

## Těžiště modelu větroně

Těžiště je možno považovat za nejdůležitější hmotnostní bod celého modelu. Můžeme si představit, že v tomto bodě je koncentrována hmotnost celého modelu nebo letadla. Správná poloha těžiště je rozhodující pro úspěšný let jakéhokoliv letadla.

K úspěšnému letu je nutné, aby letadlo mělo určitou míru „podélné stability“. To je schopnost automaticky vyrovnávat odchylky od daného horizontálního letu. Pokud letadlo neumí automaticky vyrovnat i nekonečně malé odchylky od předpokládaného směru letu, ty narůstají a let RC modelů se stává velmi obtížným, až nemožným - u volných modelů končí střemhlav v zemi.

Podélné stability dosáhneme tím, že mezi těživou profilu křídla a těživou profilu VOP nastavíme určitý „úhel seřízení“ („podélné V“). Čím je tento úhel větší, tím větší zásobou stability model disponuje.

S velikostí úhlu seřízení koresponduje poloha těžiště :

- 1) Čím větší je úhel nastavení profilů křídla a VOP (tupější podélné V), tím více se musí posunout těžiště dopředu a zásoba stability se zvětšuje.
- 2) Se zmenšováním úhlu seřízení (ostřejší podélné V) se těžiště musí posunout dozadu. Zásoba stability se zmenšuje, po překročení určitého bodu se letadlo stává nestabilní a neřiditelné !

### Určení polohy těžiště

V rozporu s „lidovými výmysly“ nemají profily křídla žádný ideální těžištní bod. Umístění těžiště závisí hlavně na půdorysu křídla, ramenu VOP a velikosti VOP. Profil křídla je podružný.

Další „mýtus“ je, že výkon větroně ( klouzavost, klesací rychlost, pronikavost ) je značně ovlivňován polohou těžiště. Není to tak. Změna poměru vztlak/odpor po drastické změně polohy těžiště (s nutnou změnou nastavení VOP, nebo křídla), činí jen několik málo procent.

Větší význam má „čisté“ létání (zátáčky, kroužení), než o několik málo procent nižší klesací rychlost v termicky aktivním počasí.

Poloha těžiště by měla záviset i na tom, jaký „osobní styl létání“ preferujete. Poloha těžiště se dá vypočítat a existují programy, které to umožňují. Výpočet je jednoduchý, ale nelze se na něj zcela spolehnout.

Na konci tohoto článku uvádím návod k Určení těžiště modelu se složeným křídlem z RCM 7/1998, jehož autorem je Doc.Ing. Jiří Pokorný, CSc. Výpočet je vhodný i na křídlo eliptického tvaru s podmínkou, že si křídlo rozdělíte na úseky a dále postupujete jako u křídla složeného z lichoběžníků. Výsledky výpočtu jsou použitelné, pokud zvolíte správnou statickou zásobu.

Obecně platí, že těžiště by mělo být o tzv. „statickou zásobu“ 3 až 10% SAT před neutrálním bodem modelu. Ale modely s přední částí značně vysunutou před křídlo mohou vyžadovat těžištní zásobu až ke 25 % BSAT !

Výpočty necháme návrhářům dospělých letadel a půjdeme cestou experimentů. Ty jsou naštěstí v tomto případě docela schůdné a bezpečné.

Zde je vhodné zdůraznit, že vhodná poloha těžiště není pro daný model jediný přesný bod, ale spíše se jedná o bod, který se může pohybovat v určitém rozmezí.

Příkladem mohou být úspěšné modely Supra (Ukrajina), kde výrobce doporučuje nastavení těžiště v rozmezí 96 až 105 mm a Pike Superior 107 až 112 mm. Někteří modeláři mají těžiště mimo doporučené hodnoty a přesto jsou s chováním modelu spokojeni.

