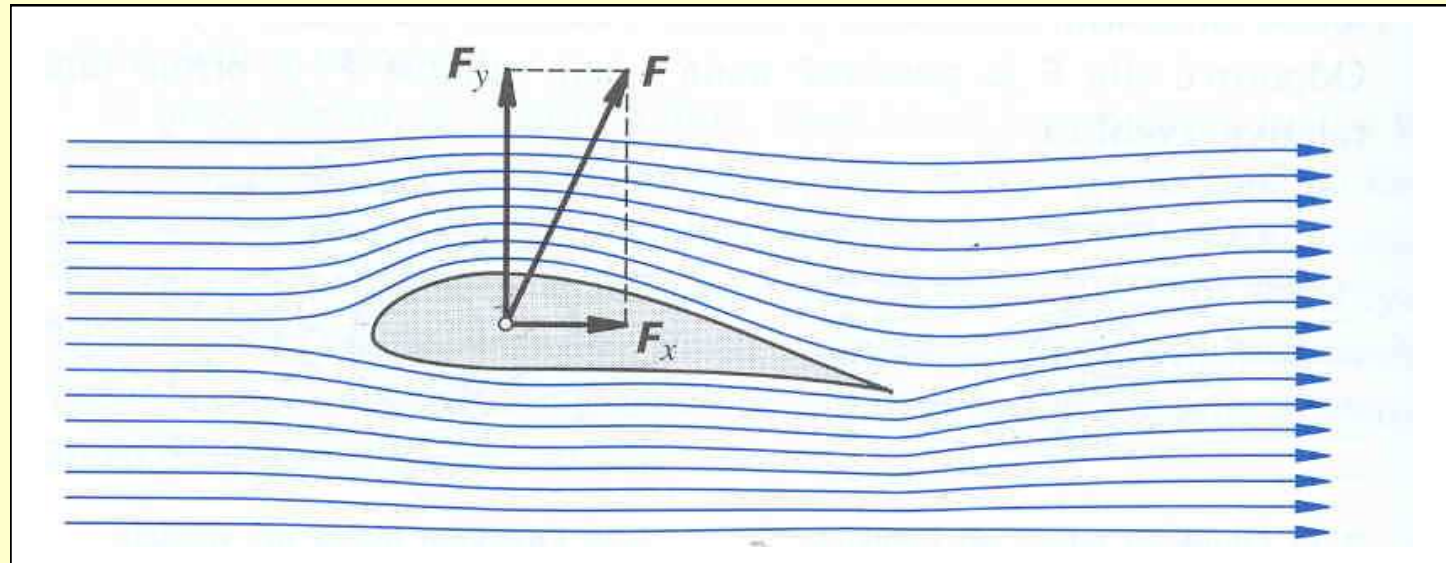


Let letadel a vrtulníků

Dynamický vztlak – vztlak křídlového profilu

Mechanika pro gymnázia

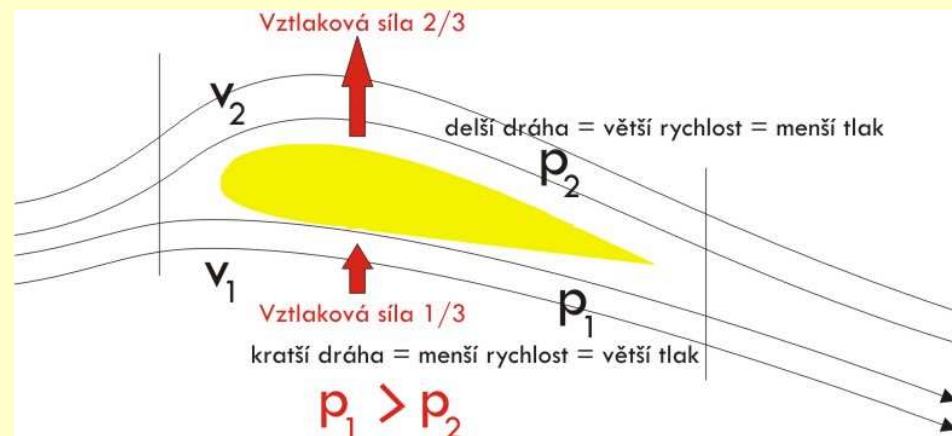
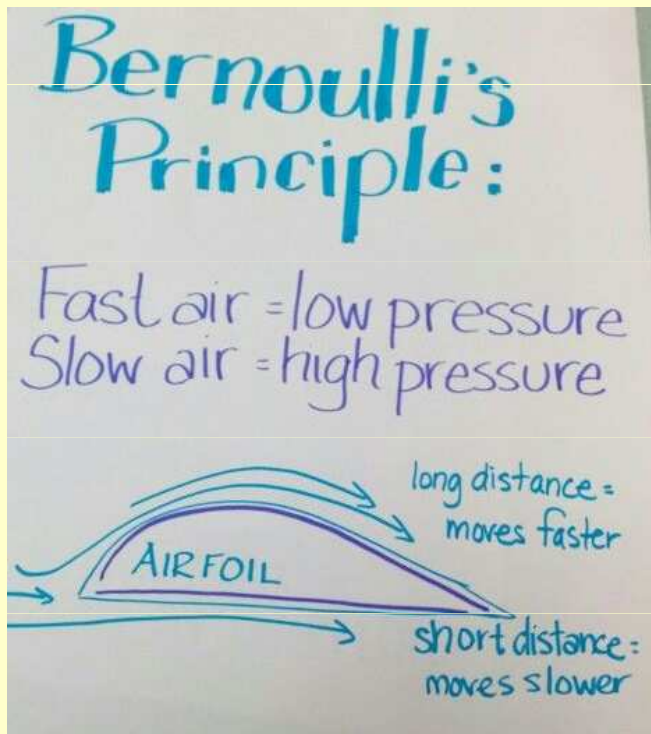
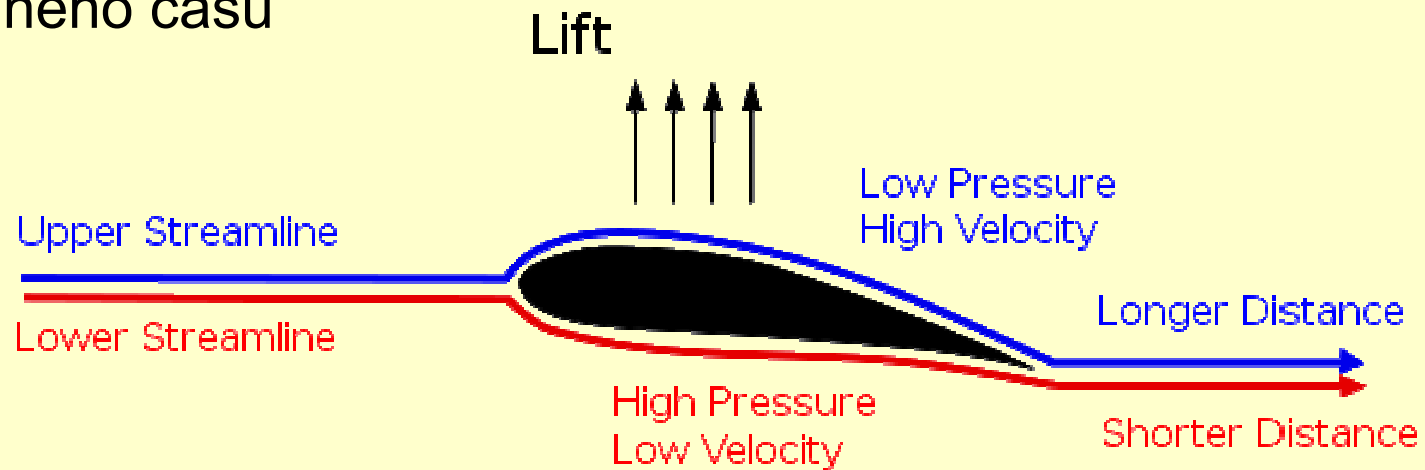


Bernoulliova rovnice

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + p = \text{konst}$$

Proč se vzduch nahoře pohybuje větší rychlostí?

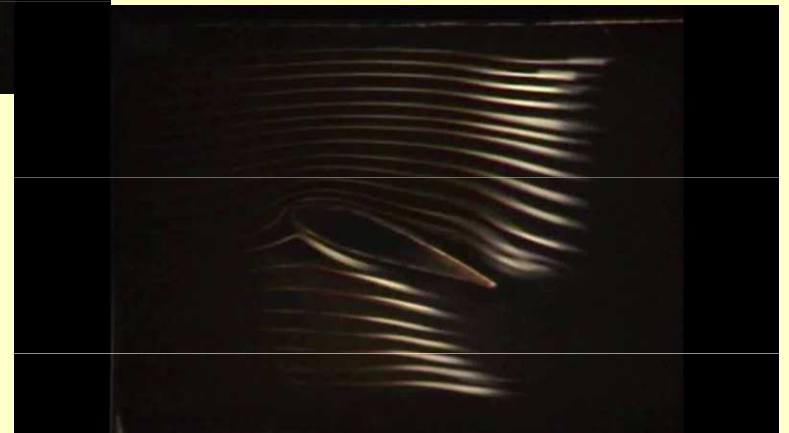
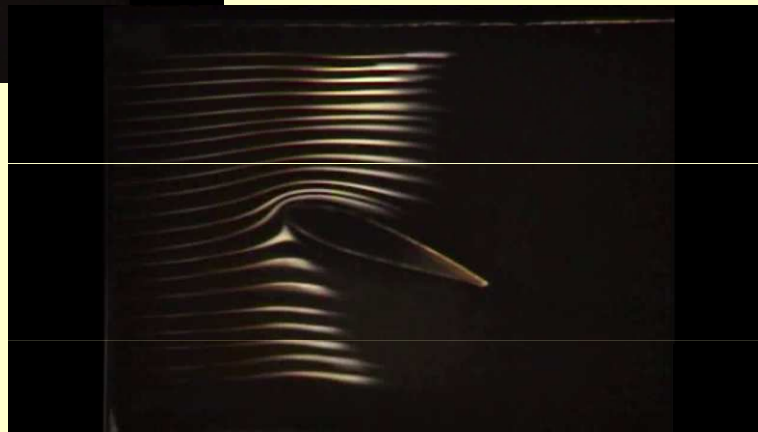
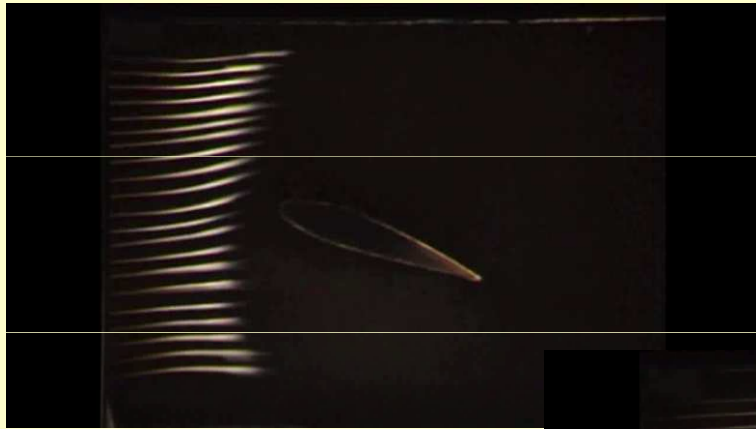
a) Teorie stejného času



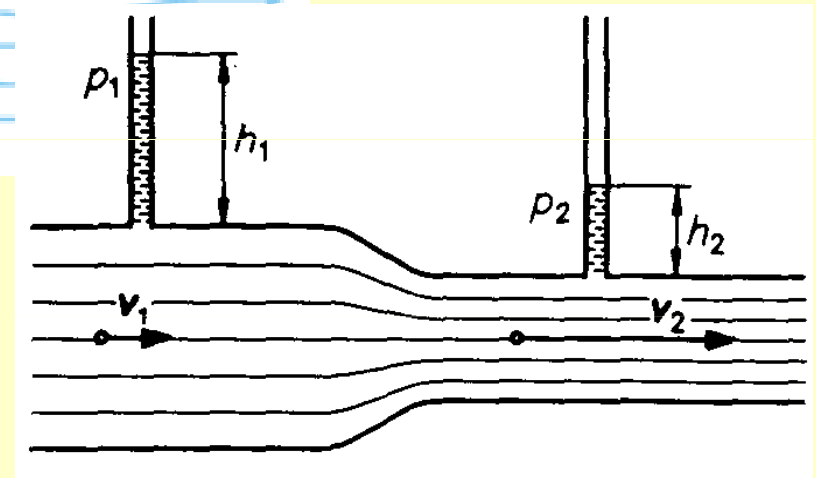
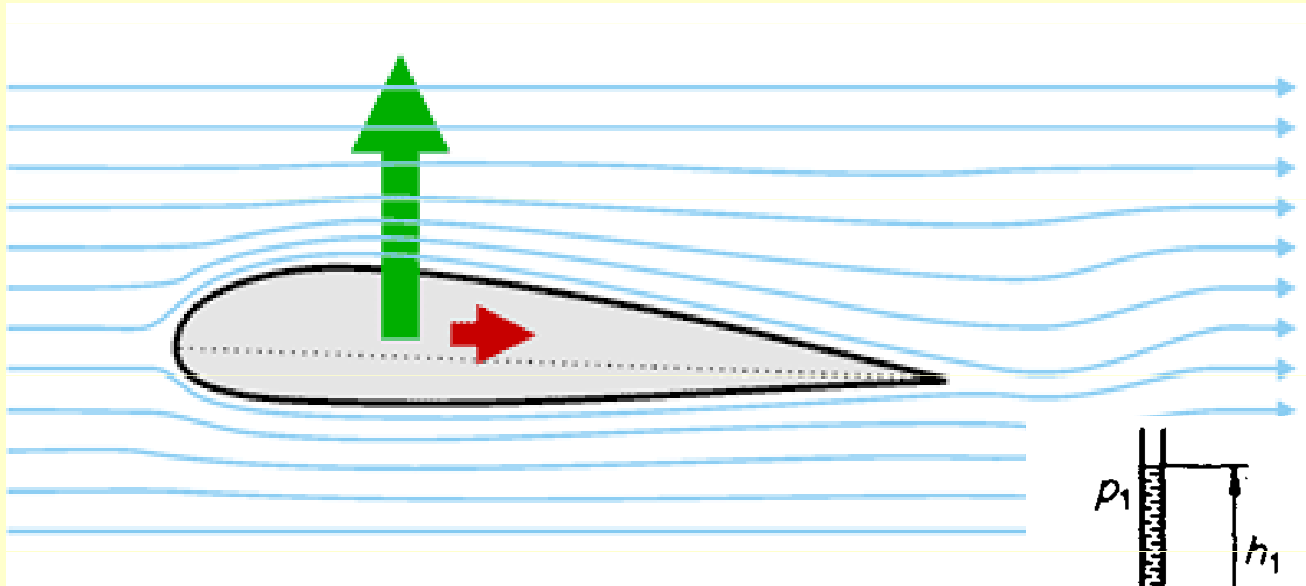
NESMYSL!

Jak vysvětlit vztlak na skloněné rovné desce?

Ve skutečnosti se vzduch nad křídlem pohybuje mnohem větší rychlostí, než by odpovídalo teorii stejného času!

