

2. Skorstensfysik

Introduktion

Rökgaser släpps ut i atmosfären genom en skorsten med höjden h och tvärsnittsytans area A [se fig 1]. Förbränningen i ugnen sker vid temperaturen T_{Smoke} medan atmosfären har temperaturen T_{Air} . Förbränningen producerar rökgaser med volymen B per tidsenhet.

Antag att:

- Rökgasernas hastighet i ugnen kan försummas;
- Rökgasernas densitet är lika med luftens vid motsvarande tryck och temperatur. I ugnen kan rökgaserna anses ideala;
- Trycket hos atmosfären avtar med höjden enligt den hydrostatiska lagen;
- Gasflöden beskrivs med Bernoullis ekvation, enligt vilken följande kvantitet bevaras:

$$\frac{1}{2}\rho v^2(z) + \rho gz + p(z) = konst;$$
 där ρ är gasens densitet, $v(z)$ är dess hastighet, $p(z)$ är trycket, och z är höjden;
- Förändringen av rökgasernas densitet i skorstenen kan försummas.

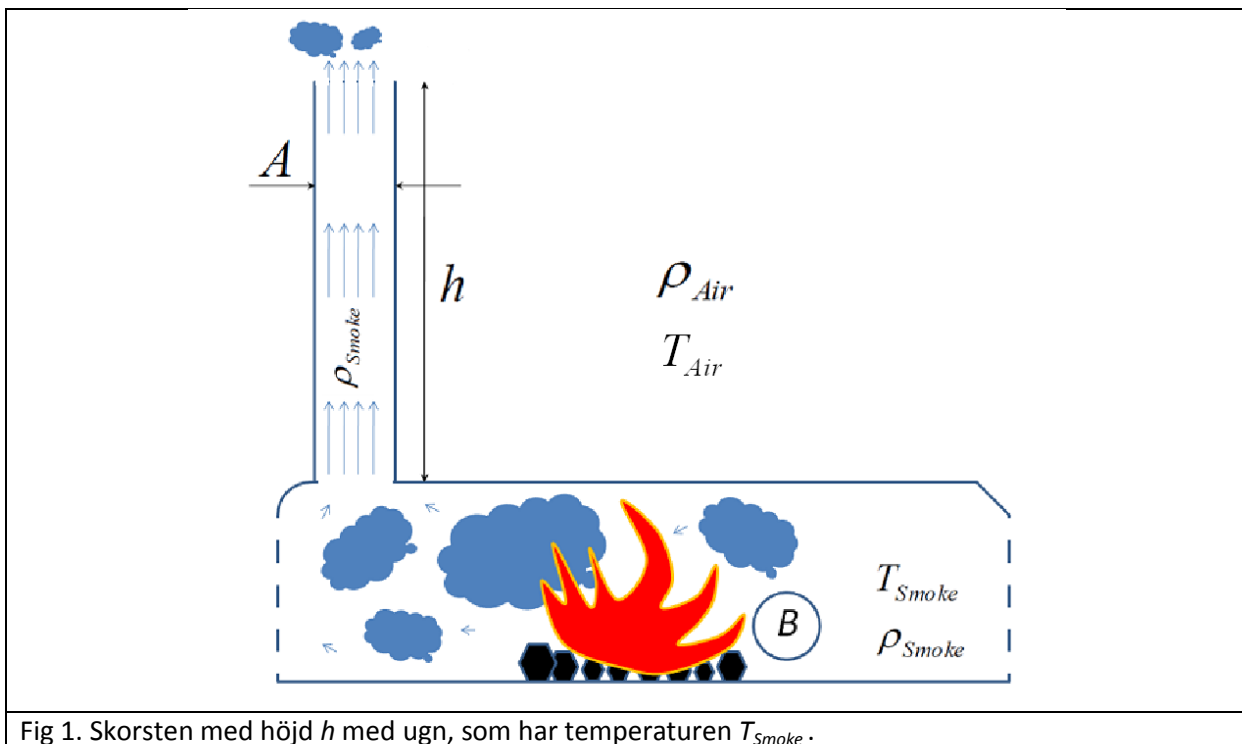


Fig 1. Skorsten med höjd h med ugn, som har temperaturen T_{Smoke} .

Uppgift 1

- a) Vilken är den minsta höjd skorstenens måste ha för att den ska kunna föra ut alla rökgaser till atmosfären? Uttryck höjden i storheterna B , A , T_{Air} , $g = 9.81\text{m/s}^2$, $\Delta T = T_{Smoke} - T_{Air}$.

Notera: Denna höjd är lika med skorstenens höjd i de följande uppgifterna. (3,5 poäng)

- b) Antag att två skorstenar byggs för samma ändamål och med samma tvärsnittsarea, men att den ena ska användas på en plats på jorden där det i medeltal är $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ och den andra där det i medeltal är $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ugnens temperatur är $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ och skorstenen avsedd för den kalla platsen är 100 m hög. Hur hög behöver skorstenen vara på den varma platsen? (0,5 poäng)
- c) Hur varierar rökgasernas hastighet längs skorstenen? Rita ett diagram, under antagandet att tvärsnittsarean är konstant, som visar rökgaserna hastighet och markera punkten där de lämnar skorstenen. (0,6 poäng)
- d) Hur varierar rökgasernas tryck längs skorstenen? (0,5 poäng)

Solenergianläggning

Flödet av gaser i en skorsten kan användas för att konstruera en solenergianläggning ("solskorsten"). Idén illustreras i fig. 2. Solen upphettar luften under en kollektor med öppen omkrets för att ge luften fritt inflöde. Allteftersom upphettad luft stiger genom skorstenen (tunna heldragna pilar), kommer ny kall luft in till kollektorn från omgivningen (tjocka streckade pilar), vilket möjliggör ett kontinuerligt flöde genom solenergianläggningen. Luftflödet genom skorstenen driver en turbin, vilket resulterar i produktionen av elektrisk energi. Energin hos den inkommande solstrålningen per tid och per area av kollektorn är G . Anta att all denna energi åtgår till att uppvärma luften i kollektorn (värmekapaciteten per massa hos luften är c , och man kan försumma beroendet på lufttemperatur). Verkningsgraden hos "solskorstenen" definieras som kvoten mellan den maximala energi som kan erhållas genom omvandling av kinetisk energi hos gasflödet, och den solenergi som absorberas vid upphettning av luften före inträdet i skorstenen.

