnosť ostatných častí sa musí zmeniť o rovnakú hodnotu v opačnom smere. Keďže hybnosť telesa je udaná súčinom jeho hmotnosti a rýchlosti, matematicky sa dá zákon zachovania hybnosti vyjadriť $M(\Delta V) = -(\Delta m)v$, kde M je hmotnosť rakety, ΔV je zmena jej rýchlosti za istý časový interval Δt , Δm je hmotnosť plynov unikajúcich z rakety a v je ich rýchlosť (obr.1). Po vydelení rovnice hodnotou Δt možno určiť veľkosť ťahovej sily motora F

$$F = M \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\Delta m}{\Delta t} v$$

Vidíme, že ťahová sila motora závisí od množstva a rýchlosti unikania plynov z trysiek motora. Veľkosť ich rýchlosti možno zvýšiť vhodným tvarovaním vnútra raketových motorov, alebo použitím paliva horiaceho pri vyšších teplotách. V prvom prípade treba zmenšiť prierez trysiek, čo negatívne ovplyvňuje množstvo unikajúcich plynov. V druhom prípade je najvyššia možná teplota ohraničená teplotou topenia materiálu motora. Z praktických dôvodov sa ukázala ako najvhodnejšia rýchlosť unikania plynov rovná 2000 - 2500 km/s.



Obr. 1. Z rakety s hmotnosťou M unikajú rýchlosťou v za dobu Δt plyny hmotnosti Δm . Vďaka tomu sa rýchlosť rakety zvýši o ΔV .

Zo zákona zachovania hybnosti tiež vyplýva, že zvýšenie rýchlosti rakety ΔV je limitované pomerom hmotnosti unikajúcich plynov (a teda aj paliva) a rakety. Bolo by výhodné, keby tento pomer bol čo najväčší. To sa však nedá tak ľahko dosiahnuť, lebo rakety si musia palivo pre svoj let viesť so sebou, a to ich hmotnosť zvyšuje. Na obežnú dráhu by sa tak dostane len malá časť pôvodnej hmotnosti, neprevyšujúca 0,25% hmotnosti rakety pri štarte. Preto sa vyvinuli viacstupňové rakety, v ktorých každý stupeň má vlastný motor. Stupne sa po vypálení paliva postupne oddeľujú, a napokon sa do vesmíru dostane len relatívne malá kozmická loď.

Podobne raketoplán sa skladá z oddeliteľných častí - je k nemu pripojená externá palivová nádrž a dve pomocné rakety (obr.2). Palivová nádrž pozostáva z dvoch oddelení - v jednom sa nachádza tekutý vodík a v druhom tekutý kyslík. Vodík a kyslík sú potom vedené ku každému z troch hlavných motorov raketoplánu. Tu sa 775 ton vodíka a kyslíka spáli v priebehu 8 a pol minúty. Reakcia prebieha pri vysokej teplote veľmi prudko, pričom ako produkt vzniká vodná para. Dve pomocné rakety pracujú na tuhé palivo (jeho hlavnú časť tvorí chlorid amónny a hliník), pričom spália 1100 ton paliva počas 2 minút a potom vo výške asi 47 km sa oddelia od externej palivovej nádrže. Hmotnosť raketoplánu pri štarte je 2000 ton, na obežnú dráhu vo výške 200 km sa dostane raketoplán hmotnosti 69 ton s nákladom 30 ton.

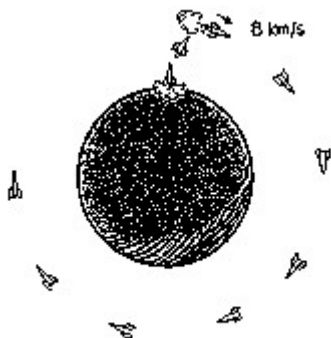


Obr. 2. Raketoplán

Rakety aj raketoplán musia byť pri svojom lete stabilné. Ani to nie je až také jednoduché, lebo dlhé a štíhle rakety s motormi vzadu majú veľkú tendenciu preklápať sa. Preto je dôležité, aby sa pomocou gyroskopov zistili už malé výchylky rakety nabok a aktiváciou stabilizátorov sa odklonili raketové trysky. V raketách bývajú často raketové motory upevnené tak, že sa môžu v istom rozsahu smerov otáčať, čím zabezpečia silu potrebnú na vyrovnanie pohybu.