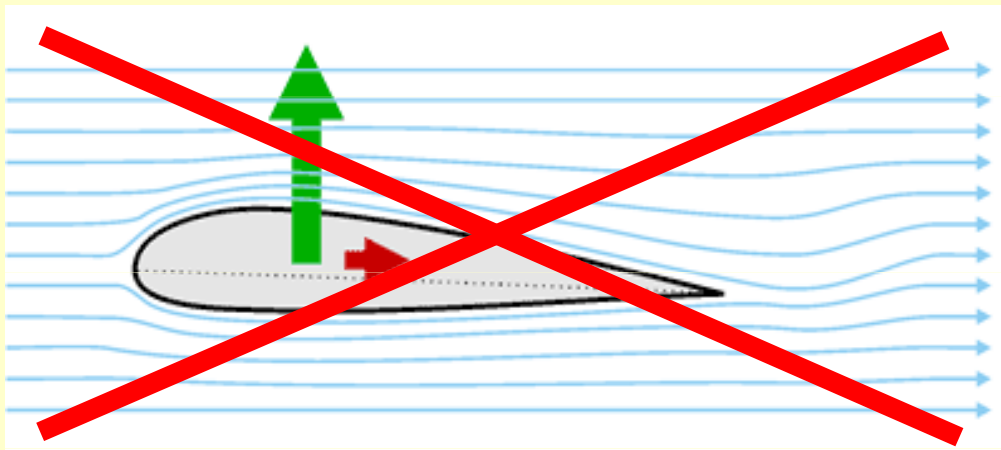
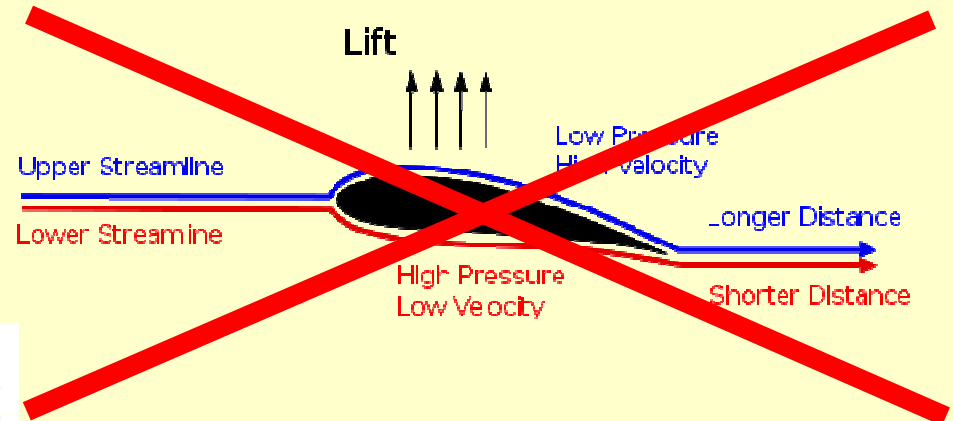
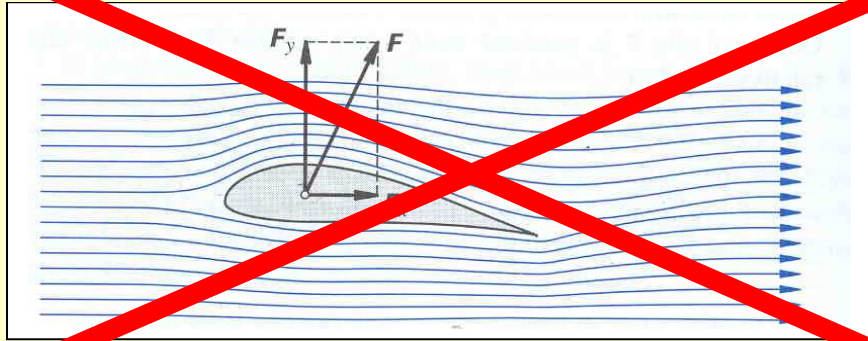


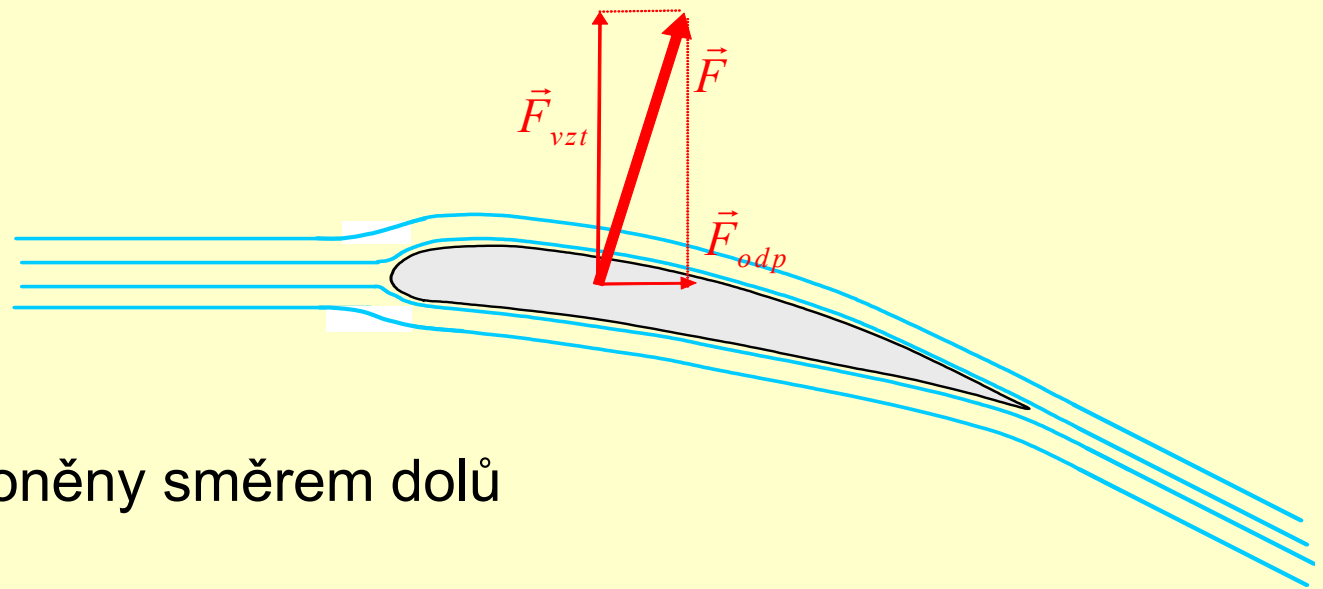
b) Teorie zúženého průřezu



Jak vysvětlit vztlak na skloněné rovné desce?

Všechny dříve uvedené obrázky obtékání křídlového profilu byly chybné!



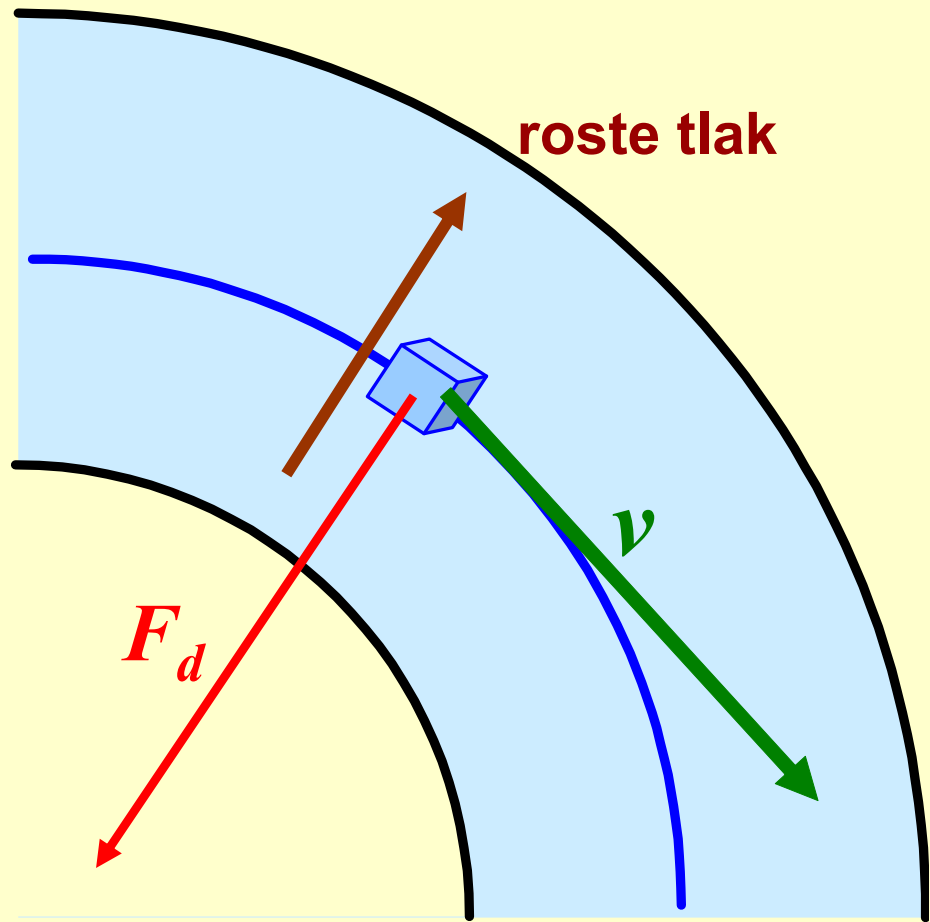


Proudnice jsou odkloněny směrem dolů

Dva jednoduché alternativní způsoby vysvětlení vztlaku na křídle

a) Zatáčení proudnic (dostředivá síla)

Tekutina v zahnuté trubce



atmosférický tlak

roste tlak

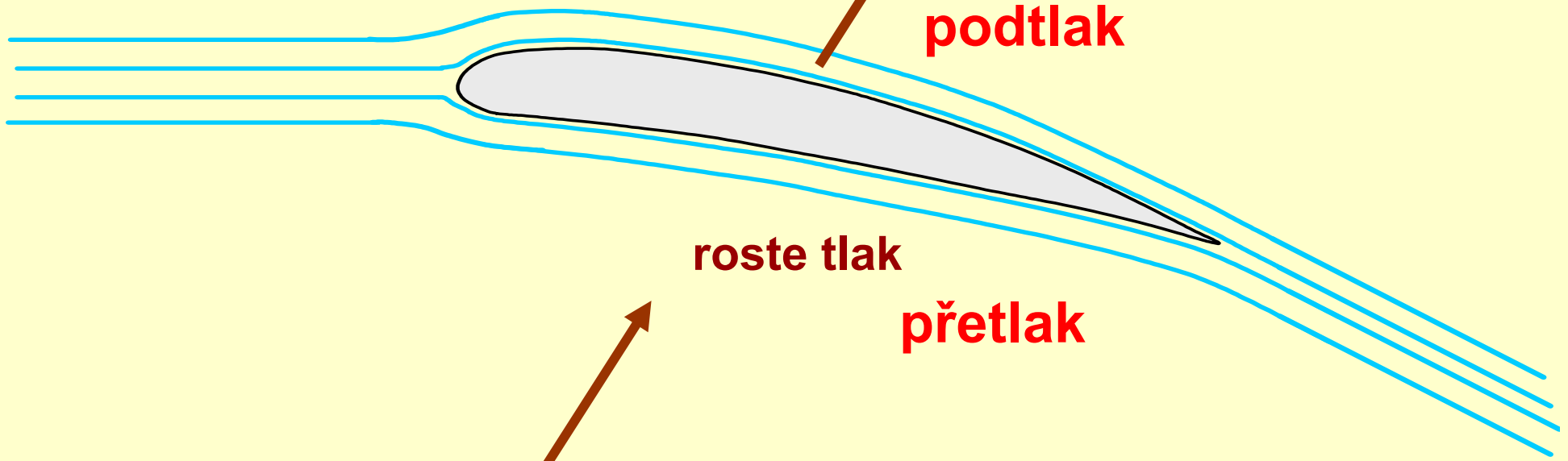
podtlak

roste tlak

přetlak

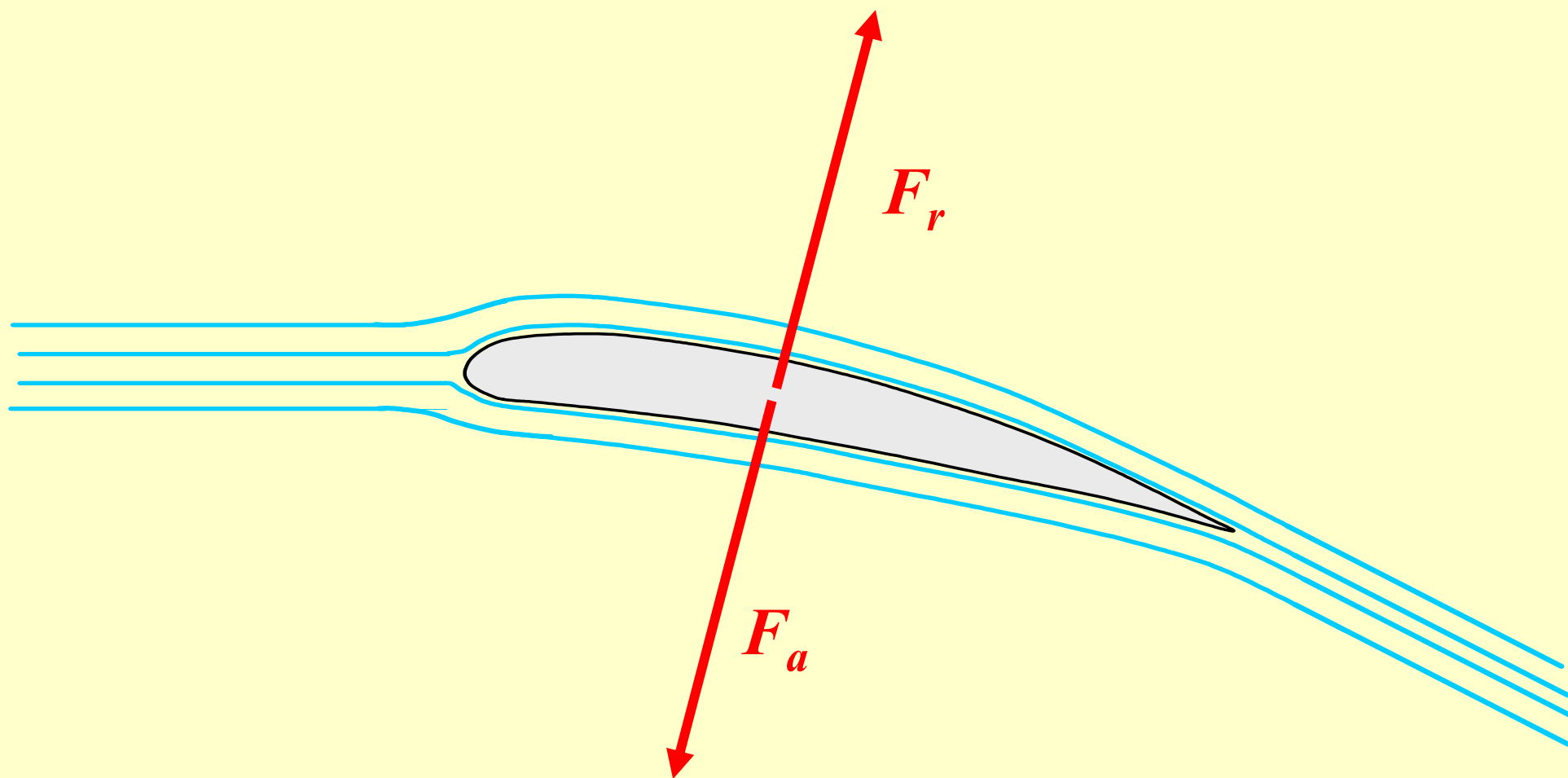
Hotovo!

atmosférický tlak



b) Zatáčení proudnic (3. Newtonův zákon)

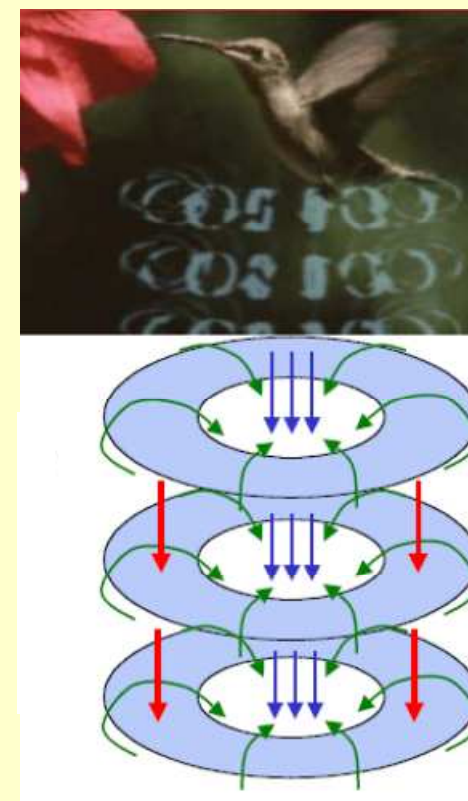
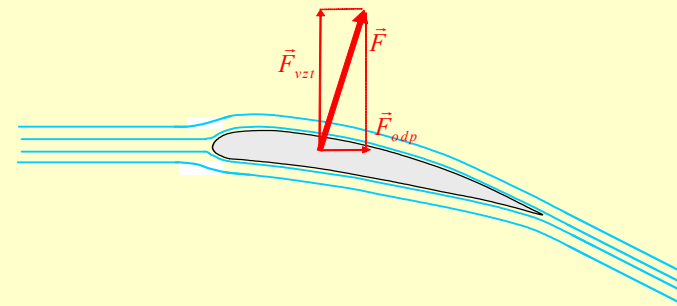
Vzduch tlačí křídlo nahoru - reakce



Křídlo tlačí vzduch dolů - akce

Hotovo!

