

2. Fyzika komínu

Úvod

Plynné zplodiny spalování jsou odváděny do atmosféry o teplotě T_{Air} vysokým komínem s konstantním vnitřním průřezem A a výškou h (viz obr. 1). Pevné palivo je spalováno v ohništi při teplotě T_{Smoke} . Objem plyných zplodin vytvořených v ohništi za jednotku času je B .

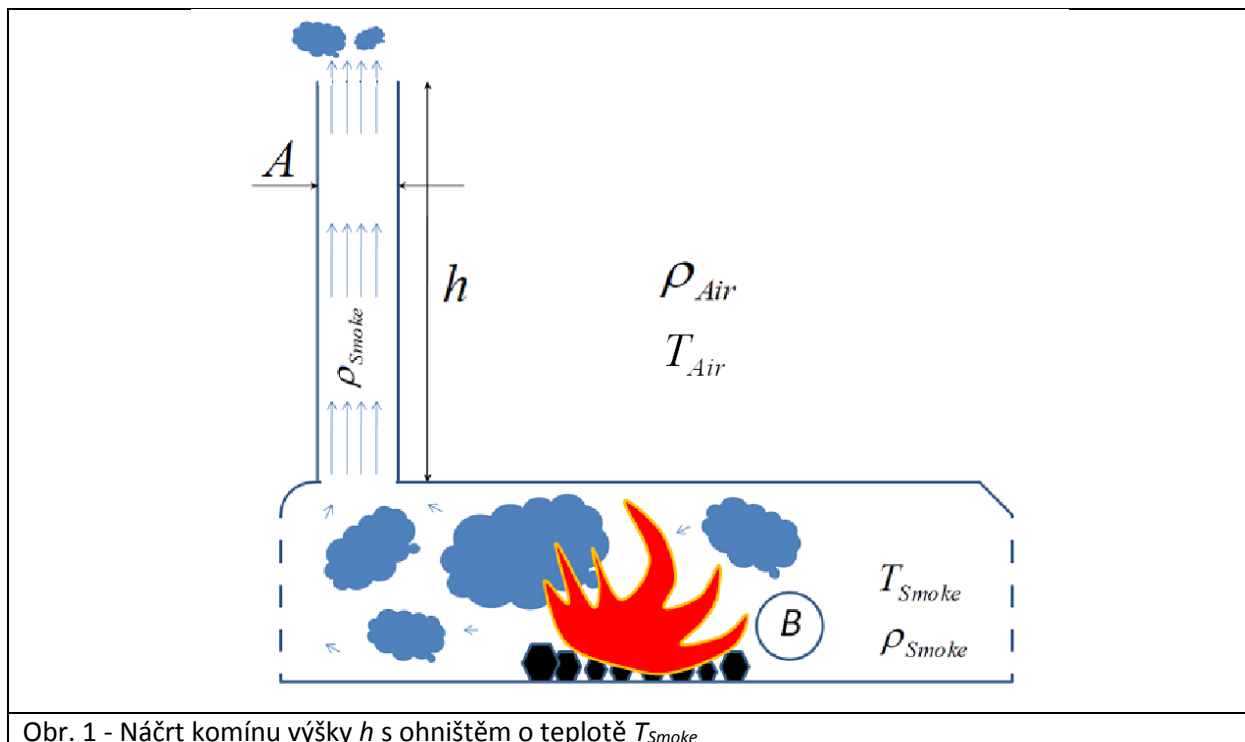
Předpokládejte, že:

- rychlost plynů v ohništi je zanedbatelně malá
- hustota plynů (kouře) je stejná jako hustota vzduchu o stejné teplotě a tlaku; plyn v ohništi lze považovat za ideální
- tlak vzduchu se mění s výškou dle zákonů hydrostatiky; změny hustoty vzduchu s výškou jsou zanedbatelné
- proudění plynů splňuje Bernoulliho rovnici, která říká, že součet následujících členů se zachovává ve všech bodech proudění:

$$\frac{1}{2}\rho v^2(z) + \rho g z + p(z) = const,$$

kde ρ je hustota plynu, $v(z)$ jeho rychlost, $p(z)$ je tlak, a z je výška.