Pri raketopláne je tento systém prepracovaný azda najlepšie. Dva motory na pevné palivo v pomocných bočných raketách vyvinú ťahovú silu po 11,6 MN a prispievajú rozhodujúcou mierou k počiatočnému zrýchleniu raketoplánu. Tri hlavné natáčateľné motory na tekuté palivo vyvinú ťahovú silu po 2,1 MN a sú potrebné na vyrovňovanie rovnováhy a ťahu motorov bočných rakiet na tuhé palivo. Pri štarte musia tieto motory v priebehu niekoľkých sekúnd začať pracovať na plný výkon. Až keď sa centrálny počítač presvedčí, že pracujú hladko, zapália sa motory na pevné palivo, lebo od tohto okamihu už nie je možný návrat späť. Tieto motory po zapálení horia dovtedy, kým sa neminie všetko palivo. Dokonca, ak sa aj zistia plamene tam, kde by nemali byť, je príliš neskoro niečo robiť. Napríklad v prípade nešťastia raketoplánu Challenger v januári 1986 bol minútu po štarte zistený malý pokles tlaku v pravej bočnej časti, čo ukazovalo na zväčšujúci sa otvor na strane rakety. Horiace palivo unikajúce otvorom spôsobilo výbuch nádrže a tým aj zničenie celého raketoplánu. Každý pokus odpojiť bočnú raketu, pracujúcu na plný výkon, od krehkého raketoplánu by však spôsobil rovnaké nešťastie.

Po odpojení prázdnej palivovej nádrže (vo výške asi 200 km) raketoplán už dosiahne prvú kozmickú rýchlosť. Hoci raketa či raketoplán štartuje kolmo hore, počas letu sa postupne nakláňa a vo výške 200 -300 km sa už pohybuje rovnobežne s povrchom Zeme (obr.3). Taktiež sa otočí z hľadiska pozorovateľa na Zemi hore nohami, aby bolo možné vypustiť družice, či kozmické sondy, prípadne stiahnuť družice, ktoré treba opraviť.



Obr. 3. Raketa sa najskôr pohybuje nahor, aby sa dostala nad horné vrstvy atmosféry. Potom sa jej udelí vodorovná rýchlosť, aby nepadla na zem, ale sa pohybovala sa okolo nej.

Takže akonáhle raketa, či raketoplán dosiahne obežnú dráhu okolo Zeme, jej hlavné raketové motory prestávajú pracovať. Prečo vtedy raketa nespadne späť na Zem? Ona v skutočnosti neustále padá, jej rýchlosť je však taká veľká, že sa tým len zakrivuje jej dráha. Ak je jej rýchlosť menšia ako 1. kozmická, raketa sa približuje k Zemi, ak je jej rýchlosť väčšia, raketa sa od Zeme vzdďľahuje. Pritom sa veľkosť jej rýchlosti zmeňšuje, takže sa vlastne pohybuje po eliptickej dráhe. Ak je rýchlosť rakety väčšia ako tzv. 2. kozmická rýchlosť, raketa sa definitívne vzdďľali od Zeme. Druhá kozmická rýchlosť sa dá pritom vypočítať podľa vzťahu

$v_2 = \sqrt{2}v_1$. Pre našu Zem je približne rovná 11,2 km/s. 3. *kozmickej rýchlosti* je rýchlosť potrebná na to, aby raketa opustila našu slnečnú sústavu. Je rovná približne 16,6 km/s.

Pristávací manéver začína otočením raketoplánu smerom späť a zapnutím manévrovacích orbitálnych motorov. Rýchlosť raketoplánu sa zmenší na hodnotu asi 7,6 km/s a raketoplán začína klesať. Ďalšie spomalenie raketoplánu až na rýchlosť 90 m/s pri pristátí je spôsobené odporom vzduchu. Tým sa povrch raketoplánu výrazne zohrieva (miestami až na 1650°C) a preto musí byť pokrytý špeciálnymi keramickými doštičkami.