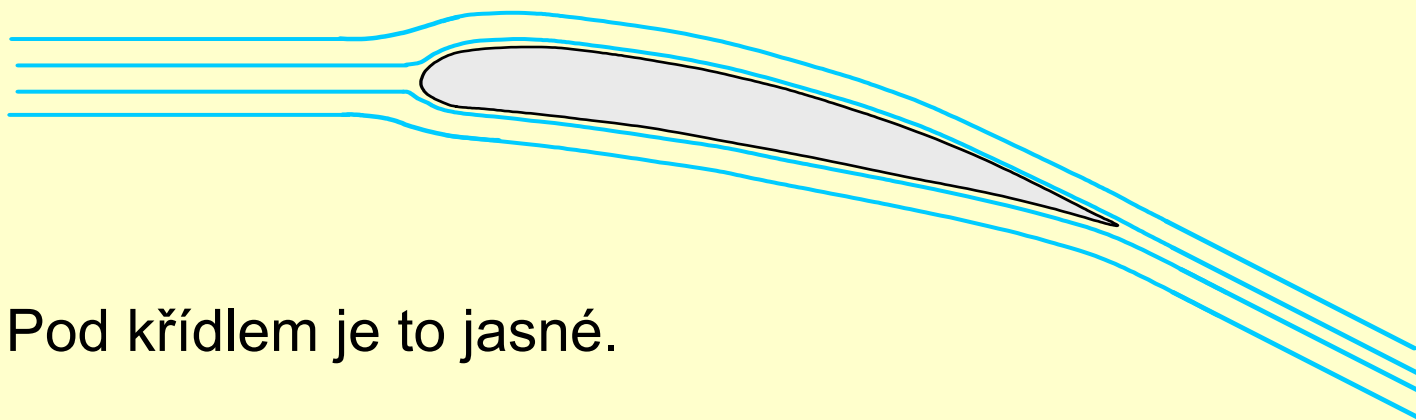
Dynamický vztlak je vždy doprovázen proudem vzduchu dolů



Cokoliv, co odkloní proud vzduchu dolů, má vztlak.

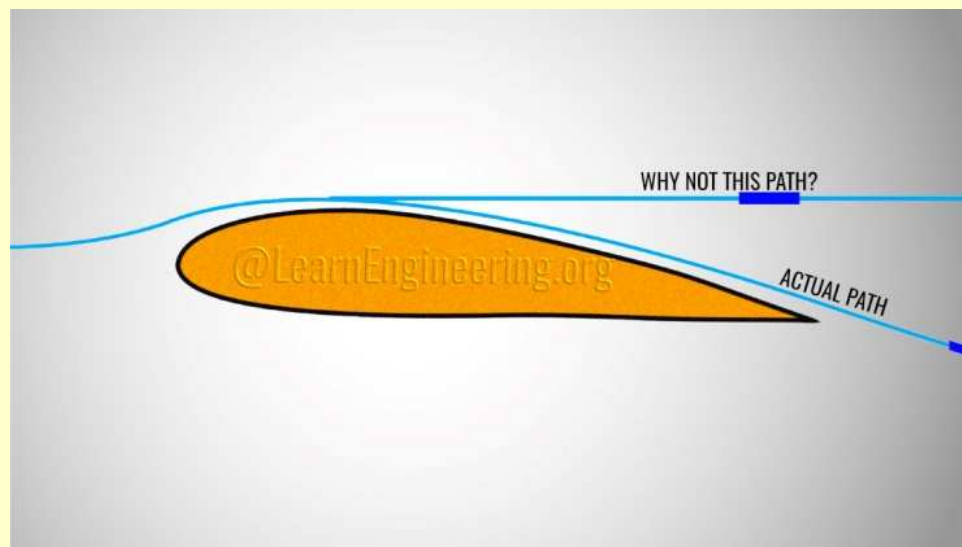
Křídlový profil odklání proud vzduchu dolů.

Proč?

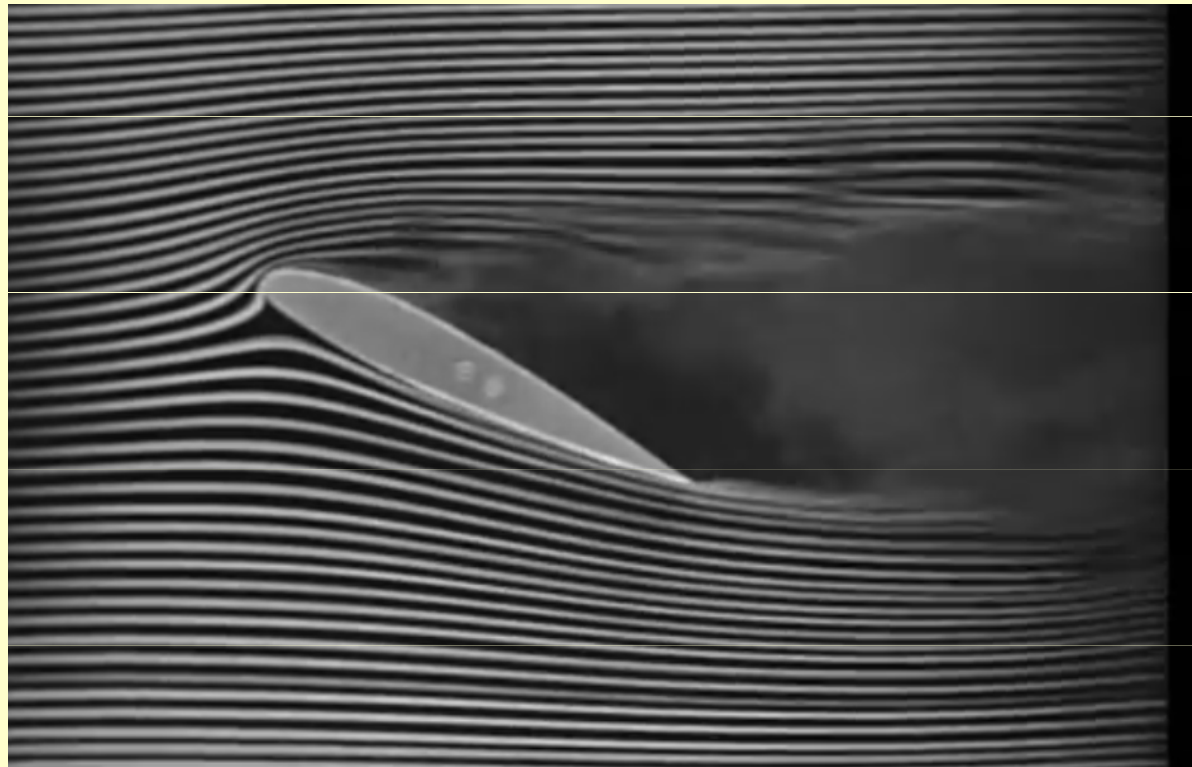


Pod křídlem je to jasné.

Proč se však stáčí vzduch dolů nad křídlem?

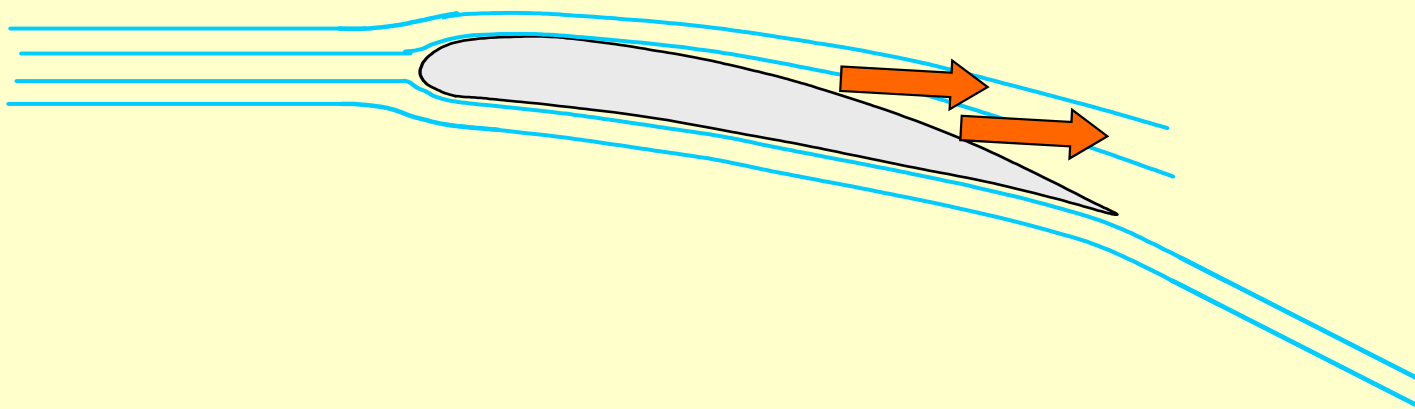


Nemuselo by to tak být a proudnice nad křídlem by mohly dále postupovat vodorovně.

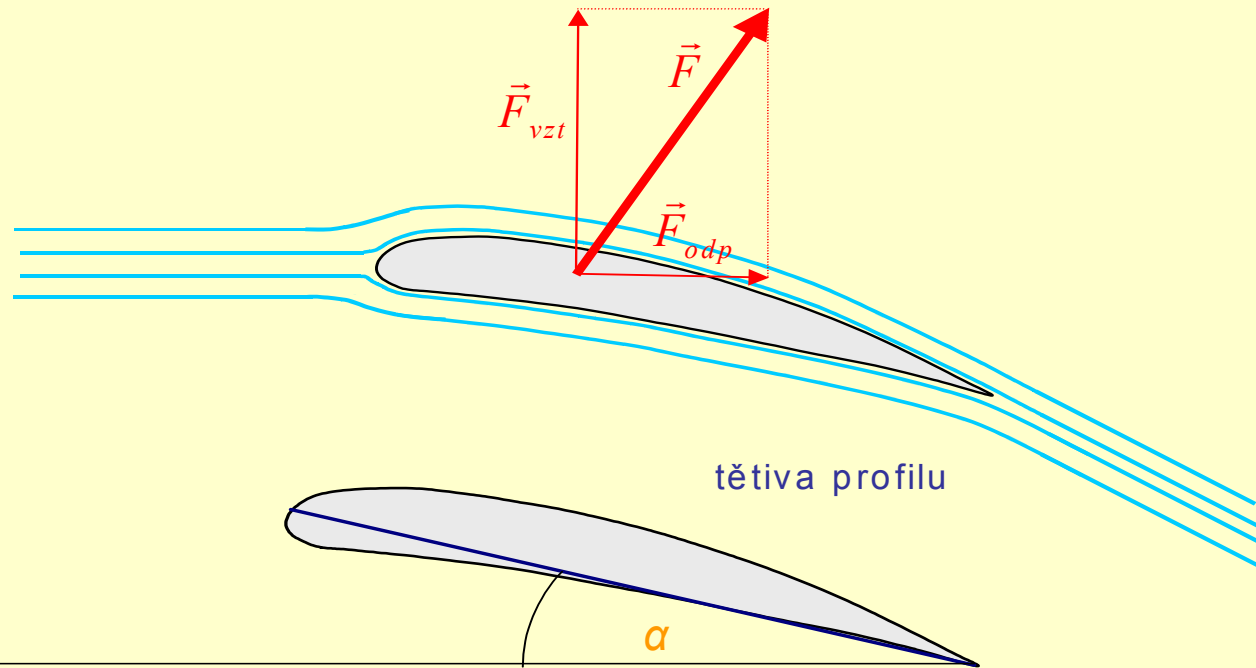


Proudící tekutina se snaží sledovat vypuklý povrch

Coandův efekt



[video](#)

