

# URČENÍ SPRÁVNÉ POLOHY TĚŽIŠTĚ MODELU

Základem dobrých letových vlastností modelu je správná poloha těžiště. Z aerodynamického hlediska je nutné, aby těžiště leželo před neutrálním bodem. Pokud by leželo za ním, model by byl podélně nestabilní.

Bohužel spousta modelářů věnuje stavbě modelu stovky hodin, ale často svůj výtvar při prvním pokusu o let zničí, protože model má špatně určené těžiště. V tomto příspěvku se soustředíme na nalezení správné polohy těžiště pouze z hlediska podélné stability.

## Úvodem trochu teorie:

1. Posouváním těžiště směrem dozadu se snižuje podélná stabilita a zároveň je model náchylný na pád do vývrtky.

2. Časový průběh úhlu náběhu křídla modelu po náhlé výchylce z rovnovážné polohy je na obrázku 1. Chování modelu je obdobné jako chování kuličky na obrázku 2.

3. Uspokojivých vlastností modelu docílíme, jestliže těžiště bude ležet v jisté vzdálenosti před neutrálním bodem.

4. Neutrální bod získáme tak, že k aerodynamickému středu křídla přičítáme vliv ostatních částí modelu. V aerodynamice je zvykem nazývat neutrální bod křídla aerodynamickým středem.

5. Vzdálenost mezi těžištěm a neutrálním bodem nazýváme těžištní zásoba nebo rezerva (R). Velikost těžištní zásoby vztahujeme k velikosti střední aerodynamické tětiny.

## I. URČENÍ NEUTRÁLNÍHO BODU MODELU S VÝŠKOVOU PLOCHOU VZADU

Základem je určení aerodynamického středu křídla (AC). Na obrázku 4 je grafické vyjádření závislosti mezi velikostí aerodynamické tětiny a souřadnicí  $\eta_A$  v závislosti na zúžení křídla. Vliv trupu zanedbáme. Vliv výškové plochy je zřejmý z obrázku 5. Pro určení polohy neutrálního bodu platí rovnice (1):

$$x_{NB} = x_C + \Delta x_{VOP} \dots (1)$$

Polohu neutrálního bodu vyšetřujeme vzhledem k poloze a velikosti střední aerodynamické tětiny (obr. 6).

## II. URČENÍ POLOHY TĚŽIŠTĚ MODELU

Určení polohy těžiště modelu je zřejmé z rovnice (2) a (3):

$$x_T = x_{NB} - R \dots (2)$$

$$x_T = x_C + \Delta x_{VOP} - R \dots (3)$$

V tabulce na obrázku 7 jsou uvedeny hodnoty R pro různé kategorie modelů. Následuje praktický příklad:

Zadání: Určete polohu těžiště u makety letounu Zlin Z-226A!

Základní údaje jsou na obrázku 8. K výpočtu nám poslouží údaje z obrázku 10. Podle obrázku 9 platí:

$$x_C = [0,25 + \lambda \cdot (1 + 2\eta)] \cdot \text{tg}\varphi/12] \cdot b_0 = [0,25 + 6,8 (1 + 2 \cdot 0,47) \cdot \text{tg } 9^\circ/12] \cdot 500 = 212 \text{ mm}$$

$\Delta x_{VOP}$  ... určíme z obrázku 5.  $\Delta x_{VOP}$

$$= 0,17, \Delta x_{VOP} = 0,17 \cdot 383 = 65 \text{ mm}, R = 15 \% b_A, R = 0,15 \cdot 383 = 57,5 \text{ mm}$$

$$x_T = x_C + \Delta x_{VOP} - R = 212 + 65 - 57,5 = 219,5 \text{ mm}, x_T = 220 \text{ mm}$$