Pro nastavení těžiště modelu doporučuji tento postup :

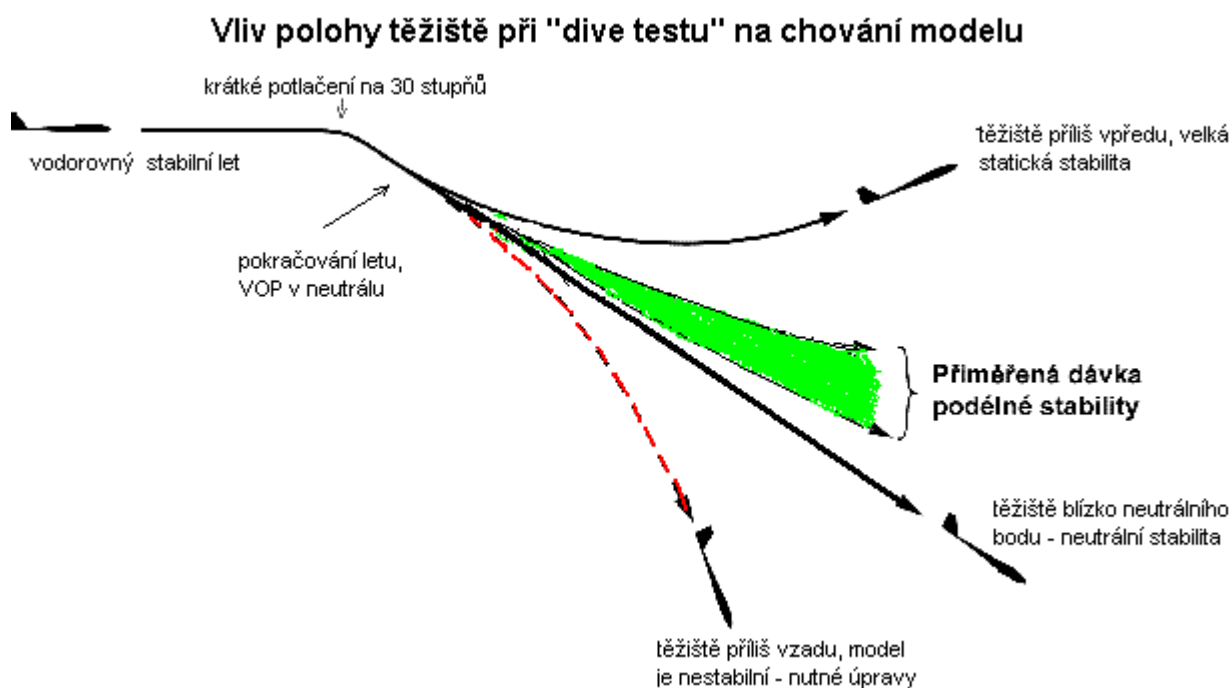
- a) Pokud stavíte model podle plánu, nebo je model zakoupen u výrobce, nastavte těžiště podle jejich doporučení.
- b) Máte-li model vlastní konstrukce, nastavte těžiště podle článku Doc.Ing. Jiřího Pokorného, CSc. Jestli je výpočet správný, bude jeho vzdálenost od náběžné hrany (při malé šípovitosti křídla) u trupu cca ve 35 % hloubky křídla. Před prvním hodem z ruky zkontrolujte úhel seřízení křídla a VOP – zvláště máte-li plovoucí VOP ! Pokud model správně reaguje na výchylky VOP a let je uspořádaný, můžete startovat běžnými způsoby.
- c) Mark Drele doporučuje tzv. „dive testem“ (ponořovací testem) ověřit, zda je těžiště ve správné poloze. Touto metodou můžeme zjistit i neutrální bod modelu za který v žádném případě těžiště dozadu neposunujte ! Test se má provádět za bezvětří, beztermického počasí a u motorových modelů s motorem v klidu. Podle chování modelu měňte polohu těžiště a každou polohu několikrát za letu pečlivě ověřujte až do zjištění, že se model chová tak, jak máte rádi.

Pokud je potřeba větší dávka stability, těžiště bude spíše v přední poloze. To je vhodné pro modely, které létají často ve větších vzdálenostech od pilota a musí umět létat chvíli „samy“. Model však musí být i dobře říditelný - pro pádovou rychlost by proto neměla být výchylka kormidla VOP s pevným stabilizátorem menší než cca 20 stupňů a u VOP plovoucí menší než 10 stupňů. Pozor, malá rychlost letu (nízké Re číslo) výsledky testů zkresluje !!! Nesmíte být také překvapeni, že s každou změnou polohy těžiště musíte pro ustálený let pomocí trimu měnit úhel seřízení !