- Změna hustoty plynu (kouře) je v komínu zanedbatelná.



Obr. 1 - Náčrt komínu výšky h s ohništěm o teplotě T_{Smoke}

Úloha 1

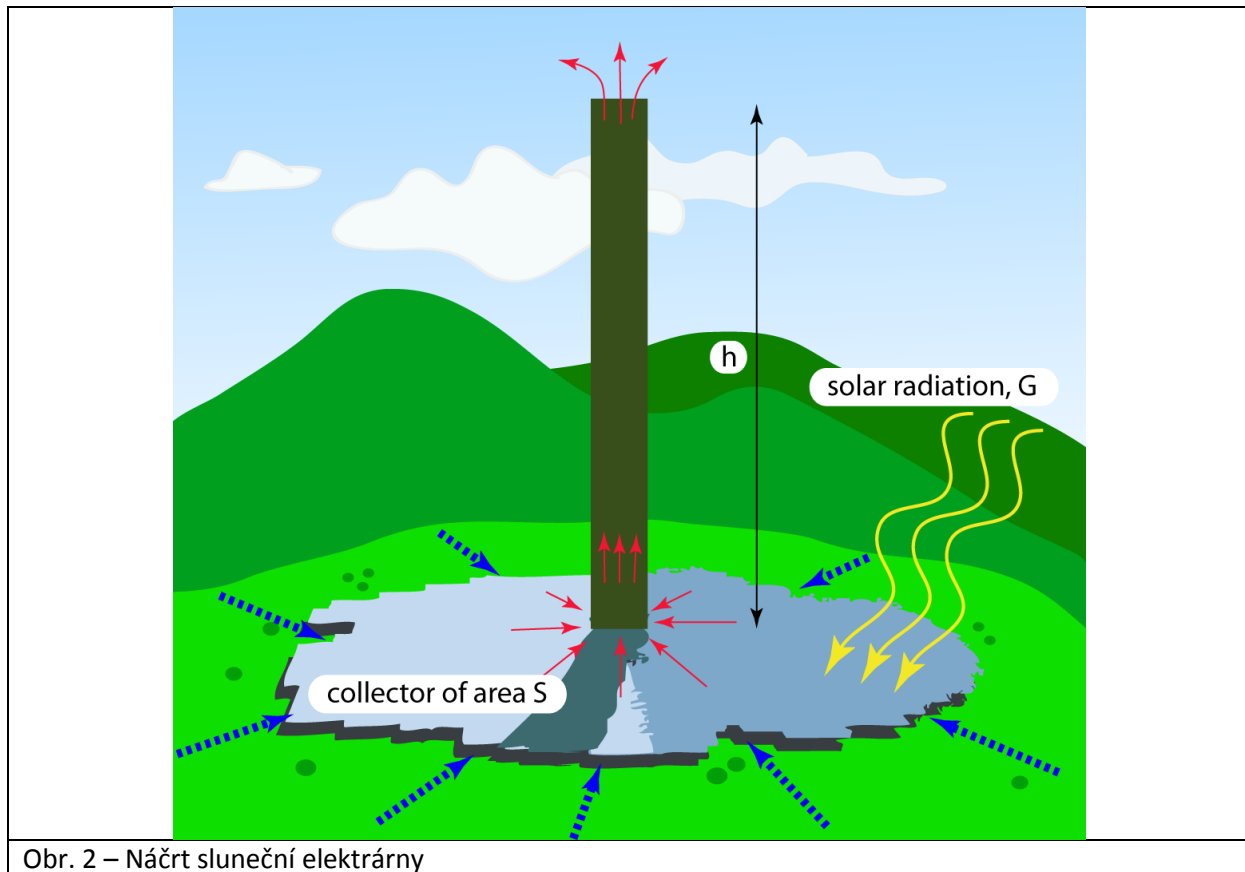
- a) Jaká je minimální výška komínu nutná k tomu, aby komín fungoval účinně, tedy aby odváděl veškeré vzniklé plyné zplodiny do atmosféry? Vyjádřete výsledek v závislosti na B , A , T_{Air} ,