Určení polohy těžiště na aerodynamické tětině:

$$x_{TA} = x_T - x_A = 220 - 117 = 103 \text{ mm}, x_{TA}$$

$$= x_{TA}/b_{SAT} = 103/383 = 0,27$$

$$x_{TA} = 27 \% SAT$$

## III. ZVLÁŠTNÍ PŘÍPADY

1. Křídlo malé štiřlosti a velké šípovitosti

Doposud jsme uvažovali o modelech běžného provedení. V případě, že štiřlost křídla je menší než  $\lambda = 6$  a šípovitost  $\varphi$  větší než  $15^\circ$ , použijeme pro stanovení aerodynamického středu (AC) diagramů podle obrázku 11. Aerodynamický střed (centrum) tedy leží ve vzdálenosti  $x$  (měřeno na SAT). Polohu AC podle obrázku 3 respektive 4 korigujeme takto:

$$\Delta x = (x - 0,25) \cdot b_{SAT} \dots (4)$$

Diagramy platí přesně pro hodnoty zúžení křídla  $\eta = 0; 0,5; 1$ . Pro mezilehlé hodnoty zúžení použijeme početní interpolaci nebo použijeme diagram pro nejbližší hodnotu  $\eta$ .

2. Křídlo složitějšího půdorysu  
Řešení je zřejmé z obrázku 12. Některé moderní vojenské letouny mají poměrně složitý půdorys. Přesné řešení určení správné polohy těžiště u maket těchto letounů je složitější než u letounů s klasickými nosnými plochami.

Při vývoji skutečných letounů jsou kromě jiného měřeny přesné modely v tunelu. Poloha těžiště je určena na základě výsledků tunelových měření, protože ve zvláštních případech nemusí výpočet vystihovat přesně skutečnost. V každém případě je však základní výpočet přesnější než odhady spoléhající na intuici konstruktéra.

V modelářské praxi pro určení polohy těžiště ve zmíněných případech postačí malé modely zhotovené z balsy. Letové vlastnosti malých modelů prověřujeme klouzavým letem. Posouváním zatěže u modelu dochází ke změně dráhy letu. Základní seřízení volíme mezi  $1$  a  $2^\circ$ . Optimálně seřízený model klouže pod malým úhlem a vyznačuje se stabilním letem.

Polohu těžiště skutečného letounu můžeme nepřímo určit ze znalosti konstrukční zásady pro umístění hlavního podvozku podle obrázku 13.

3. Dvouplošník, trojplošník (obr. 14)

Řešení je zřejmé z obrázku. U víceplošníku použijeme analogického postupu.

Model se třemi nosnými plochami bude určen takto:

$$x = (x_2 \cdot S_2 + x_3 \cdot S_3) / S_1 + S_2 + S_3 \dots (5)$$

$$b_{SAT} = (b_{A1} \cdot S_1 + b_{A2} \cdot S_2 + b_{A3} \cdot S_3) / S_1 + S_2 + S_3 \dots (6)$$

4. Modely kachní koncepce – s výškovou plochou umístěnou před křídlem (obr. 15)

Za určitých zjednodušujících předpokladů lze určit neutrální bod podle rovnice (7):

$$x_T = x_C - \Delta x_{VOP} - R \dots (7)$$

Z rovnice je zřejmé, že se neutrální bod posouvá dopředu. Přitom platí:

$$\Delta x_{VOP} = A_{VP} \cdot B \cdot b_{SAT}, B = C / (1 + C \cdot S_{VP} / S),$$

$$C = \lambda_{VP} \cdot (\lambda + 2) / \lambda \cdot (\lambda_{VP} + 2)$$

Přitom  $S_{VP}, S$  ... plocha (výškové plochy, křídla)  $A_{VP} = (l_{VP} \cdot S_{VP}) / (S \cdot b_{SAT})$  ...

mohutnost výškové plochy  $\lambda$  ... štiřlost (výškové plochy, křídla)

IV. ZÁVĚR

– podélná stabilita je určena především pů-

dorysem modelu. Profily nosných ploch a výchylky klapek mají na podélnou stabilitu drobný vliv.

– u samokřídla je aerodynamický střed křídla totožný s neutrálním bodem modelu.

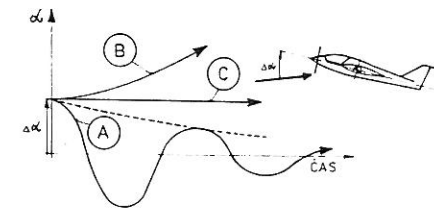
– s vlivem motoru pro jednoduhost nepočítáme.