Pro rekreační piloty, kteří nemají rádi termiku a chodí létat až po „Večerníčku“ : Chcete-li, aby měl model co nejmenší *klesací rychlost*, budete si muset na testy přivstat a být na letišti alespoň půl hodiny před svítáním. Nevhodné termíny testů jsou v letních měsících, kdy nejsou plochy a porosty dostatečně „vychlazené“ a výsledky testů se tím zkreslují. Pro urychlení a zefektivnění testů doporučuji do modelu umístit elektronický výškoměr s možností stažení dat do PC. Každý let s malou změnou těžiště (po cca 2 mm) několikrát opakujeme a doma vyhodnotíme ze startovní výšky a doby letu optimální polohu těžiště.

### Experimentální doladění polohy těžiště podle Marka Drelly :

V přiměřené výšce potlačíme tak, abychom model přivedli do klesání pod úhlem cca 30 stupňů (rychlost neúměrně nezvyšujeme), pak vrátíme výškové kormidlo do neutrálu a pozorujeme co se stane. Rozhodující jsou 2 až 4 sekundy po vrácení VOP do neutrálu !!! Chování modelu po tomto časovém období již není rozhodující.



Obecně mohou nastat tři případy :

- 1) Pokud se model vrací do horizontálního letu příliš rychle („vyplovává šikmo vzhůru“), *těžiště je příliš vpředu a úhel seřízení (podélné V) je příliš velký*. To je ideální pro začátečníky. Pokud nejste spokojeni, můžete posunout těžiště dozadu, zmenšit úhel seřízení, potlačit nebo (natrimovat) výškové kormidlo, nebo vhodným způsobem podložit křídlo.
- 2) Úhel klesání je stále strmější, model přechází do letu střemhlav. POZOR !!! na první pohled by se mohlo zdát, že je model „těžký na hlavu“, ale je to *přesně naopak !!!* Je třeba posunout těžiště dopředu a zvětšit úhel seřízení.
- 3) Model létá po přímce (sám nevybírá klesání) - podélná stabilita je *neutrální*. Toto nastavení používají akrobatická letadla.

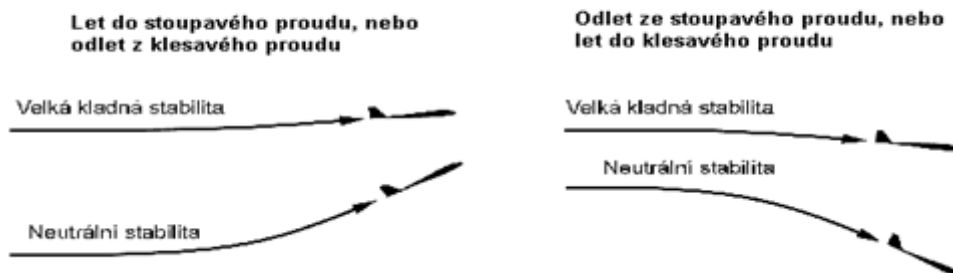
U motorových modelů nakloníme model na 45 stupňů křídélky (bez zásahu do SOP). Model se musí mírně stáčet dolů. Je-li stáčení příliš velké, posuneme těžiště poněkud dozadu.

**Je bezpodmínečně nutné** (spolu s osobním hodnocením „dive testu“) **měřit úhel seřízení modelu !!!**

I když se nám chování modelu při „dive testu“ „líbí“, model může létat v jiné oblasti rychlostní poláry – s horšími výkony. Výsledky „dive testu“ vždy porovnáváme s úhlem seřízení. Ten by se měl v ustáleném letu pohybovat v mezích 1,0 až 3,5 stupně (soutěžní, rekreační a školní modely).

Pozor také u „měkkých“ konstrukcí křidel a VOP – ta se mohou při vyšších rychlostech kroutit a celý výsledek testu zkreslovat! Rozdílné výsledky v testech může způsobovat i váz noucí náhon VOP, nebo necitlivost serva!