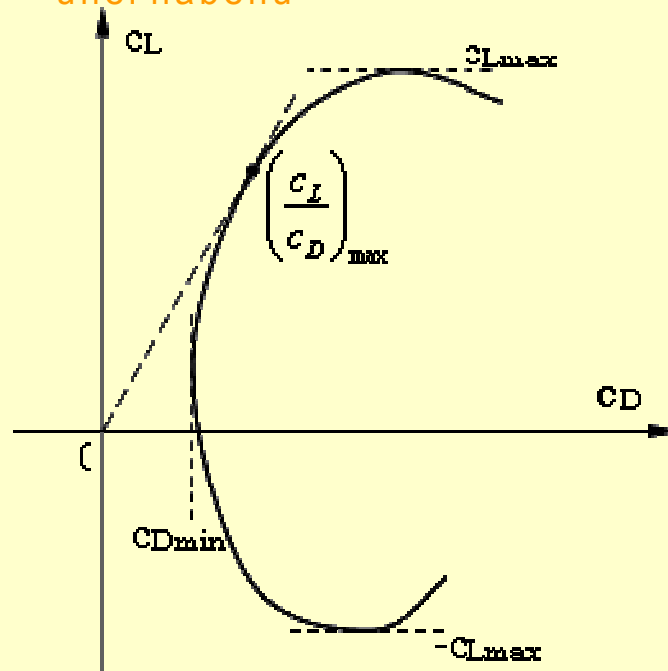


tětiva profilu

α

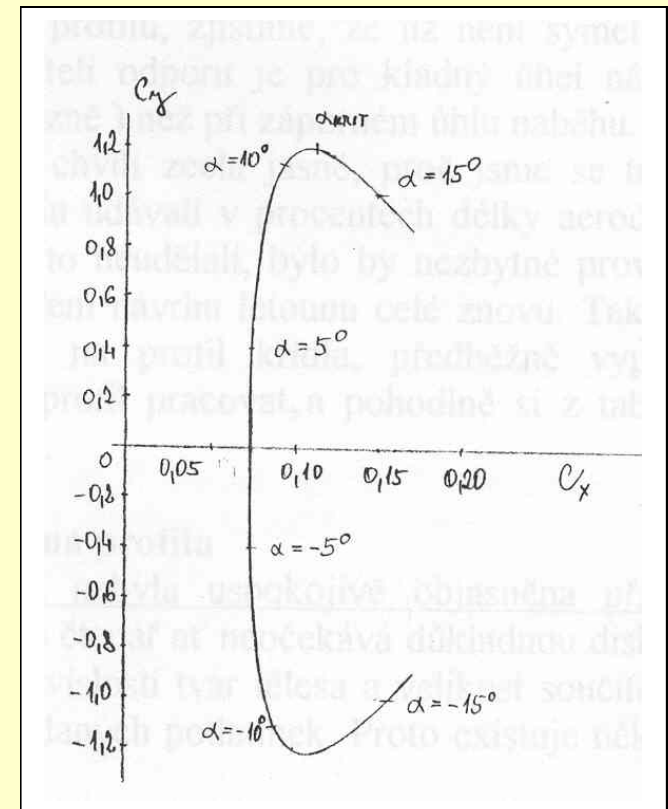
úhel náběhu

polára profilu

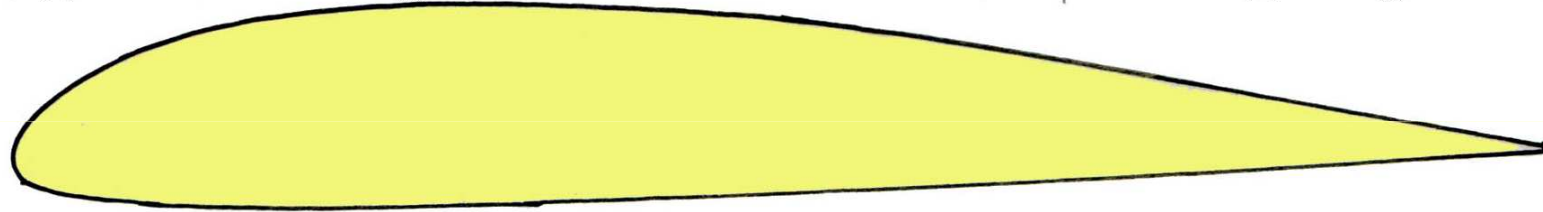


$$F_{odp} = \frac{1}{2} c_x \rho S v^2$$

$$F_{vzt} = \frac{1}{2} c_z \rho S v^2$$

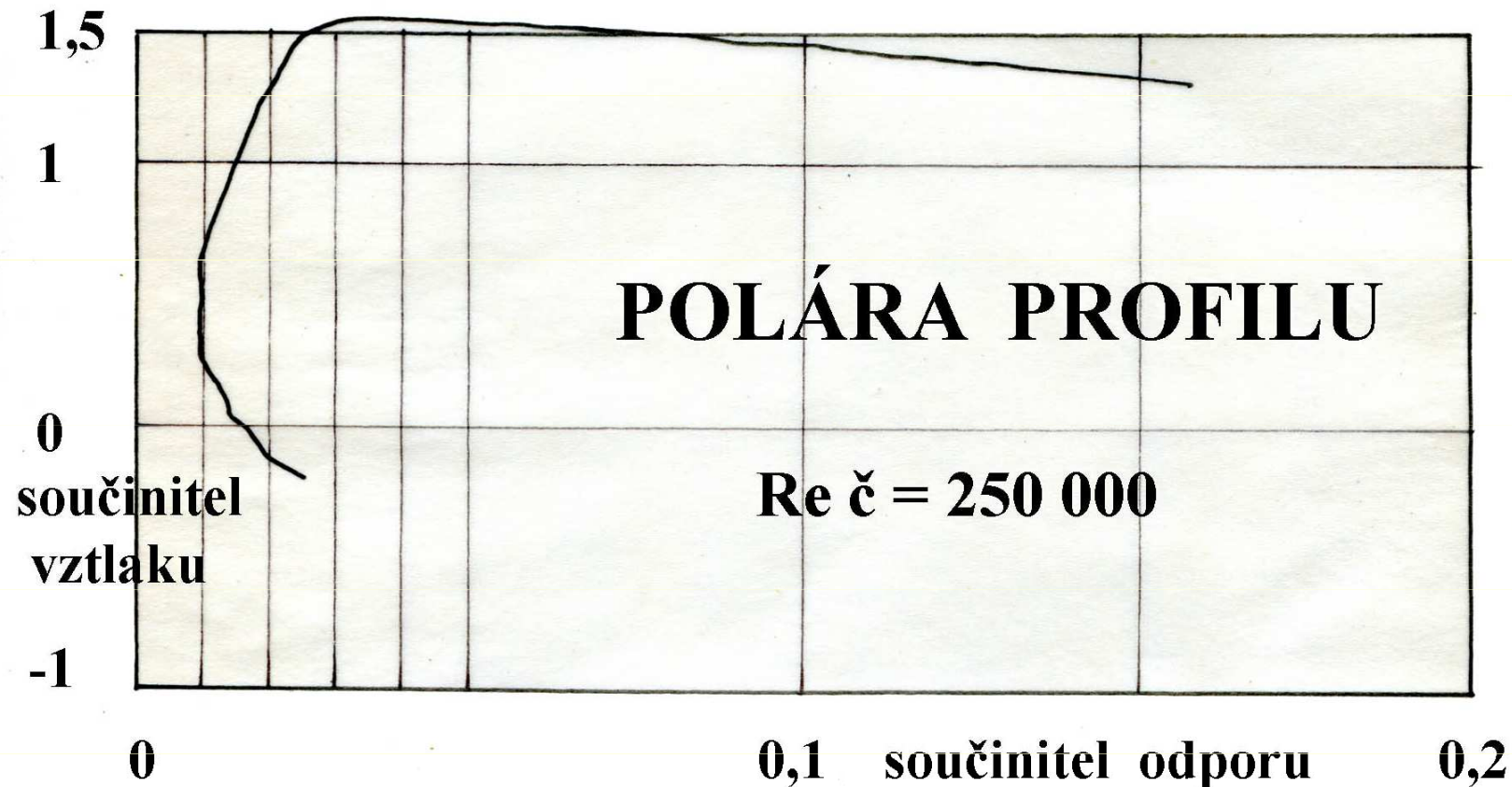


upravený Gö 387 bez klapky

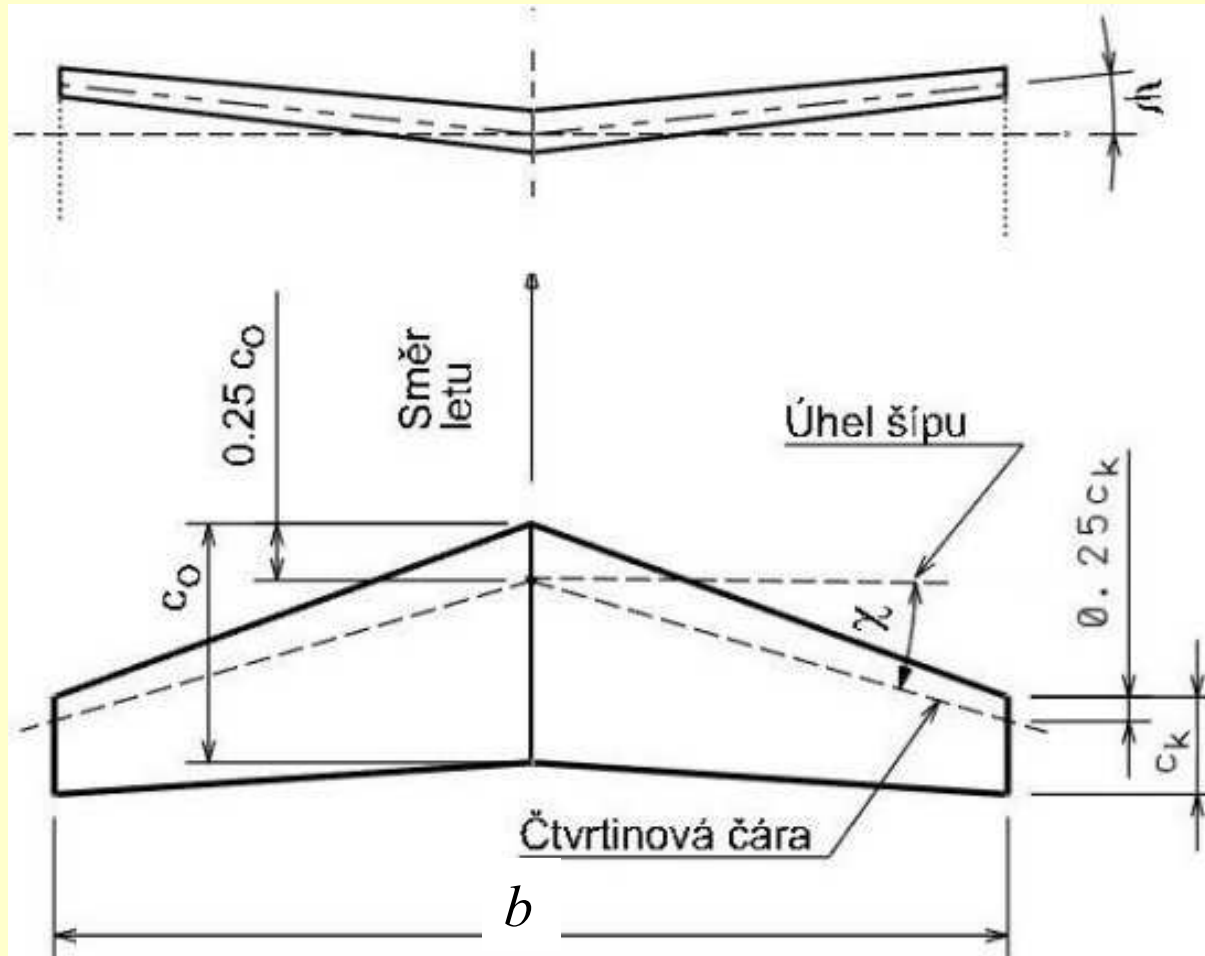


tloušťka 13,3%

prohnutí 3,6%



Geometrie křídla



ψ - vzepětí

b - rozpětí

c - hloubka

štíhlost křídla

$$\lambda = \frac{b}{c}$$

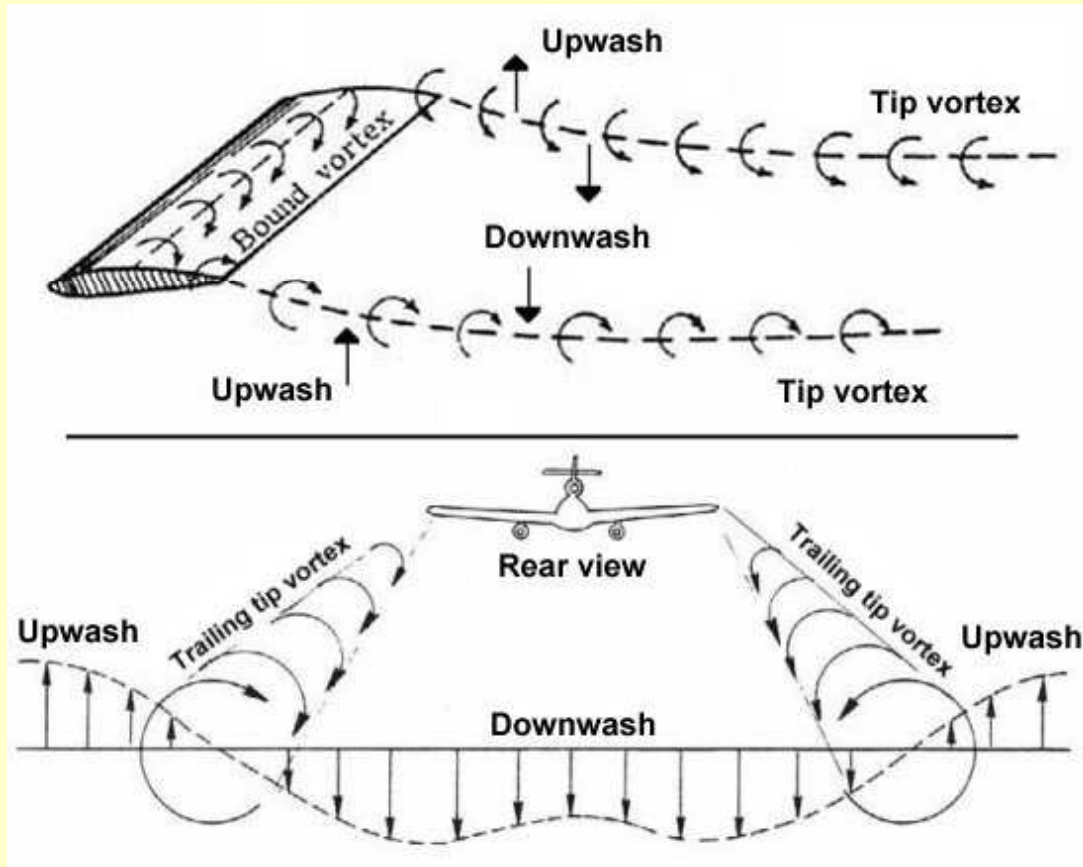
$$\lambda = \frac{b^2}{S}$$

Indukovaný vír a indukovaný odpor



Letem ve formaci se dolet prodlouží o 70%

V formace na Ramzové



Tmavomodrý svět

Airbus A380

Snížení indukovaného odporu

velká štíhlost křídel



winglety



Snížení indukovaného odporu v blízkosti země - Přízemní efekt



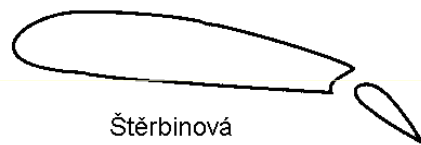
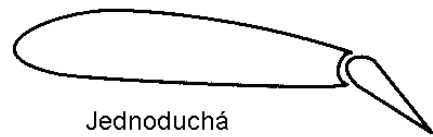
Caspian Sea Monster

[Kaspické-monstrum](#)