– podélné seřízení modelu (obr. 16) závisí na vzdálenosti těžiště od neutrálního bodu. Pokud by těžiště modelu leželo v neutrálním bodě, byl by model schopen letu s nulovým seřízením, ale let by byl prakticky nestabilní.

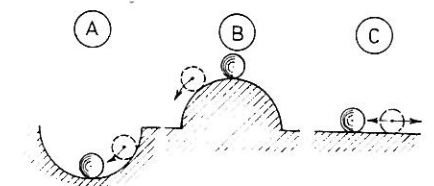
V praxi doporučujeme určité „rozumné“ seřízení, které odpovídá zvolené těžištní zásobě R (obr. 7).

– je třeba si uvědomit, že celá problematika je zjednodušena tak, aby byla pro modeláře přijatelná, ale zároveň co do přesnosti vyhovující.

Ing. Jan Kamínek



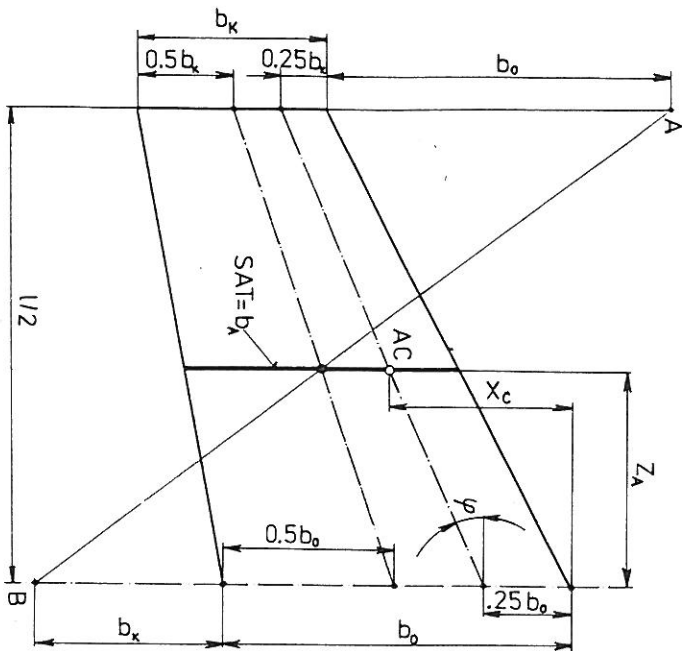
Obr. 1 Reakce modelu na náhlé vychýlení z rovnovážné polohy (závislost úhlu náběhu na čase): A – těžiště před neutrálním bodem; B – těžiště za neutrálním bodem; C – těžiště v neutrálním bodě



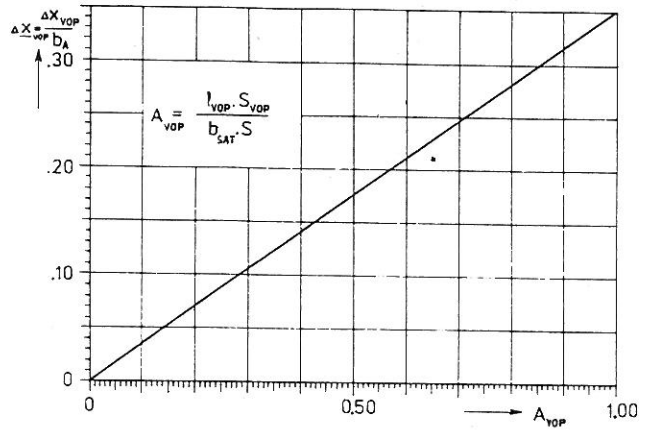
Obr. 2 Vysvětlení různých druhů stability: A – stabilní poloha kuličky; B – nestabilní poloha kuličky; C – neutrální poloha kuličky