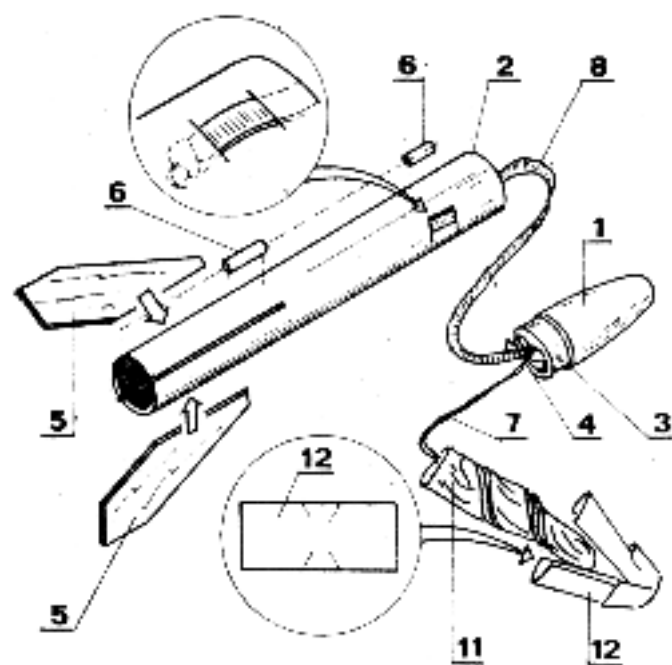
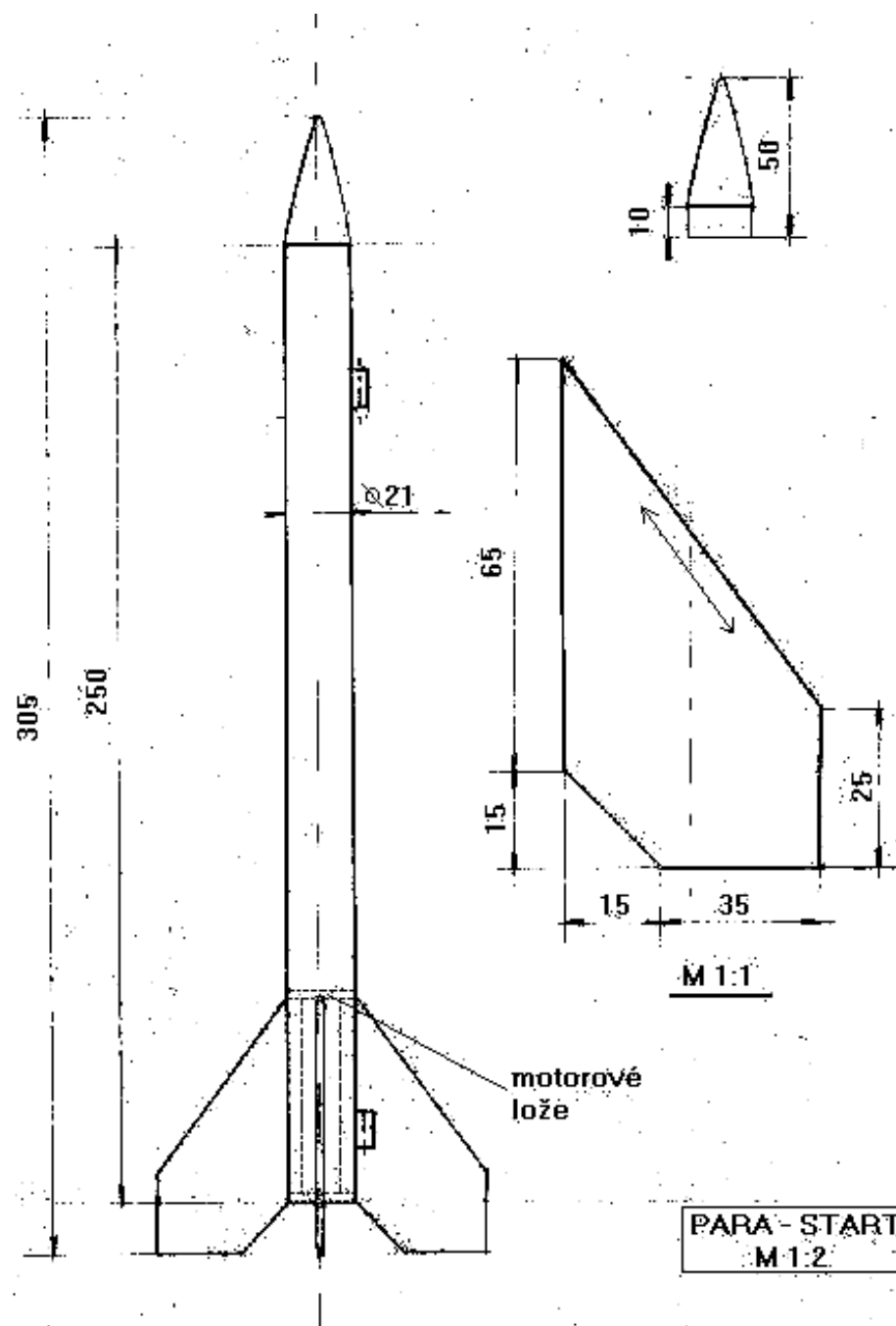
Ľudia si často mylne myslia, že raketa je poháňaná vďaka tlaku výfukových plynov na okolitú atmosféru, t.j. že tieto plyny odtláčajú raketu od molekúl okolitého vzduchu, a tak ju ženú dopredu. To pochopiteľne nie je pravda, veď inak by raketový motor nemohol pracovať vo vesmíre, kde vzduch nie je. Raketa jednoducho získa hybnosť vďaka spätnému rázu od plynov, ktoré chrlí z trysiek. A ak sa pohybuje vo vákuu, tak neprítomnosť odporu vzduchu vyvolá len silnejší účinok spätného rázu.