Možnosti ovládání vztlaku

úhel náběhu celého letadla

klapky



sloty

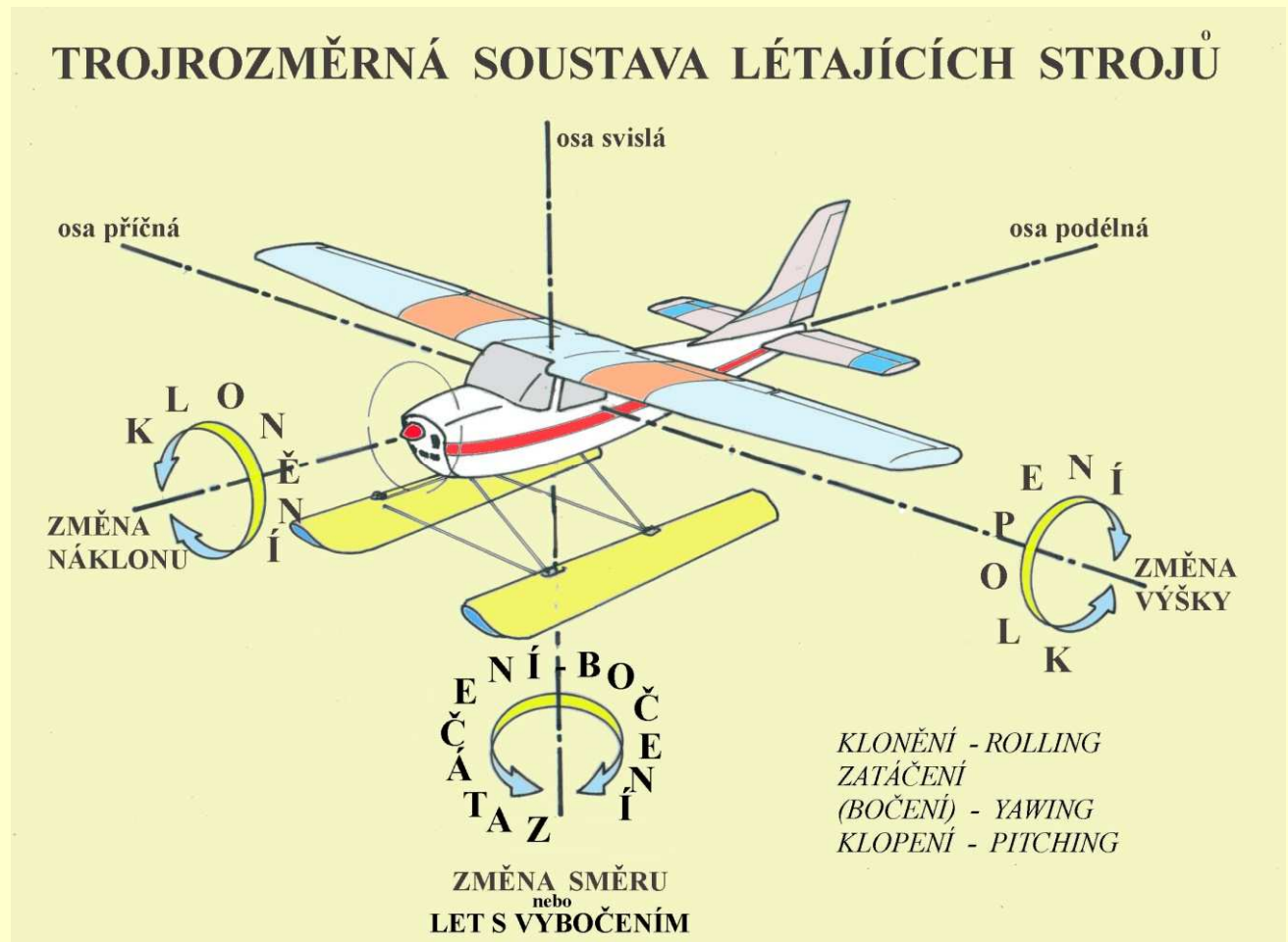


Ovládání letounu

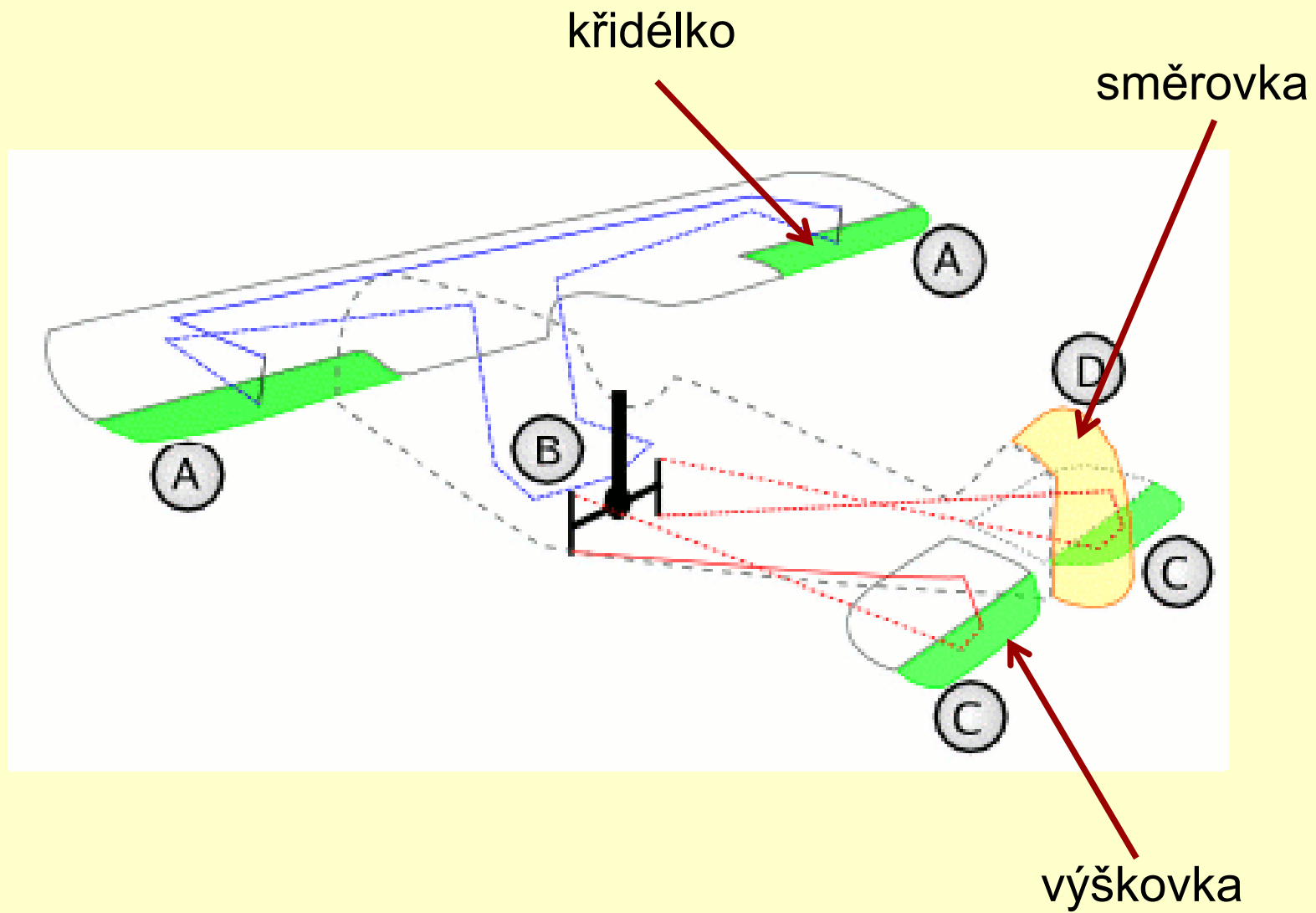
rotace kolem podélné osy - klonění

rotace kolem příčné osy - klopení

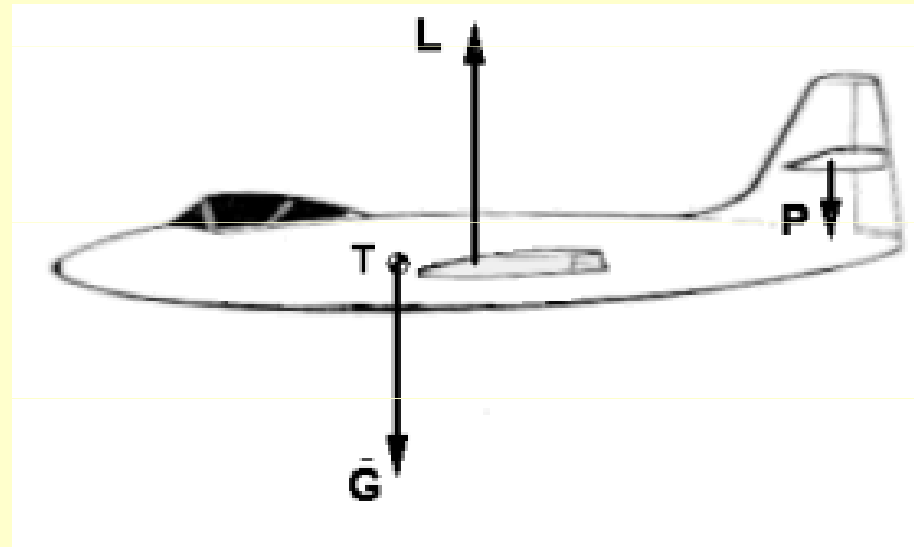
rotace kolem svislé osy – bočení (zatačení)



Ovládání letounu

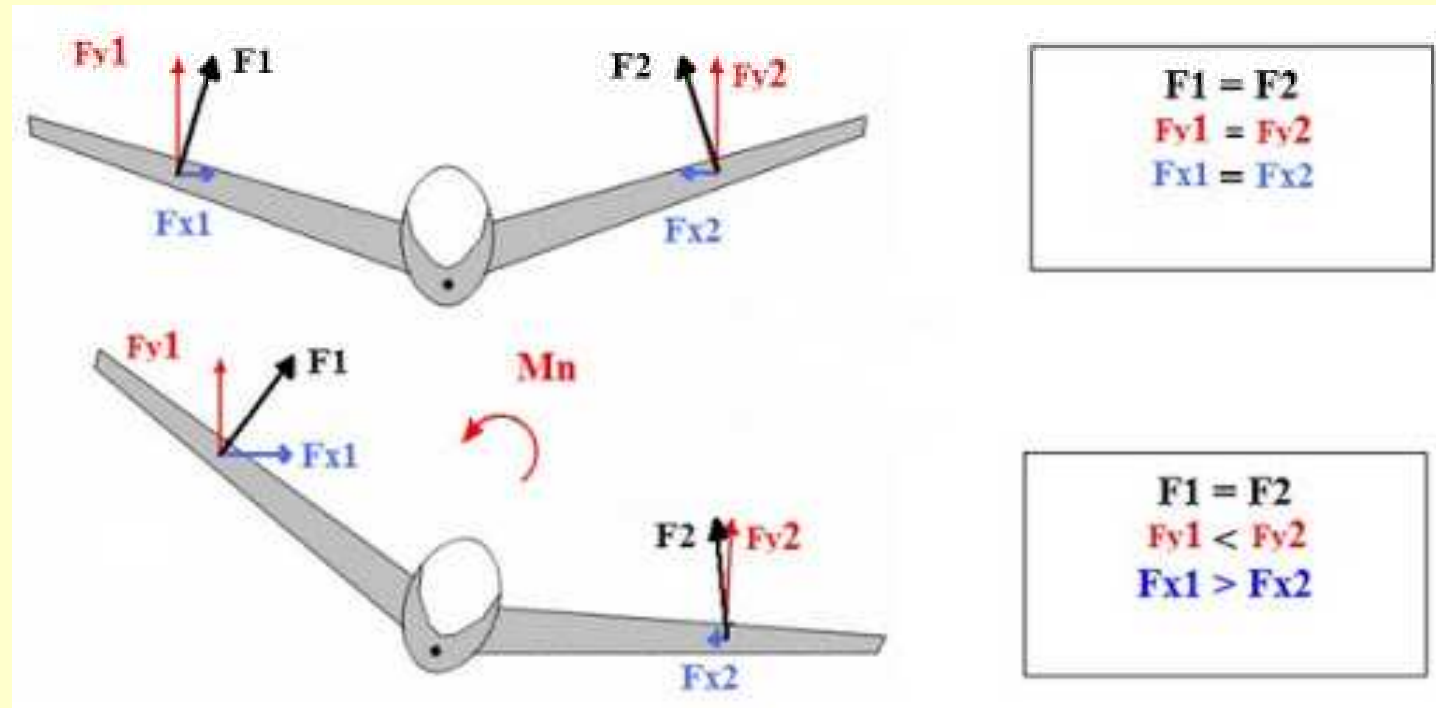


Podélná stabilita (klopení)



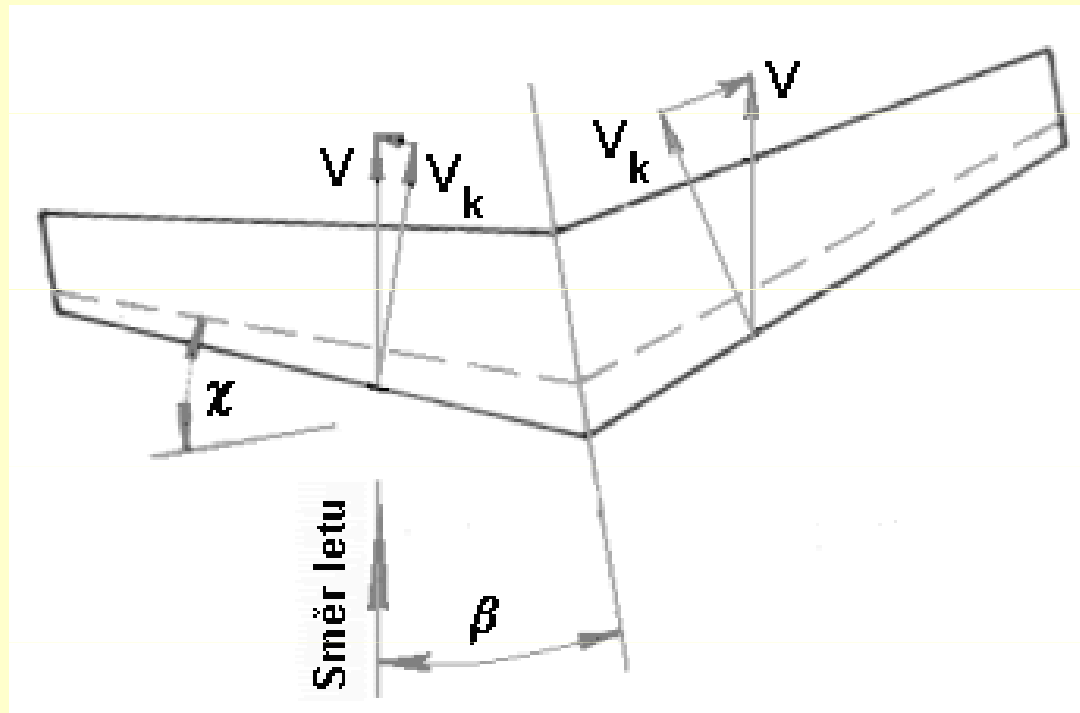
Příčná stabilita (klonění)

Vliv vzepětí



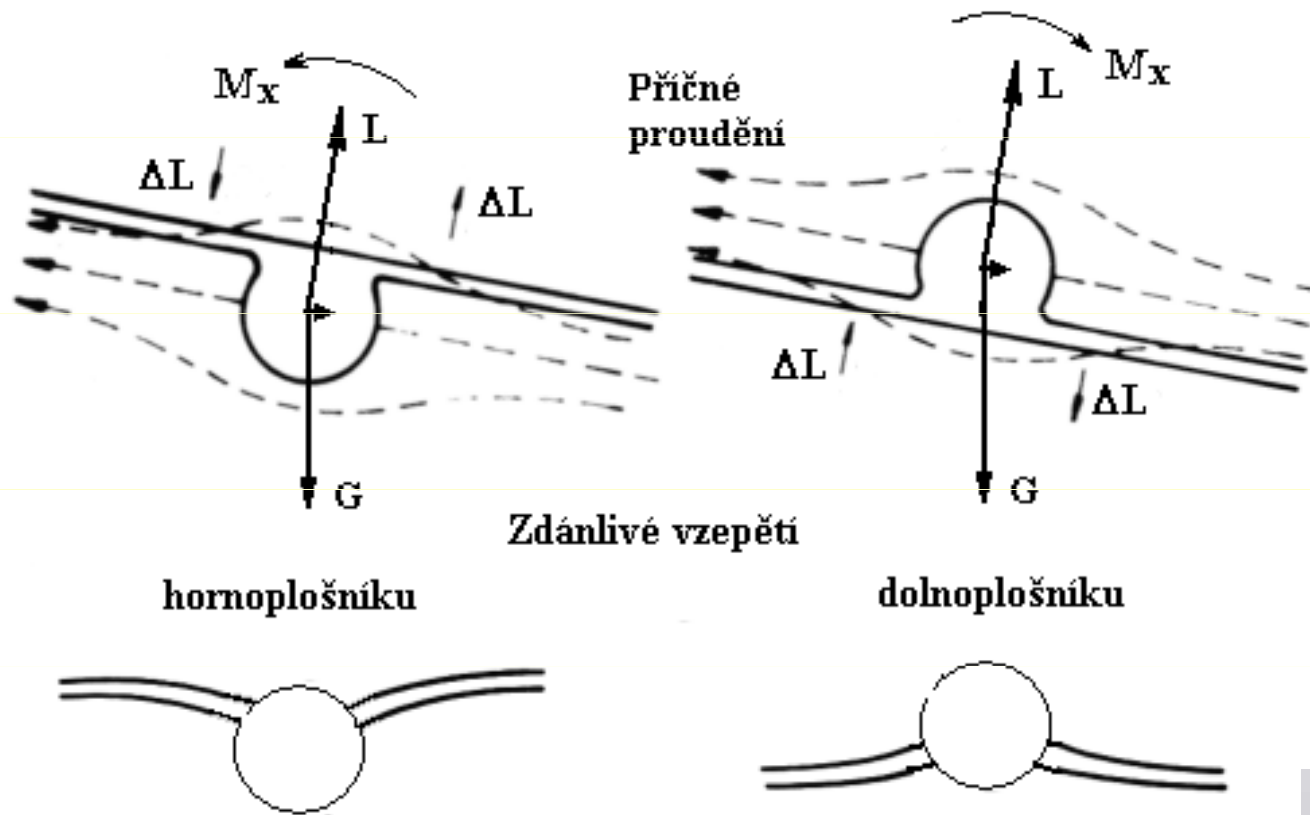
Příčná stabilita (klonění)