KATEGORIE	R
	% $b_A$
F3A	10
F3B	10
F4C	15
samokřídla	7

Obr. 7 Praktické hodnoty těžištní rezervy pro různé kategorie modelů



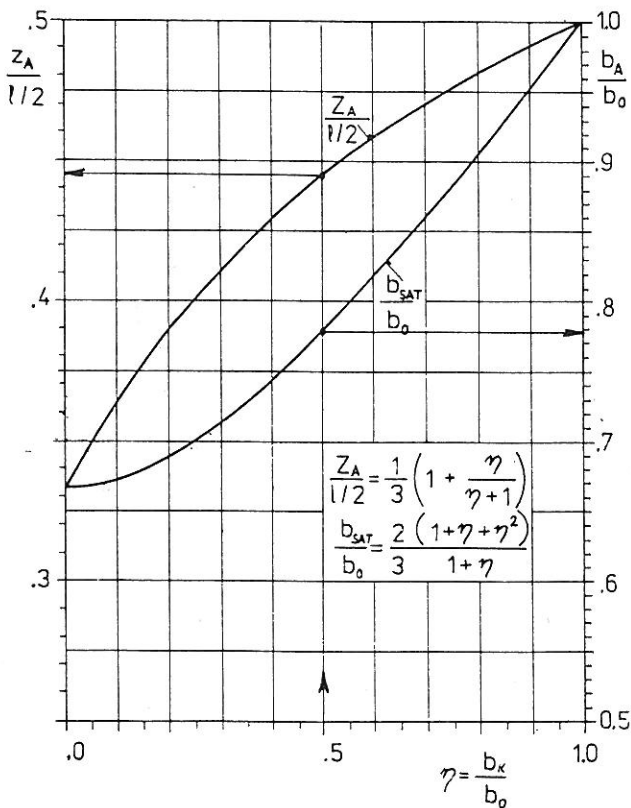
Obr. 3 Grafická konstrukce střední aerodynamické tětiny včetně určení aerodynamického středu (AC)



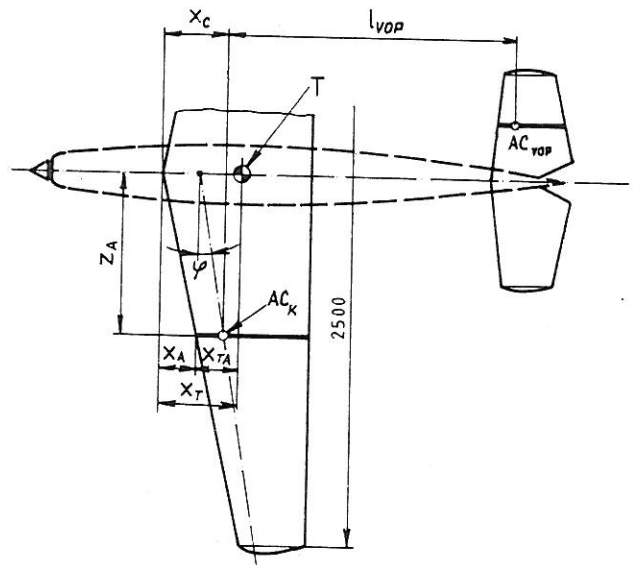
Obr. 5 Vliv výškové plochy na posuv neutrálního bodu modelu.  $A_{VOP}$  – mohutnost vodorovné ocasní plochy

ZLIN Z226A M 1:4

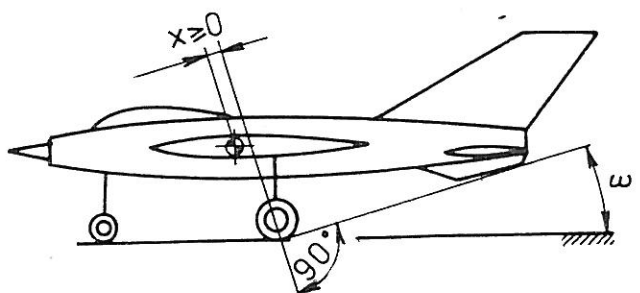
$b_0 = 500 \text{ mm}$	$S = 91,9 \text{ dm}^2$	$\lambda = 6,8$	$\varphi = 9^\circ$
$b_k = 235 \text{ mm}$	$S_{VOP} = 17,5 \text{ dm}^2$	$A = 0,48$	
$\eta = 0,47$	$\bar{y}_{VOP} = 975 \text{ mm}$	$b_A = 383$	



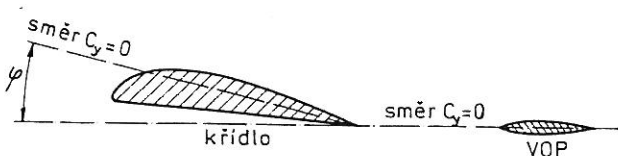
Obr. 4 Teoretické podklady k určení aerodynamické tětiny (SAT)