### Reakce modelu na různou statickou zásobu



K těžišti a podélnému seřízení neodmyslitelně patří *rychlost* ustáleného letu, která by na poláře měla odpovídat zhruba poloze mezi největší klouzavostí a nejmenší klesavostí. Rychlost upravíme jemným posunem těžiště spolu s podélným seřízením.

Nezapomínejte, že experimentální určení polohy těžiště dive testem vám nezaručí optimální nastavení! To si upřesníte až po mnoha tréninkových letech za různého počasí! Všimněte si reakcí modelu a těžiště doladte podle následujícího chování modelu:

#### Pokud je těžiště příliš vpředu:

- při „ponožovacím testu“ větroň příliš rychle vybírá sestupný let,
- větroň drží uspořádaný let i rychlost, dokonce i při termické poruše,
- v termickém prostředí dovolí hezký pomalý let s minimem klesání, bez houpání,
- pro dosažení nízké rychlosti letu (např. pro přistávání) jsou potřeba velké výchylky VOP, které mohou způsobit i odtržení proudnic na VOP a následný pád modelu,
- kroužení na malých rychlostech je nepříjemné, na VOP se trhají proudnice, větroň padá po křídle,
- špatná signalizace termiky,
- let na zádech není možný, nebo jen s extrémními výchylkami VOP,
- velká citlivost na výchylky SOP,
- úhel nastavení křídla a VOP není kritický

#### Pokud je těžiště příliš vzadu:

- větroň pokračuje po potlačení v sestupném letu bez známek vybrání, po mírném natažení zvedne nos, zpomalí a začne houpat, totéž se stane při nalétnutí do stoupavého proudu,
- příliš malé výchylky VOP pro dosažení ustáleného letu v celém rozsahu rychlostí. Při přitažení VOP jde model snadno do přetažení,
- „neurované“ přechody do zatáček, v kruhu je model směrově nestabilní, hodně citlivý na VOP a špatně se pozná nízká rychlost (malá výchylka VOP na přetažení),
- úhel nastavení křídla a VOP je kritický,
- model vyžaduje neustálé korekce letu

#### Poznámka 1:

Z předchozího také vyplývá, že důležitý je úhel seřízení. Pokud je dodržen, pak na úhlech, pod kterými jsou křídlo a výškovka usazeny na trupu nezáleží – určují pouze, zda model letí špičkou trupu spíše nahoru, nebo spíše dolů.

#### Poznámka 2:

Dost často má souměrná výškovka stabilizátor a kormidlo. V tomto případě musíme během zalétávání měnit úhel seřízení celé VOP a ne jen „trimovat“ kormidlem. Trimováním kormidla se mění střední čára profilu VOP a tím i její aerodynamické zatížení. Je-li při normální rychlosti VOP trimem „natažena“, potom při snížení rychlosti (např. při přistávání) může dojít k odtržení proudnic na VOP a tím i k pádu modelu. Vhodnější je tedy stavět VOP jako „plovoucí“.

Poznámka 3 :

Není-li VOP souměrná (např. rovná spodní strana), její mohutnost je  $A \Rightarrow 0,5$  a má-li profil křídla větší prohnutí, vychází poloha těžiště spíše „zadní“.

Poznámka 4 :

Při létání za silnějšího větru musíme pro zvýšení rychlosti letu přidat závaží do těžiště ! Pokud přidáte závaží do špice trupu, zvýší se vlivem vyšší hmotnosti sice rychlost letu, ale zároveň musíte pro rovnovážný stav „přitáhnout“ VOP a tím rychlost letu zpomalíte.

Na závěr doporučuji u všech Vašich modelů zrušit mnoha lety zjištěnou optimální polohu těžiště a začít nastavovat znovu. Pokud model podle těchto doporučení poškodíte, případně letové vlastnosti zhoršíte, nechoďte na mne s holí, **nebudu doma !**