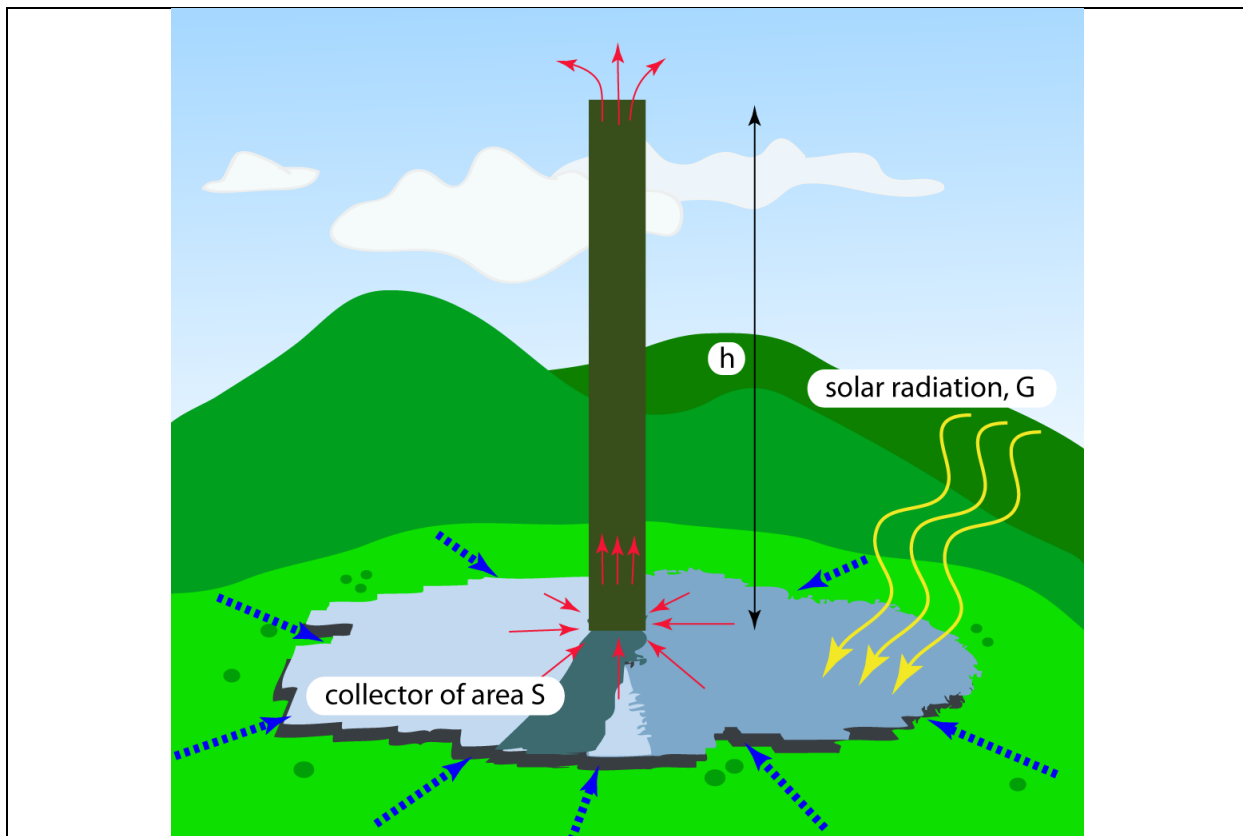


Fig 2. Skiss av en solenergianläggning.

Uppgift 2

- Vad blir verkningsgraden hos solenergianläggningen? (2,0 poäng)
- Skissa ett diagram som visar hur anläggningens verkningsgrad ändras med dess höjd. (0,4 poäng)

Manzanares-prototypen

En prototypskorsten som byggdes i Manzanares i Spanien har en höjd av 195 m och en radie av 5 m. Kollektorn är cirkulär med en diameter av 244 m. Värmekapaciteten hos luften under typiska arbetsförhållanden hos prototypsolskorstenen är $1012 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$, densiteten hos den varma luften är runt $0,9 \text{ kg/m}^3$, och den typiska temperaturen i atmosfären $T_{Air} = 295 \text{ K}$. I Manzanares är soleffekten per horisontell area typiskt 150 W/m^2 under en solig dag.

Uppgift 3

- Vad är verkningsgraden hos denna solenergianläggning? Redovisa ditt numeriska värde. (0,3 poäng)
- Hur mycket effekt kan produceras i denna anläggning? (0,4 poäng)
- Hur mycket energi kan anläggningen ge under en typisk solig dag? (0,3 poäng)

Uppgift 4

- Hur stor är luftens temperaturhöjning vid inträdet i skorstenen (varm luft) från omgivningen (kall luft)? Skriv ned det allmänna uttrycket och beräkna värdet för prototypskorstenen (1,0 poäng)
- Vad blir massflödet (luftmassa per tid) genom skorstenen? (0,5 poäng)