

20.9.2012

## 15. Úloha

### I. Zadání

#### Slow descent

Design and make a device, using one sheet of A4 80 g/m<sup>2</sup> paper that will take the longest possible time to fall to the ground through a vertical distance of 2.5 m. A small amount of glue may be used. Investigate the influence of the relevant parameters.

### II. Úvod

Problém je daleko obsáhlejší, než se na první pohled zdá. Je zde několik možností, jak toho dosáhnout, a naším úkolem je najít ten nejlepší. Můžeme zde narazit na konstrukční nedostatky a nepřesnosti, proto nevylučujeme případnou větší odchylku mezi teorií a experimenty.

### III. Teorie

Jak snížit dobu dopadu:

- přeměna potenciální energie na:
  - 1) energii rotace
  - 2) energii horizontálního pohybu
  - 3) zvýšení odporu prostředí

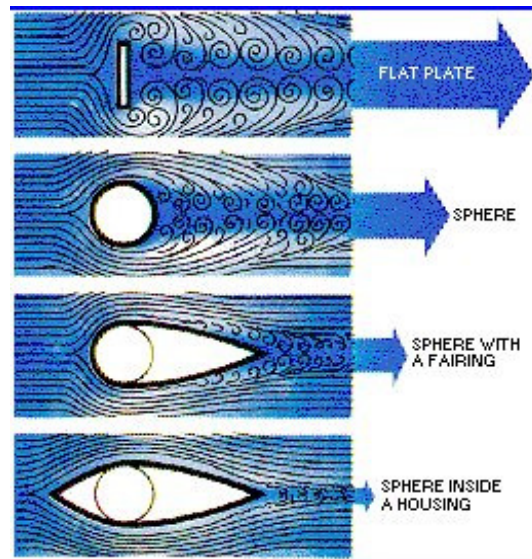
Energie horizontálního pohybu

- problém papírových letadel (neboli „vlastovek“)

#### ODPOR

Tvarový odpor

- vzniká, když se oblasti vysokého tlaku před a nízkého tlaku za tělesem chtějí vyrovnat, což způsobuje tah zpět. Proto se v letectví snaží zmenšit tento rozdíl tlaků
- používá se zde



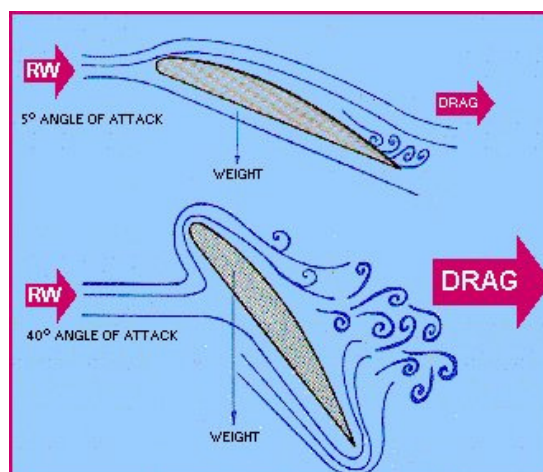
[http://www.centennialofflight.gov/essay/Theories\\_of\\_Flight/drag/TH4G2.htm](http://www.centennialofflight.gov/essay/Theories_of_Flight/drag/TH4G2.htm)

### Povrchový odpor

- je způsoben „srážkami“ částic tekutiny s povrchem tělesa, závisí hlavně na viskozitě tekutiny a struktuře povrchu tělesa
- tento odpor klesá logaritmicky s rostoucím Reynoldsovým číslem, protože při turbulentním proudění tekutina příliš „nepřilne“ k povrchu tělesa

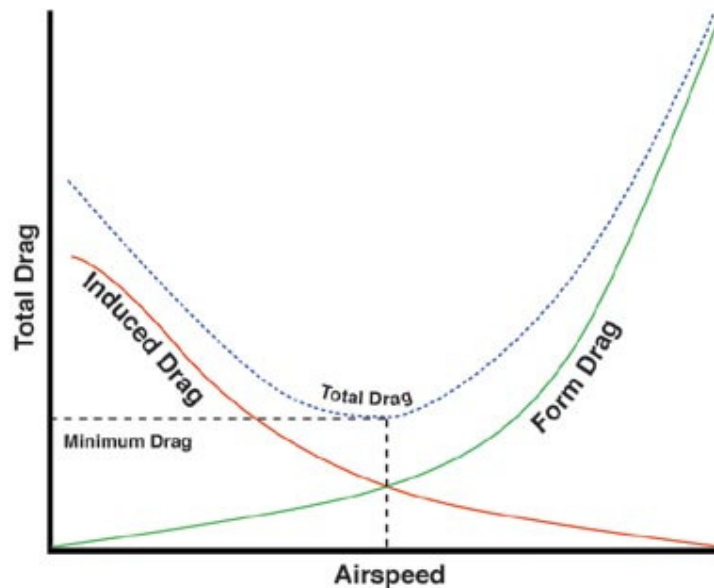
### Indukovaný odpor

- vzniká kvůli tahu křídel
- bude rozhodující při počáteční fázi letu vlaštovky, kdy kvůli udržení výšky (přerušení pádu) bude muset být tah křídel největší, proto se zvětší i indukovaný odpor