$g=9,81\text{m/s}^2$, $\Delta T=T_{\text{Smoke}}-T_{\text{Air}}$. **Důležité: ve všech následujících úlohách uvažujte, že tato minimální výška je právě výška komínu.** (3,5 bodů)

- b) Uvažujte dva komíny postavené přesně ke stejnému účelu. Jejich vnitřní průřezy jsou totožné, ale jsou navrženy tak, aby fungovaly v různých částech světa. První je navržen, aby pracoval v chladné oblasti při teplotě atmosféry -30°C a druhý v teplé oblasti při teplotě atmosféry 30°C . Teplota v ohništi je 400°C v obou případech. Bylo vypočteno, že výška komínu určeného do studené oblasti je 100 m. Jak vysoký je druhý komín? (0,5 bodů)
- c) Jak se mění rychlost plynů s výškou uvnitř komínu? Načrtněte graf za předpokladu, že se vnitřní průřez komínu nemění s výškou. Vyznačte bod, kde plyny vstupují do komína. (0,6 bodů)
- d) Jak se mění tlak plynu s výškou uvnitř komínu? (0,5 bodů)

Sluneční elektrárna

Proudění plynů v komíně lze využít ke stavbě jistého druhu sluneční elektrárny (tzv. slunečního komínu). Princip je znázorněn na obr. 2. Slunce ohřívá vzduch pod vrchním povrchem kolektoru s plošným obsahem S a s otevřeným okrajem, který umožňuje nerušený přívod vzduchu (viz obr. 2). Jak ohřátý vzduch stoupá komínem (tenké plné šipky), nový studený vzduch vstupuje do kolektoru z okolí (silné čárkované šipky). Takto je zajištěno spojitě proudění vzduchu elektrárnou. Vzduch proudící komínem pohání turbínu, která vyrábí elektrickou energii. Energie slunečního záření dopadající na jednotkovou vodorovnou plochu za jednotku času je G . Předpokládejte, že se veškerá dopadající energie využije na ohřátí vzduchu v kolektoru (měrná tepelná kapacita vzduchu je c a lze zanedbat její závislost na teplotě). Definujeme účinnost slunečního komínu jako podíl kinetické energie proudícího plynu komínem a sluneční energie pohlcené při ohřívání vzduchu před jeho vstupem do komína.



Obr. 2 – Náčrt sluneční elektrárny

Úloha 2

- Jaká je účinnost sluneční komínové elektrárny? (2,0 bodů)
- Nakreslete graf ukazující závislost účinnosti komínu na jeho výšce. (0,4 bodů)

Manzanareský prototyp

Prototyp komínu postavený v Manzanares ve Španělsku byl vysoký 195 m a jeho vnitřní poloměr byl 5 m. Kolektor byl kruhový s průměrem 244 m. Měrná tepelná kapacita vzduchu za typických pracovních podmínek prototypu slunečního komínu je $1012 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$, hustota horkého vzduchu je přibližně $0,9 \text{ kg/m}^3$ a typická teplota atmosféry je $T_{\text{Air}} = 295 \text{ K}$. V Manzanares dopadá během slunného dne na metr vodorovné plochy typicky 150 W/m^2 slunečního záření.

Úloha 3

- Jaká je účinnost prototypu elektrárny? Napište číselný odhad. (0,3 bodů)
- Jaký výkon lze získat v prototypu elektrárny? (0,4 bodů)
- Jaké množství energie může elektrárna vyrobit během typického slunného dne (za osm hodin)? (0,3 bodů)

Úloha 4

- Jak velký je rozdíl teplot vzduchu vstupujícího do komínu (teplý vzduch) a okolního vzduchu (studený vzduch)? Napište obecný vzorec a vyčíslete ho pro prototyp komínu. (1,0 bodů)
- Jaký je hmotnostní tok (tj. hmotnost za jednotku času) vzduchu systémem? (0,5 bodů)