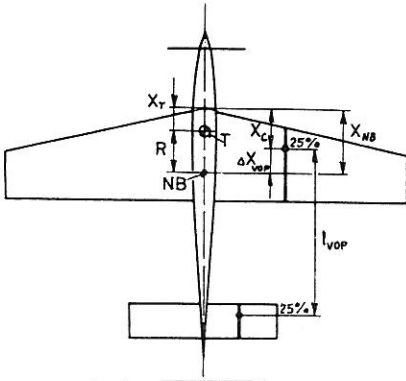
Obr. 8 Model Zlin Z-226 (k početnímu příkladu)



Obr. 13 Umístění hlavního podvozku u letadel s tříkolovým podvozkem vzhledem k těžišti



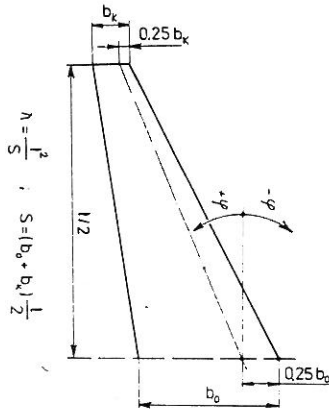
Obr. 16 Podélné seřazení modelu ( $c_y$  = součinitel vzlaku)



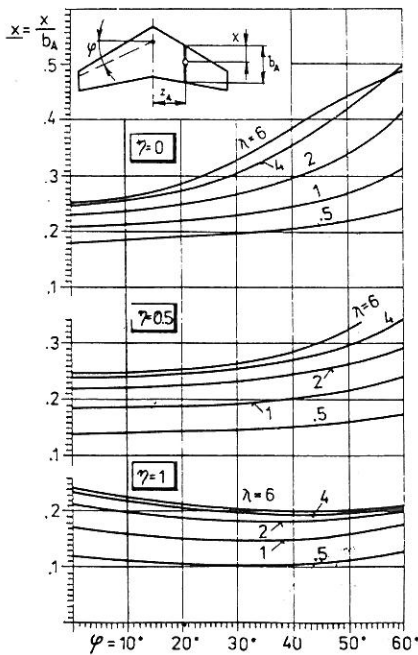
Obr. 6 Určení neutrálního bodu (NB) modelu klasické koncepce

KŘÍDLO (půdorys)	S	$\frac{b_A}{b_0}$	$\frac{x_c}{b_0}$
	$b_0 l$	1	$0.25 + 0.25 \lambda \lg \varphi$
	$\frac{1+\eta}{2} b_0 l$	$\frac{2}{3} \frac{1+\eta+\eta^2}{1+\eta}$	$0.25 + \frac{1}{12} \lambda (1+2\eta) \lg \varphi$
	$\frac{1}{2} b_0 l$	$\frac{2}{3}$	$0.25 + 0.25 \lambda \lg \varphi$
	$\frac{\pi}{4} b_0 l$	$\frac{8}{3\pi} = 0.848$	$0.25 + \frac{\lambda}{6} \lg \varphi$

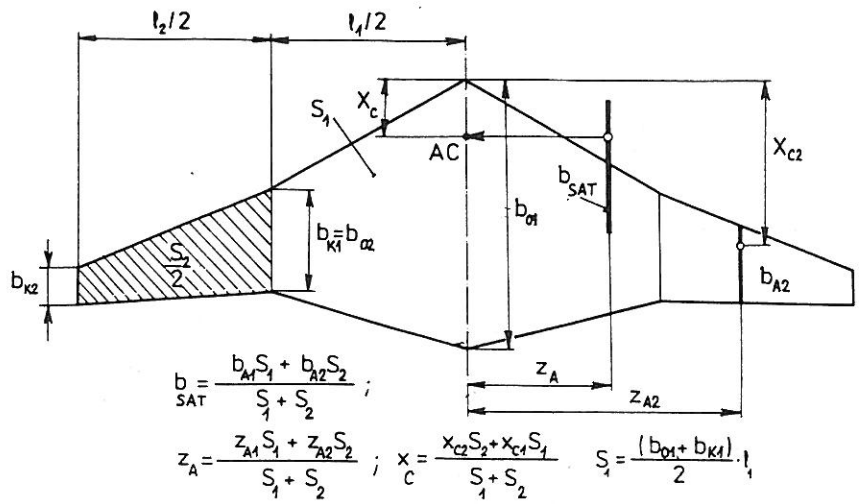
Obr. 9 Teoretické určení aerodynamického středu křídla (AC)