[http://www.centennialofflight.gov/essay/Theories\\_of\\_Flight/drag/TH4G4.htm](http://www.centennialofflight.gov/essay/Theories_of_Flight/drag/TH4G4.htm)

celkový odpor = indukovaný odpor + tvarový odpor + povrchový odpor

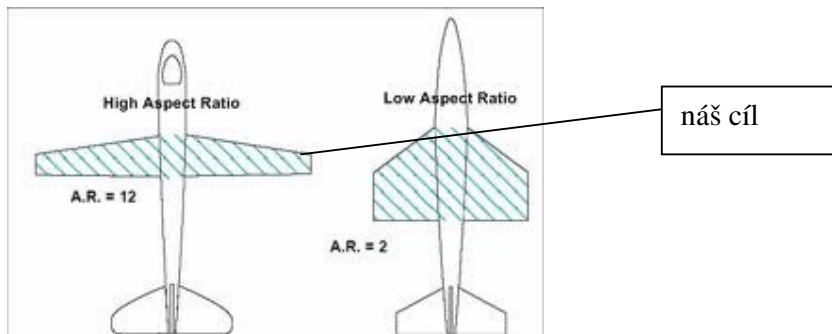


### Konstrukce

- Aby se snížil odpor, je nutné mít co největší poměr mezi rozpětím křídel a šířkou křídel,

$$AR = \frac{b^2}{S} \quad \text{kde } b \text{ je rozpětí křídel a } S \text{ je obsah křídel}$$

kterého lze dosáhnout zvětšením rozpětí křídel a zmenšením šířky křídel. Pevnost papíru nám ale nedovoluje dostatečně snížit tento poměr.

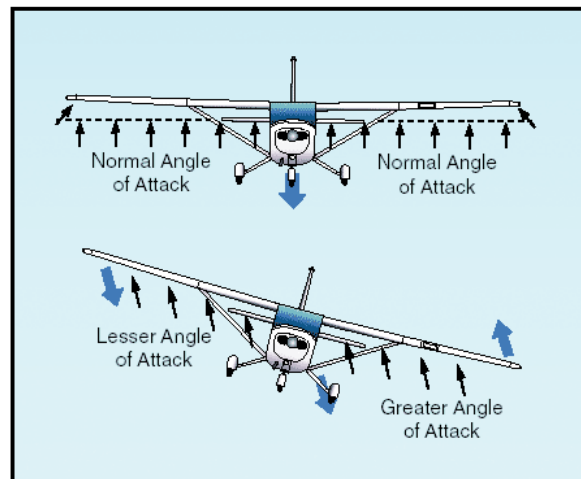


### Reynoldsovo číslo

- aby byl dolet papírového letadélka co největší, nesmí vznikat příliš mnoho turbulentního proudění. To jestli je proudění laminární či turbulentní se určuje podle Reynoldsova čísla
- turbulence vznikají, když se za křídlem střetnou dvě vrstvy vzduchu (vrstva nižšího tlaku nad horní částí a vrstva vyššího tlaku pod dolní částí křídla)
- abychom omezili turbulence, musí být rozdíl tlaků co nejmenší, je tedy potřeba do nejtenčí křídlo
- pro vzduch je limitní hodnota mezi laminárním a turbulentním prouděním kolem 10 000

### Vzepěťový úhel

- slouží k udržení stability letounu, který pak letí více přímočaře
- při vychýlení díky němu vzniká otáčivý moment, který letadlo opět srovná



### Aerodynamický střed

- 
- pro tenké křídlo a pomalé proudění se tento střed nachází:

$$S = \frac{c}{4} \quad \text{kde } c \text{ je šířka křídla}$$

- pokud se tento střed nachází před těžištěm, je letadlo stabilní a je-li za těžištěm, je letadlo nestabilní. Proto je dobré mít těžiště co nejvíce vpředu, mít tedy u letounu „těžší čumák“
- nestabilní letoun se bude převracet nebo si to namíří rovnou na zem
- tuto příčnou stabilitu ovlivňuje také výškové kormidlo
- protože vlašťovku nevrháme, ale pouštíme, budeme usilovat o co nejrychlejší ustálení vlašťovky do horizontální polohy, což může umožnit velký brzky vztlak vzniklý pádem letounu