Je všeobecne známe, že astronauti na orbite sú v stave *zdanlivej beztláče*. Je to preto, lebo celá družica sa s nimi pohybuje voľným pádom, takže sa nemôžu o nič zachytiť. Je to podobné, ako keby ste sa nachádzali v padajúcom výťahu. Ani vtedy by ste sa nemali o čo zachytiť, a ak by ste sa postavili na váhu, tá by ukazovala nulovú tiaž.

Poznamenávame však, že astronauti na orbite sú stále pod vplyvom gravitačnej sily, ktorá neustále mení smer ich rýchlosti, ako aj celej družice. Veľkosť gravitačného zrýchlenia, ktoré pôsobí na družicu i astronautov na nízkych dráhach, kde sa obyčajne nachádzajú (vo výške asi 300 km) je pritom len trocha menšia ako na povrchu Zeme. Zrýchlenie voči Zemi však nie je registrované, lebo rozhodujúce je zrýchlenie voči družici, a to je rovné nule. Preto hovoríme, že astronauti sú v stave *zdanlivej beztláče*. Ak by chceli byť v stave skutočnej beztláče, museli by sa nachádzať veľmi ďaleko od Zeme, Slnka a iných vesmírnych telies, aby ich gravitačný vplyv bol zanedbateľný. V tom prípade by sa ich družica pohybovala priamočiario a rovnomerne, a nie po kružnici alebo elipse, ako je to v prípade pohybu na orbite.

Použitá literatúra:

1. G. L. Buckwalter, D. M. Riban: College physics, McGraw-Hill Book Company, New York, 1987, str. 81-84
2. P. G. Hewitt: Coceptual Physics, Harper Collins Publishers, 1989, kapitola 5, 8 a 9
3. V. J. Ostdiek, D. J. Bord: Inquiry into physics, West Publishing Company, St. Paul, 1991, str. 73-75



RAKETY