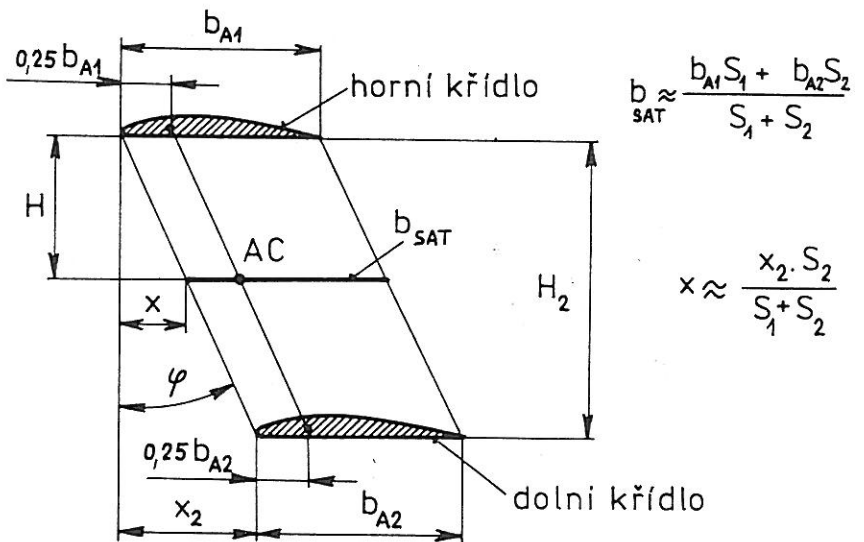
Obr. 10 Základní charakteristiky křídla



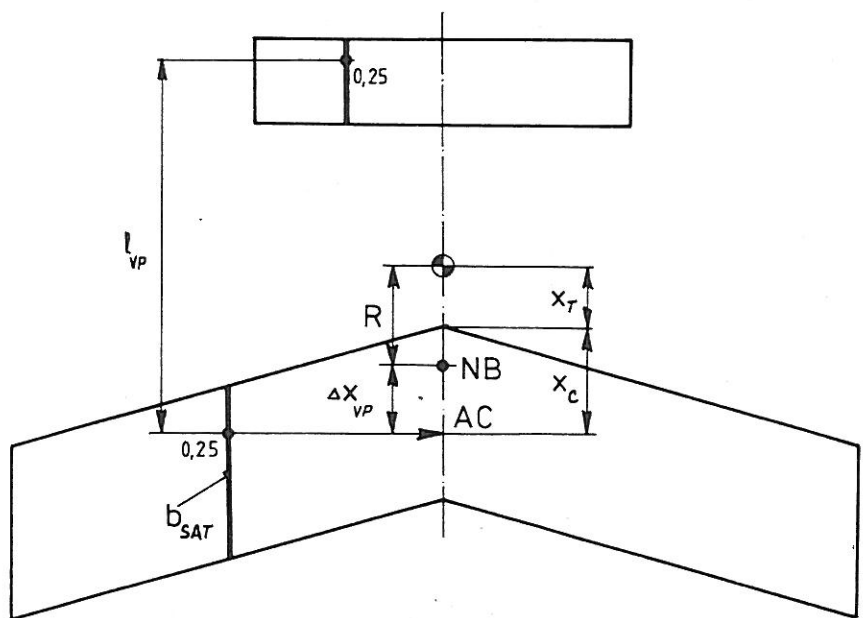
Obr. 11 Diagram pro určení AC v závislosti na šířlosti a šípovitosti křídla



Obr. 12 Určení AC (aerodynamického středu) složeného křídla



Obr. 14 Umístění AC (aerodynamického středu) dvouplošníku



Obr. 15 Určení neutrálního bodu (NB) u modelu typu kachna