Hlavní části článku byly čerpány z Internetu a zkušeností jiných modelářů

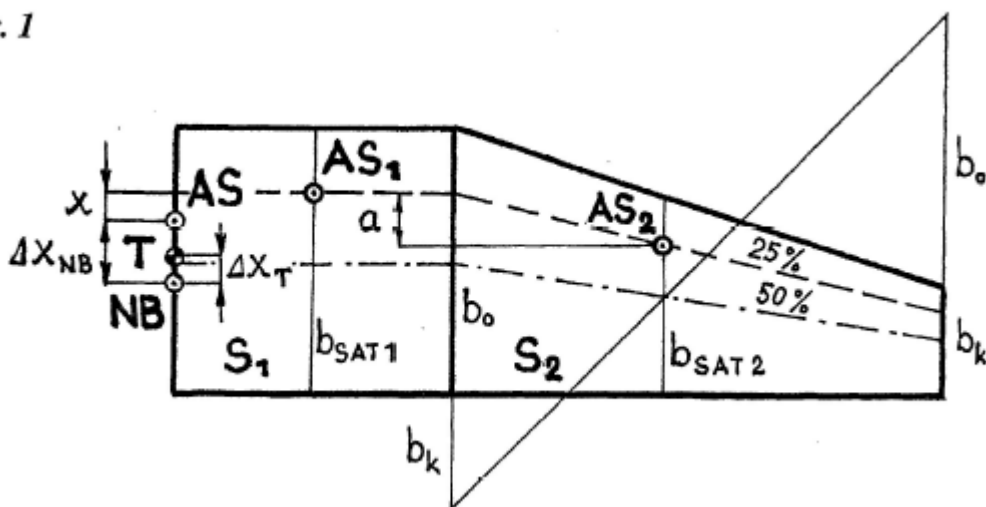
Bobr

Příloha : **Určení těžiště modelu se složeným křídlem**, autor Doc.Ing. Jiří Pokorný, CSc.

Soudobé modely mají často křídla složená z několika plošných útvarů, zejména kategorie F3J a F3B z obdélníků, lichoběžníků, či tvaru elipsy. Dokážeme-li určit *aerodynamické středy*  $AS_i$  jednotlivých i-tých částí složeného křídla, pak musíme vyřešit problém výsledného  $AS$  celého křídla. Uvést výsledný vzorec je snadné, ale přestože toto je bohužel častá praxe, měl by zvědavý modelář znát, proč a jak se k němu došlo. Tím se zbaví obav z teorie a nedůvěry k výpočtovým vzorcům.

Z praktických důvodů však uvedeme nejprve celý postup výpočtu těžiště modelu. Mějme křídlo o polorozpětí  $I/2 = 700$  mm, složené z obdélníku o ploše  $S_1 = 5$  dm<sup>2</sup> a lichoběžníku o ploše  $S_2 = 6,75$  dm<sup>2</sup> (obr.1).

Obr. 1



1) Grafickou metodou určíme polohy  $AS_1$  a  $AS_2$ , které leží na průsečíku střední aerodynamické tětiny  $b_{SAT1}$ , respektive  $b_{SAT2}$  a čtvrtinové čáry křídla. Řešení u obdélníku je snadné, u lichoběžníku postupujeme způsobem zřejmým z obrázku 1, kde  $b_0$  je hloubka u kořene,  $b_k$  hloubka koncové části křídla. Určíme vzdálenost  $a = 34$  mm, o kterou je posunut  $AS_2$  dozadu od  $AS_1$ .

2) Vzdálenost výsledného aerodynamického středu složeného křídla od  $AS_1$  vypočteme ze vzorce

$$x = \frac{S_2 \cdot a}{S_1 + S_2} = \frac{6,75 \cdot 0,34}{11,75} = 0,195 \text{ dm.}$$

Hloubka křídla u kořene je  $b_0 = 200$  mm a vzdálenost  $AS$  od náběžné hrany je pak  $50 + 19,5 = 69,5$  mm (35 % hloubky  $b_0$ ).

3) Neutrální bod  $NB$  je u modelu klasické konstrukce posunut vlivem stabilizačního účinku VOP dozadu o vzdálenost

$$\Delta x_{NB} = 0,35 \cdot A_{VOP} \cdot b_{SAT} = 0,35 \cdot 0,52 \cdot 174 = 31,7 \text{ mm.}$$

Snažil jsem se zjistit, co znamená ve vzorci konstanta **0,35** ale nedopátral jsem se. Asi zkušenost z praxe oproti známému aerodynamikovi, který rovnice neuvádí (prý je nemají modeláři rádi), ale můžeme se u něj dočíst ... mohlo by, ... nemělo by ..., může být asi ..., doporučuji ..., apod. Žádné číslo, žádná rovnice, prostě na nic !