## Velký odpor vzduchu

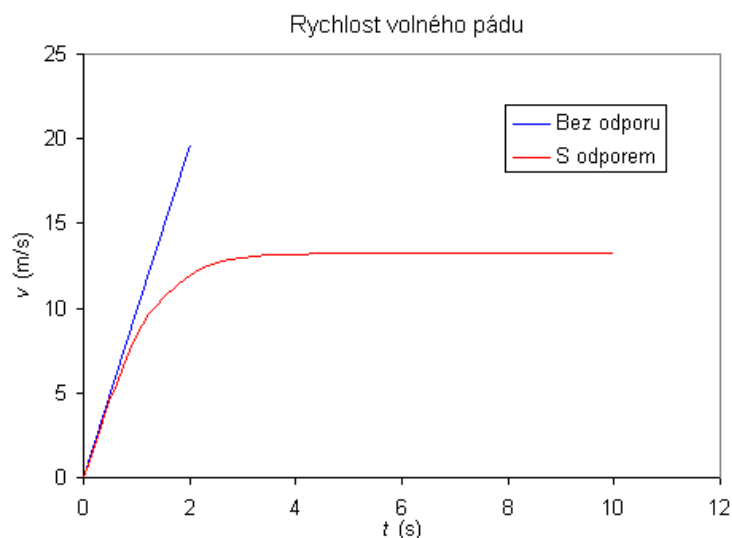
$$F_G = F_{\text{drag}} \quad F_G = 0,049N$$

Rychlost pohybu s odporem:

$$v(t) = \sqrt{\frac{2mg}{\rho AC_d}} \tanh \left( t \sqrt{\frac{g\rho C_d A}{2m}} \right).$$

limitní hodnota

$$v_t = \sqrt{\frac{2mg}{\rho AC_d}}.$$



- jedině, co se zde dá měnit, je obsah a součinitel odporu
  - $C =$  dutá polokoule (1,3)
- problém stability - polokoule bude mít tendenci se převracet

## Rotační energie

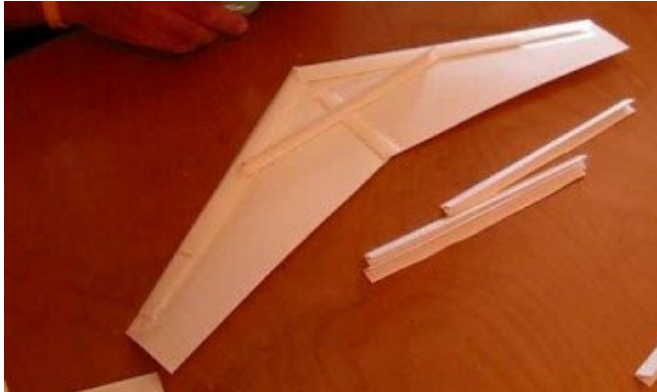
$$E_{\text{rotational}} = \frac{1}{2} I \omega^2$$

- co největší  $I$  a  $\omega$
- $I$  (moment setrvačnosti) tvar tělesa a umístění osy
  - lze maximalizovat převedením hmotnosti co nejdále od osy otáčení
- $\omega$  -závisí na tvaru tělesa

## IV. Experimenty

Zde jsme se museli držet zadání, které říká, aby těleso „padalo“. Vlačovky jsme tedy nevrhali, pouze je pouštěli z předepsané výšky 2,5m. Skládali jsme různé druhy vlačovek a zkoumali jsme jejich dolet (který souvisí s efektivním

přenosem potenciální energie na energii horizontálního pohybu). Nejlépe dopadla tento model:



s doletem 3,2m

U vrtulníků se také předpokládá, že rotační energii budou získávat ze svislého pádu, proto zde žádný rozpor se zadáním nevyskytl. Pokusili jsme se sestrojít vrtulník s rozložením hmoty co nejdále od osy, ale aby to také neovlivnilo stabilitu vrtulníku. Vytvořili jsme také model javorového semínka.

Jak jsme předpověděli v teoretické části, nejlépe dopadla vlaštovka s tenkými, úzkými a dlouhými křídly, které na úkor povrchového tření maximalizují zdvihací sílu a zachovávají laminární proudění vzduchu. Vrtulníky také skvěle dokázaly transformovat potenciální energii na energii rotační. Nepřekonatelným se zde stal model javorového semínka. Padák se ukázal jako nejhorší varianta, protože po úpravách vedoucích ke stabilitě již odporová síla byla příliš slabá.

## V. Závěr

Rozdíl mezi teorií a experimenty po kvalitativní stránce nebyl příliš velký. Experimenty vesměs potvrdily, co jsme předpokládali. Bohužel se nám nepodařilo výsledky kvantifikovat z důvodu přílišné variability a pestrosti modelů. Nejlépe kvantifikovatelným byl případ padáku, avšak to nám bylo k ničemu, protože to nebyla příliš dobrá volba. Rozdíl mezi semínkem a křídlem nebyl příliš velký, proto si myslíme, že vhodnými úpravami a zdokonaleními je možné tyto rozdíly téměř smazat.