Vliv šípu křídla

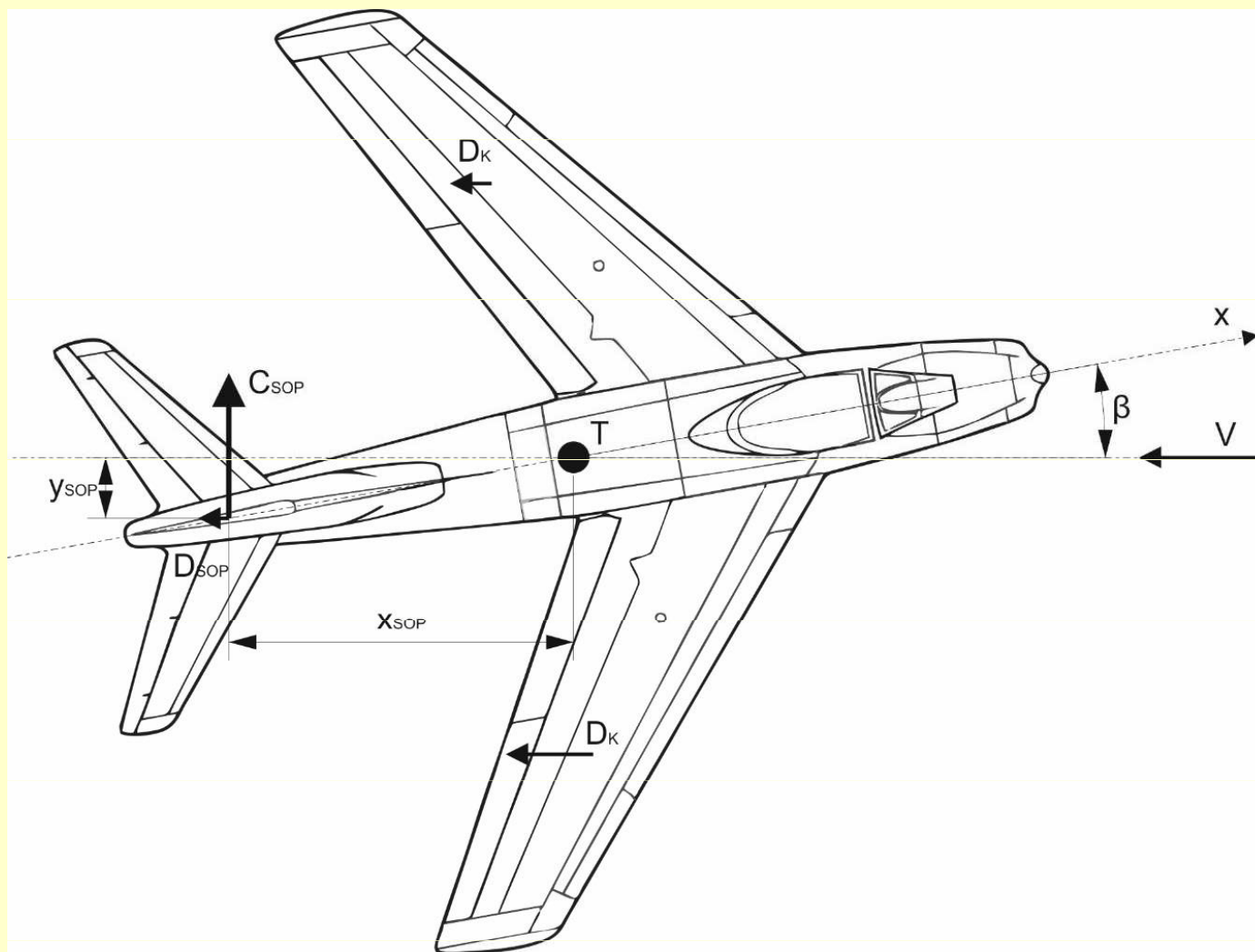


Příčná stabilita

Vliv výškové polohy křídla

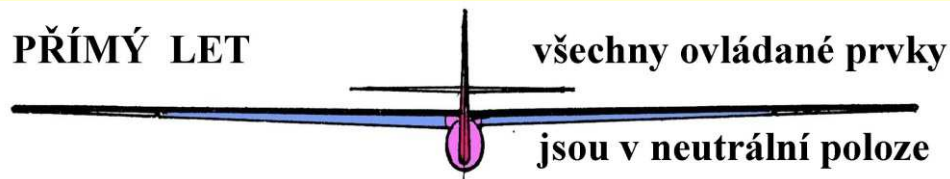


Stabilita vzhledem k zatáčení (bočení)

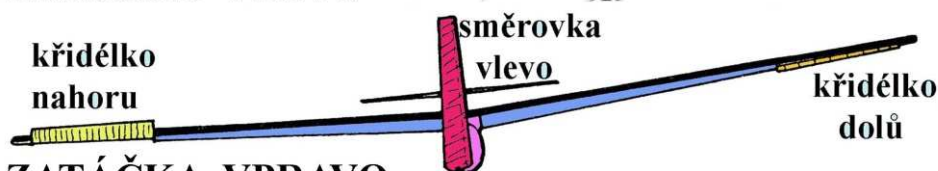


Zatáčka

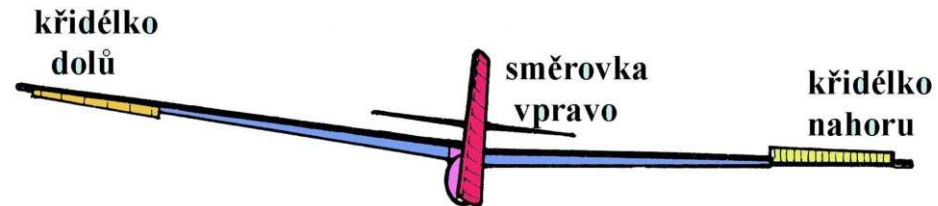
PŘÍMÝ LET



ZATÁČKA VLEVO

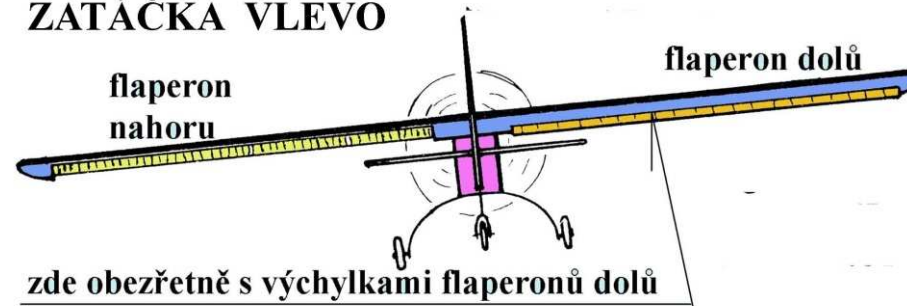


ZATÁČKA VPRAVO

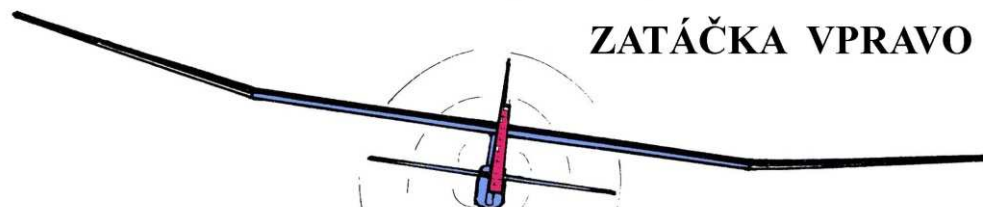


Jako první je výchylka směrovky a pak teprve výchylky křidélek. Po náklonu směrovku do neutrálu.

ZATÁČKA VLEVO



ZATÁČKA VPRAVO



Při zatáčení pouze se směrovkou záleží hodně na její velikosti a výchylce a také na době po jakou tato výchylka trvá.

ideální zatáčka

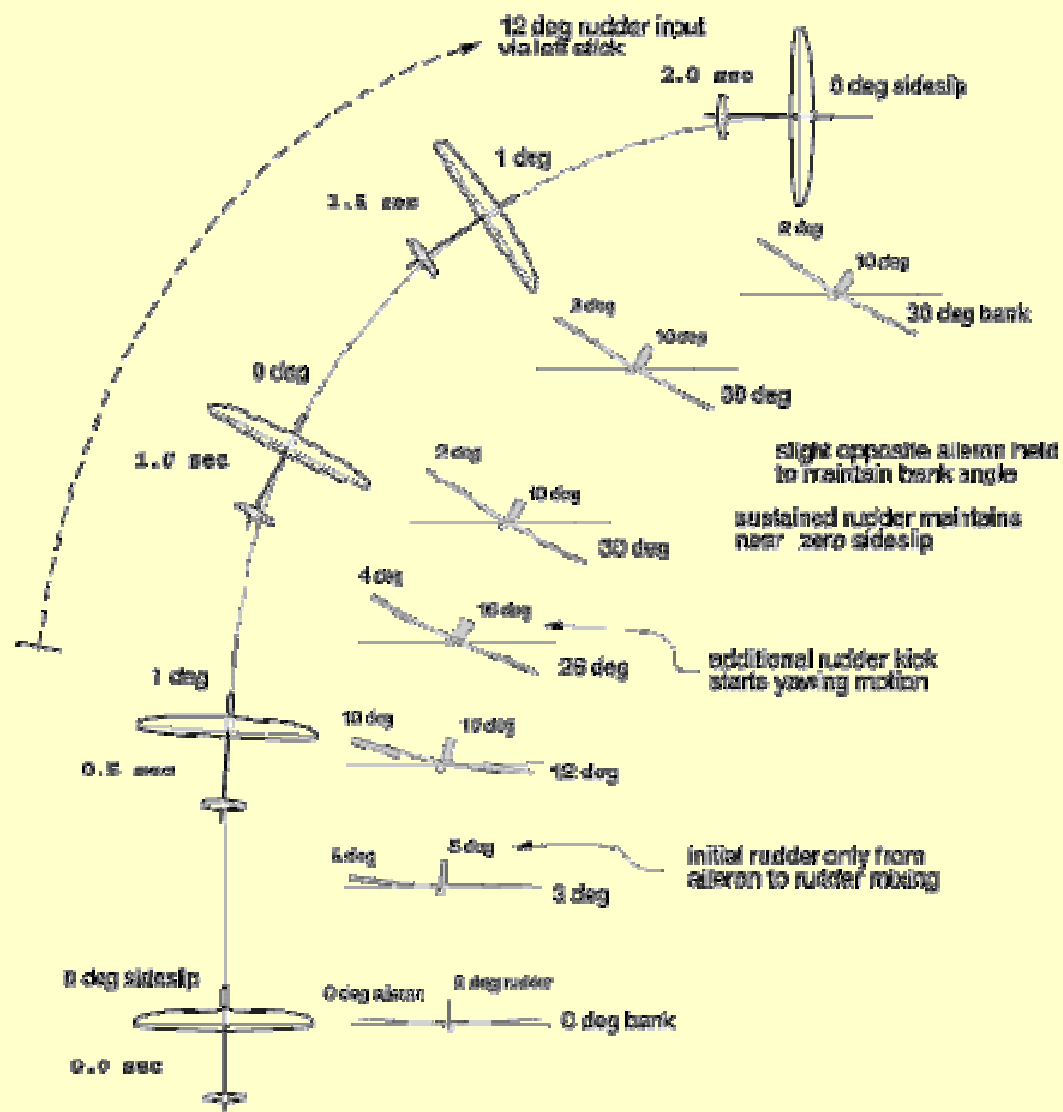


Figure 3b. No sideslip during turn entry and in sustained turn with proper rudder input.

skluzová

směrovka vychýlena
příliš málo

letoun se sune
bokem a křídla jsou
ofukována více
shora

výkluzová

směrovka vychýlena
příliš mnoho

letoun se sune
bokem a křídla jsou
ofukována více
zespodu

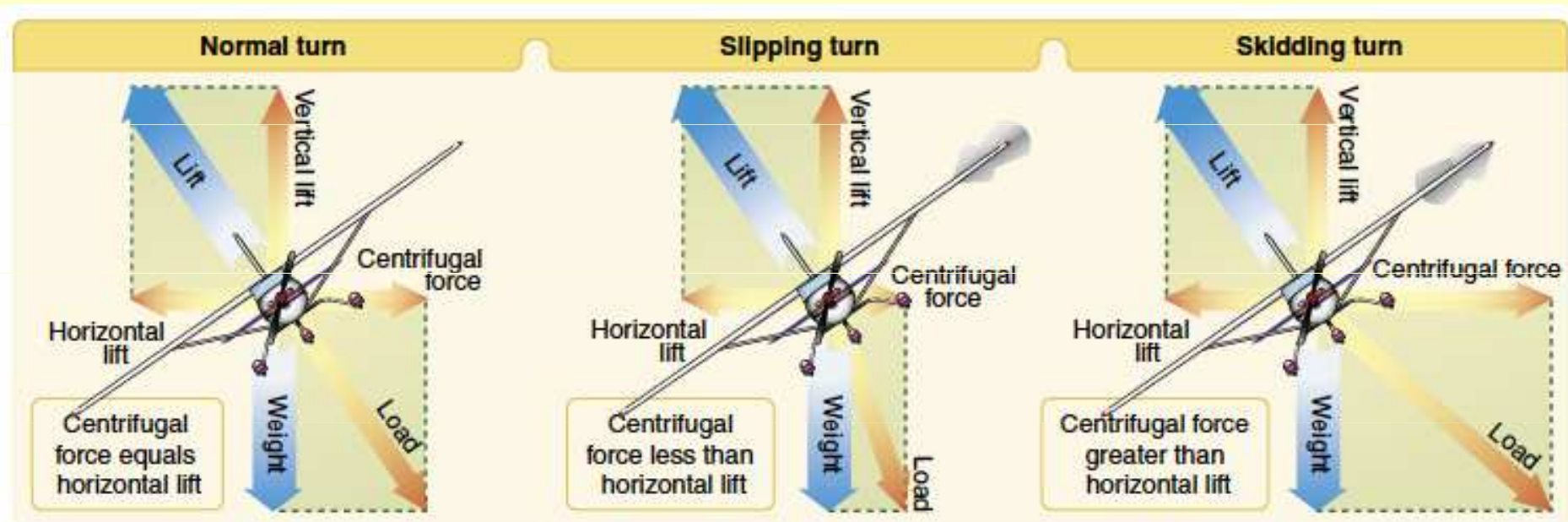


Figure 4-29. Normal, slipping, and skidding turns.

„Centrifugal force“ – odstředivá síla, která by odpovídala ideální zatáčce dle výchytky směrovky.

Zastupitelnost řídících prvků

klonění jako důsledek zatáčení

zatáčení jako důsledek klonění

VÝVRTKA

Z-42; Z-142

Důležité upozornění:

1. Při vybírání vývrtky je nutno **ENERGICKY** **POTLACIT** řídicí páky do **KRAJNÍ POLOHY** bez **POUŽITÍ** **KŘIDÉLEK**.
2. V případě pádu do **NEÚMYSLNÉ VÝVRTKY** s **OTEVŘENÝMI** **VZTLAKOVÝMI** **KLAPKAMI** je nutno při vybírání vývrtky **VZTLAKOVÉ** **KLAPKY** **ZAVŘÍT**.
3. Při vybírání vývrtky po třech a více otáčkách, je na potlačení řídicí páky zapotřebí vyvinout **VĚTŠÍ** **SÍLU** (15 kg a více).