Ve vzorci značí  $A_{VOP}$  tzv. mohutnost VOP, kterou vypočteme ze vzorce

$$A_{VOP} = (S_{VOP} \cdot l_{VOP}) : (S \cdot b_{SAT}) \quad (\text{výsledné číslo nemá přiřazen žádný rozměr})$$

kde  $S_{VOP}$  ... plocha VOP  
 $l_{VOP}$  ... rozpětí VOP  
 $S$  ... plocha křídla  
 $b_{SAT}$  ... střední aerodynamická tětíva

Střední aerodynamickou tětívu  $b_{SAT}$  vypočteme jako vážený průměr  $b_{SAT1}$  a  $b_{SAT2}$ , kde vahou jsou plochy  $S_1$  a  $S_2$  :

$$b_{SAT} = \frac{b_{SAT1} \cdot S_1 + b_{SAT2} \cdot S_2}{S_1 + S_2} = \frac{2 \cdot 5 + 1,55 \cdot 6,75}{5 + 6,75} = 1,74 \text{ mm.}$$

Podobně budeme postupovat u křídla, které je složeno z více plošných útvarů. Eliptické křídlo si rozdělíme na více úseků a budeme je počítat jako složené z lichoběžníků.

Neutrální bod je tedy vzdálen od náběžné hrany o  $69,5 + 31,7 = 101,2 \text{ mm}$  (50,6 %).

4) Zvolíme těžištní zásobu (rezervu)  $R = 6 \%$ , pak se těžiště posune dopředu od **NB** o vzdálenost

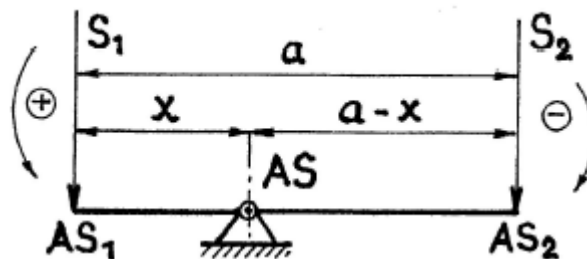
$$\Delta x_T = \frac{R \cdot b_{SAT}}{100 \%} = \frac{6 \cdot 174}{100 \%} = 10,4 \text{ mm.}$$

Těžiště **T** bude ležet ve vzdálenosti od náběžné hrany  $101,2 - 10,4 = 90,8 \text{ mm}$ , tedy ve 45,4 % hloubky křídla u kořene.

Na závěr slíbená „teorie“ ke vzorci v bodě 2) :

Představme si, že jde v podstatě o rovnováhu na páce (obr.2) :

Obr. 2



Na rameni  $x$  působí aerodynamická síla (vztlak) úměrná ploše  $S_1$  a na rameni  $(a - x)$  síla  $S_2$ . Pro rovnováhu platí, že součet momentů musí být roven nule (tzv. momentová věta), tedy

$$S_1 \cdot x - S_2 \cdot (a - x) = 0.$$

Řešením této jednoduché lineární rovnice o jedné neznámé je vzorec uvedený v bodě 2), kde šlo o nejjednodušší

případ .

Stejným způsobem však lze odvodit vzorce pro křídla složená ze tří či více plošných útvarů, takže dostaneme vzorce

$$x = \frac{S_2 \cdot a_2 + S_3 \cdot a_3}{S_1 + S_2 + S_3},$$

$$x = \frac{S_2 \cdot a_2 + S_3 \cdot a_3 + S_4 \cdot a_4}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4}$$

atd., kde  $\underline{a_2}$  je vzdálenost  $\overline{S_1 S_2}$ ,  $\underline{a_3}$  vzdálenost  $\overline{S_1 S_3}$  atd.

Lze pevně věřit, že modeláři jsou zdatní a kreativní, takže lze věřit i tomu, že tento výklad neodbudou mávnutím ruky, a naopak jej přijmou jako užitečné odtajnění záhady, „kde to vlastně má mít těžiště“ .