CHYBY PŘI VYBÍRÁNÍ VÝVRTKY

Při nedodržení stanoveného postupu při vybírání vývrtky je nebezpečí, že vývrtka bude vybrána se značným zpožděním. V tomto případě je nutno zachovat následující postup:

1. VRÁTIT NOŽNÍ A RUČNÍ ŘÍZENÍ DO POLDHY ODPOVÍDAJÍCÍ VÝVRTCE.
2. VYBÍRAT STANOVENÝM ZPŮSOBEM.

Při vybírání **NEPŘEKROČIT** pevnostní ani rychlostní **OMEZENÍ** draku ani omezení motoru

Uvedení do vývrtky:
- směrové kormidlo **PLNĚ** **VÝCHYLKA** ve směru otáčení ve vývrtce
- výškové kormidlo **PLNĚ** **PRITAHNOUT**

Režim motoru - valnoběh
Rychlost - 110 km/h

VYBÍRÁNÍ VÝVRTKY

1. Směrové kormidlo **PLNĚ** **VYŠLÁPNOUT** **PROTI** směru otáčení.....

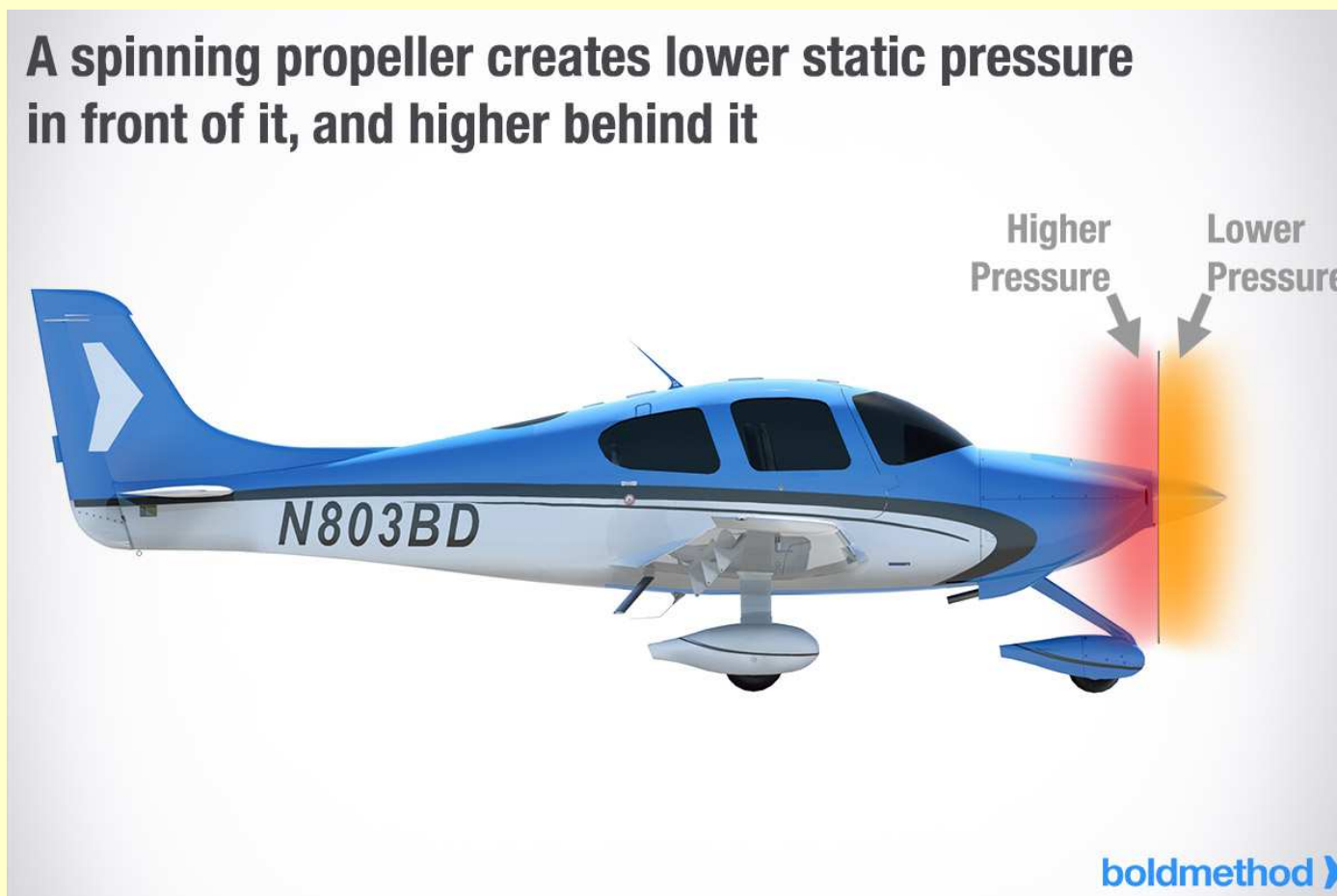
2. po 1/4 - 1/2 otáčky po prázasnahu směrovým kormidlem **PLNĚ** **POTLACIT** řídicí páky bez použití křidélek

3. Po zastavení otáčení: směrové kormidlo - **neutrál**
výškové kormidlo - **plynulým** **pritažením** vybrat letoun ze střemhlavého letu

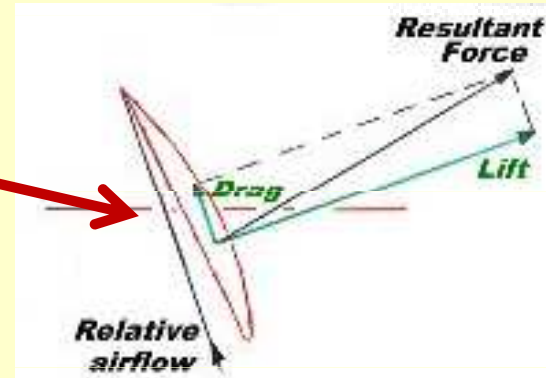
Ztráta výšky s vybíráním na 1 otáčku cca 150 m

Činnost vrtule

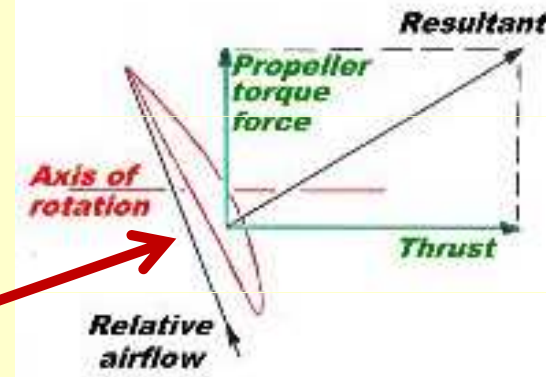
Vrtule má křídlový profil a je orientována tak, že „vztlaková síla“ míří směrem dopředu.



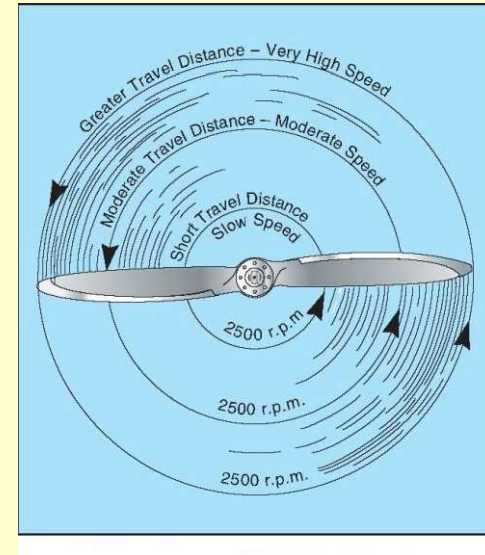
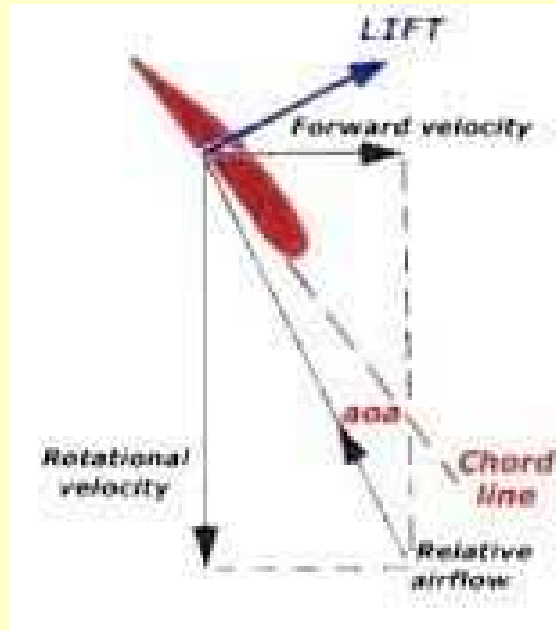
Takhle se síly rozkládaly u křídla



A takhle síly rozkládáme u vrtule



Směr obtékání vrtule je dán složením dopředného pohybu letadla a rotace vrtule



Dopředná rychlost je pro všechny části vrtule shodná, ale obvodová rotační rychlost závisí na vzdálenosti od osy rotace

Překroucení vrtule

$$v = \omega r$$



Překroucení vrtule je optimalizované pro

- dané otáčky vrtule
- danou rychlost letu

Řešení:

- výměna vrtule při jiném režimu letu



Zlín Z 226 –
vlečný letoun

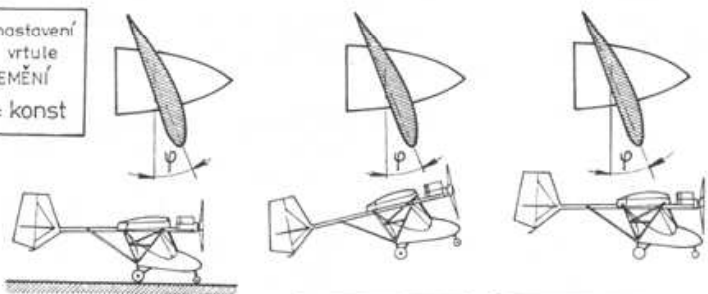
- stavitelné vrtule

Vrtule s pevnými listy

Otáčky vrtule
SE MĚNÍ
 $n_v \neq \text{konst}$



Úhel nastavení
listu vrtule
SE NEMĚNÍ
 $\varphi = \text{konst}$



VZLET

STOUPÁNÍ

MAX. RYCHLOST

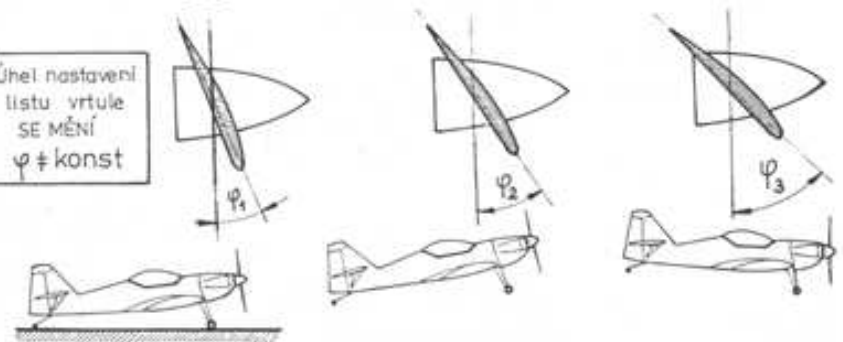
Chování vrtule s pevnými listy při různých letových režimech

Stavitelná vrtule

Otáčky vrtule
SE NEMĚNÍ
 $n_v = \text{konst}$



Úhel nastavení
listu vrtule
SE MĚNÍ
 $\varphi \neq \text{konst}$



VZLET

STOUPÁNÍ

MAX RYCHLOST

Chování stavitelné vrtule při různých letových režimech

záporný úhel náběhu – brzdění vrtulí

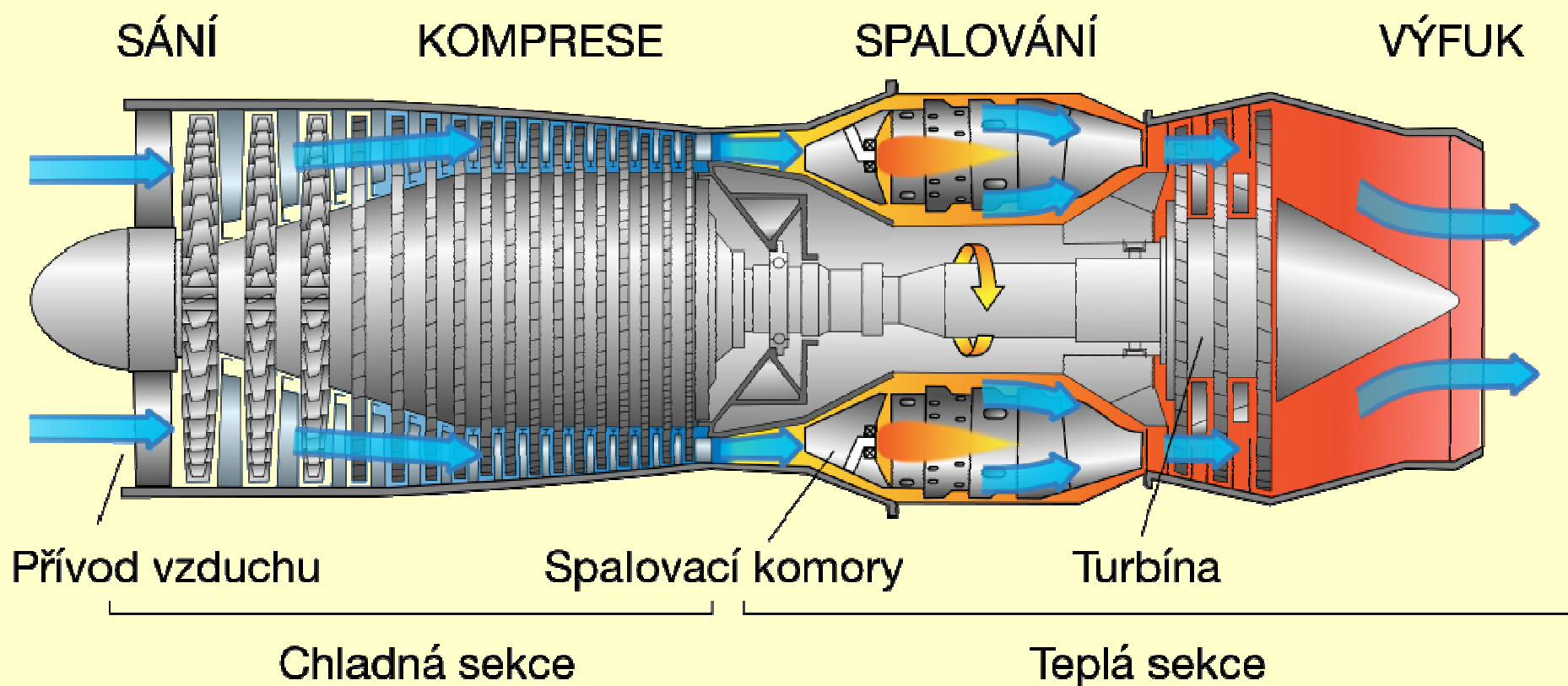
poloha „do praporu“



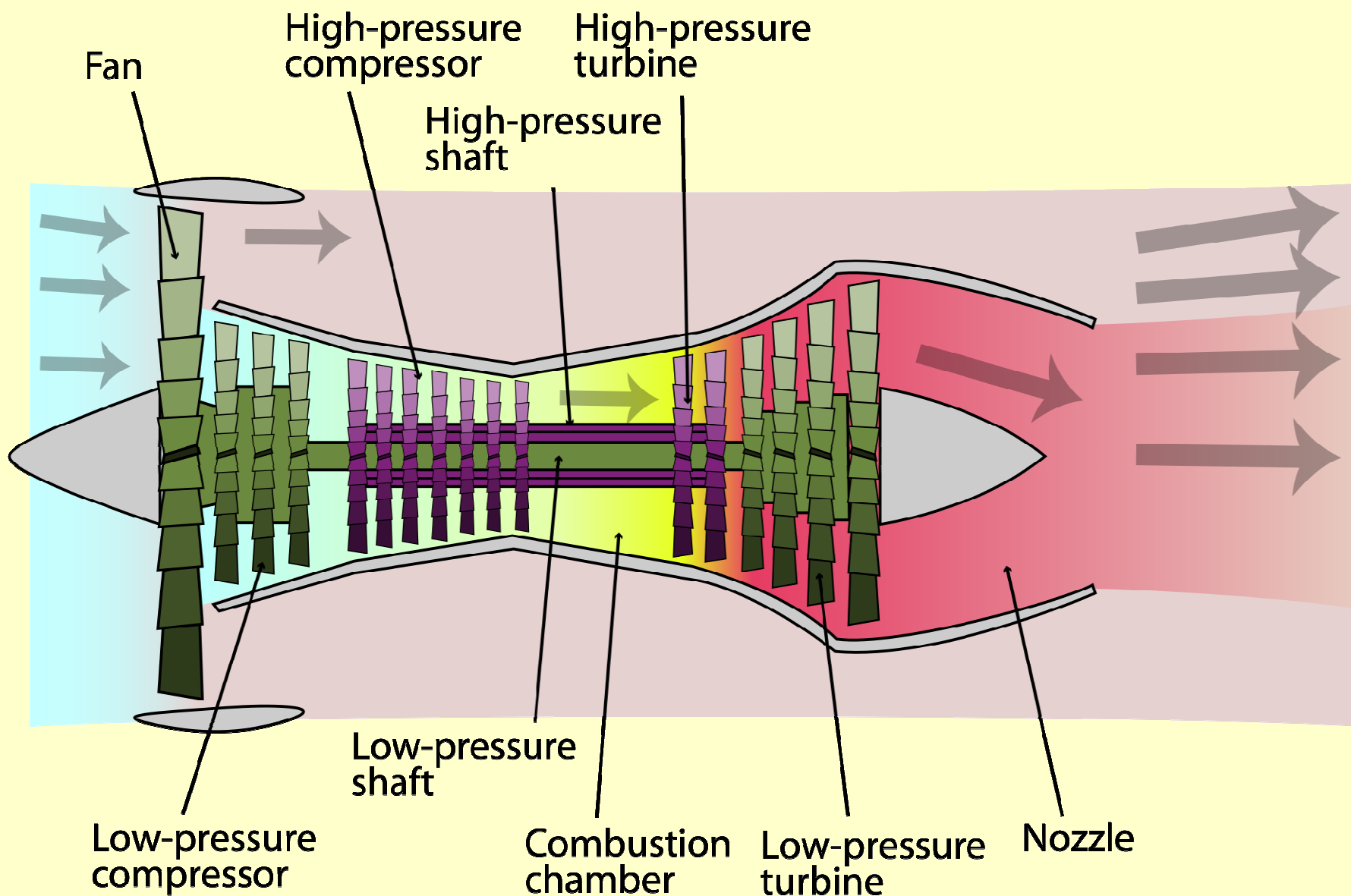
Někdy se používá překroucení u nosných křídel – u trupu je úhel náběhu větší.

Bezpečnostní prvek – nejprve dojde ke ztrátě vztlaku u trupu, ale díky křidélkům na koncích křídel je letoun stále říditelný.

Proudový motor



Dvouproudový motor



Vrtulník

nosný rotor

**klonění a klopení
+ zdroj vztlakové síly**

vyrovnávací rotor

zotáčení (bočení)



stabilizační křídélko

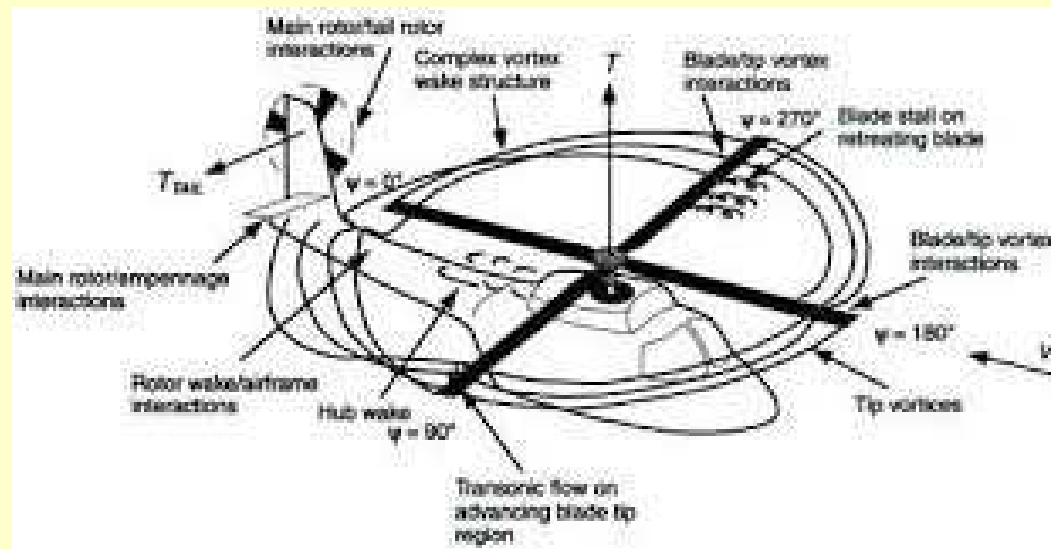
Kolektivní a cyklické řízení

„Kolektiv“ – páka v levé ruce, 1 stupeň volnosti
+ rukojeť plynu

změna úhlu náběhu na všech listech nosného rotoru současně

„Cyklika“ – páka v pravé ruce, 2 stupně volnosti

změna úhlu náběhu na jednotlivých listech nosného rotoru cyklicky

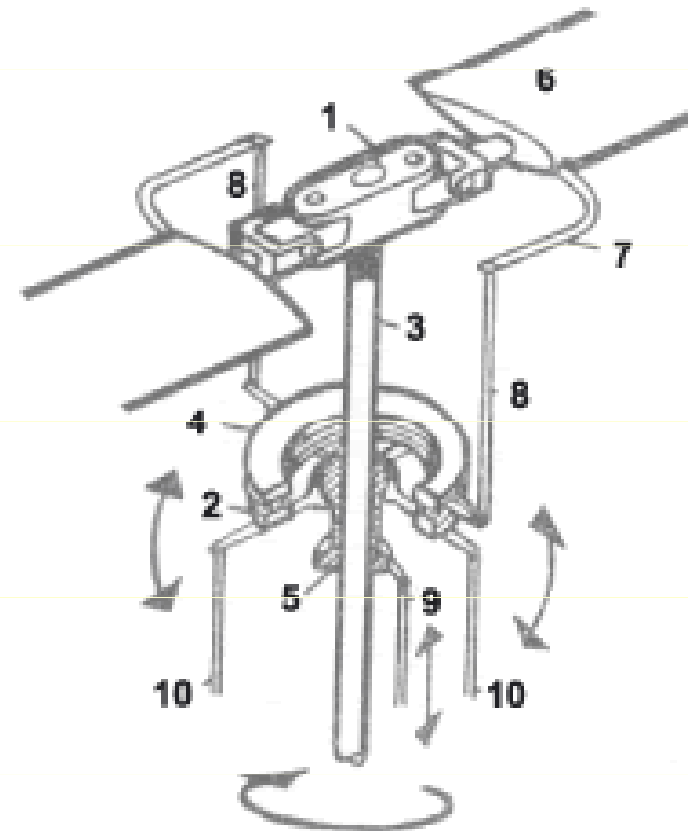


vymávnutí a předstih

pedály

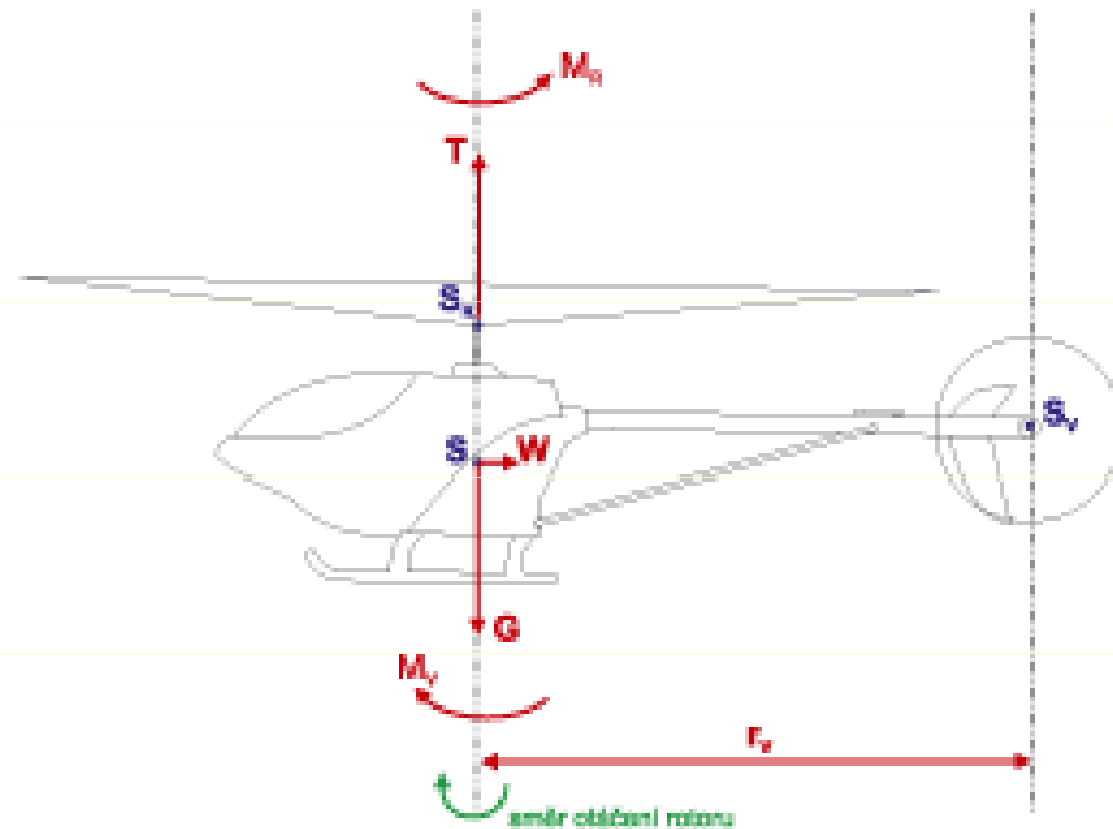
změna úhlu náběhu na vyrovnávacím rotoru

Princip funkce desky cyklíky



- 1 - rotorová hlava
- 2 - spodní (výkyvný) prstenec desky cyklíky
- 3 - hlavní hřídel rotoru
- 4 - horní (otáčející se) prstenec desky cyklíky
- 5 - suvné uložení
- 6 - list nosného rotoru
- 7 - ovládací páka rotorového listu
- 8 - táhlo ovládní úhlu náběhu rotorových listů
- 9 - táhlo ovládní kolektivu
- 10 - táhla ovládní klonění a klopní

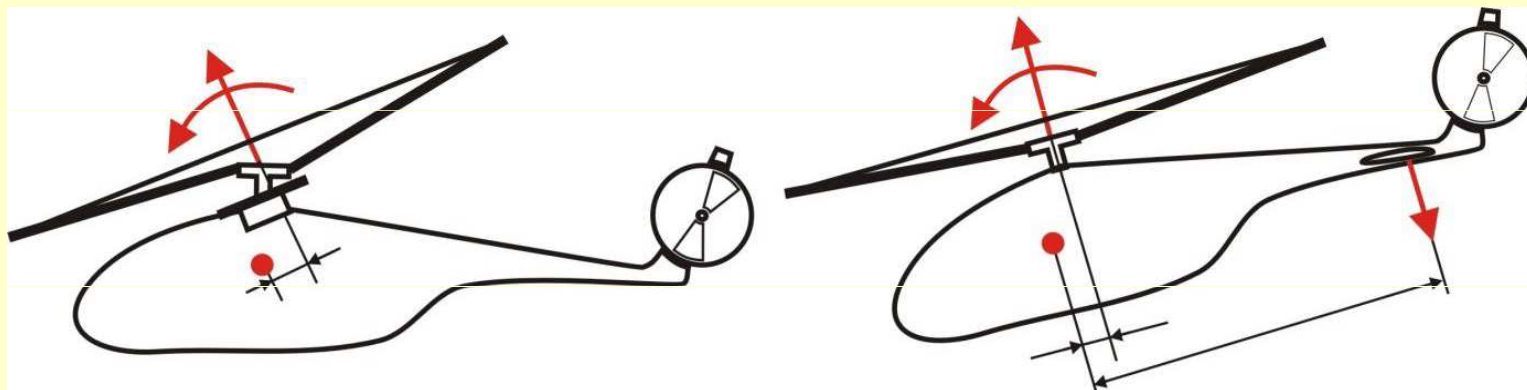
Rozložení sil na vrtulníku při ustáleném viseň



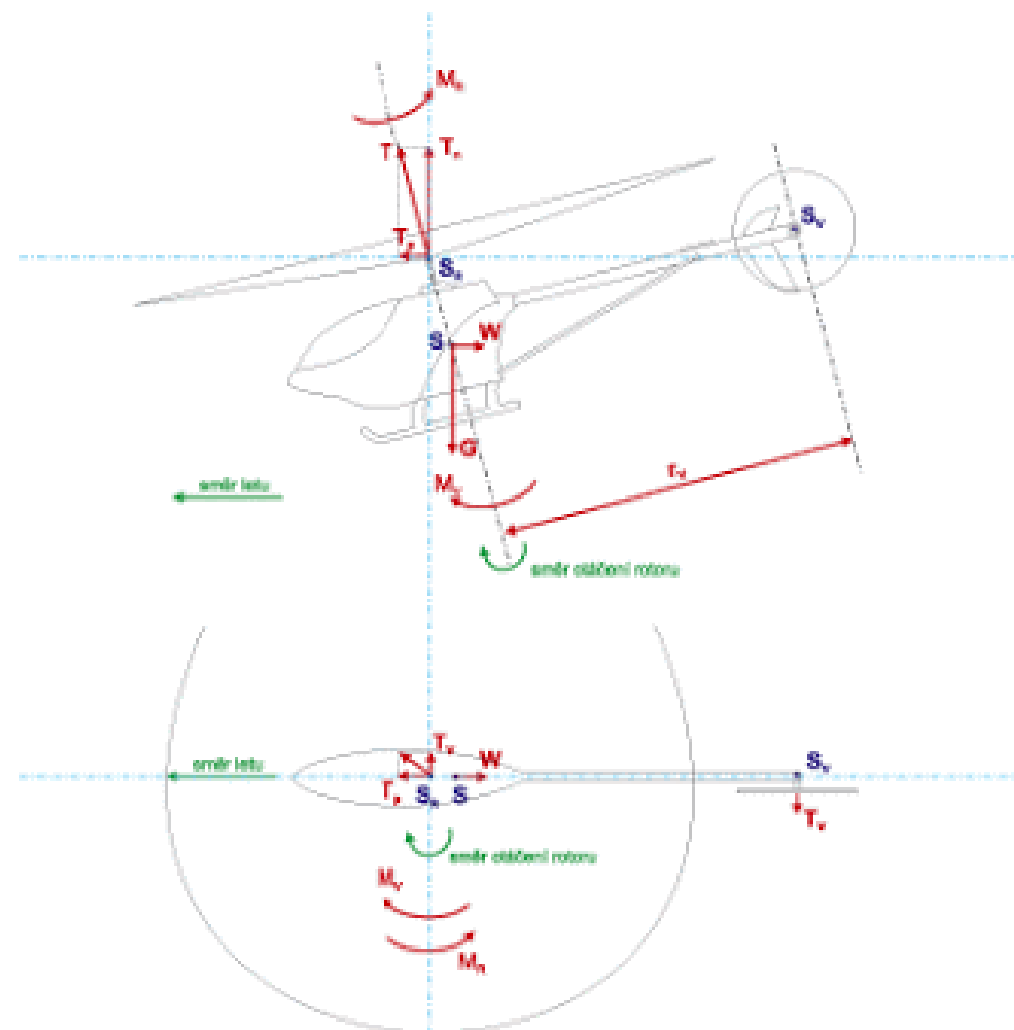
- | | |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| G - tíha modelu | S_v - střed vyrovnávacího rotoru |
| T - tah nosného rotoru | T_v - tah vyrovnávacího rotoru |
| M_n - reakční moment rotoru | r_v - "rameno" vyrovnávacího rotoru |
| S - těžiště vrtulníku | M_y - vyrovnávací moment ocasního rotoru |
| S_m - Střed nosného rotoru | W - odpor draku modelu |

Při ustáleném viseň platí $T = G$ a $M_n = M_y = T_v \cdot r_v$, tj. tah nosného rotoru je přesně v rovnováze s tíhou modelu a reakční moment rotoru je přesně vyrovnáván tahem vyrovnávacího rotoru působícím na rameni r_v vůči těžišti modelu.

Dopředný let



Rozložení sil na vrtulníku v dopředném letu



G - tíha modelu
T - ťah nosného rotoru
 T_n - nosná složka ťahu
 T_p - pohonná složka ťahu
 M_n - reakčný moment rotoru
S - ťažišťa vrtulníku
 S_n - ťažišťa nosného rotoru

S_n - ťažišťa vyrovnávacieho rotoru
 T_r - ťah vyrovnávacieho rotoru
 r_r - "rameno" vyrovnávacieho rotoru
 M_b - vyrovnávací moment ocasného rotoru
W - odpor dráku modelu

Pri ustálenom doprednom letu platí $T_n = G$, $T_p = W$ a $M_n = M_b = T_p \cdot r_r$, t.j. zvislá složka ťahu nosného rotoru je v rovnováhe s tíhou modelu, vodorovná složka ťahu T_p je v rovnováhe s odporom dráku vrtulníku a reakčný moment rotoru je vyrovnávaný ťahom vyrovnávacieho rotoru pôsobiacim na rameni r_r vŕči ťažišťa modelu.

Autorotace