

Tentamen Milieufysica
4 nov 2009, 9.00-12.00 uur

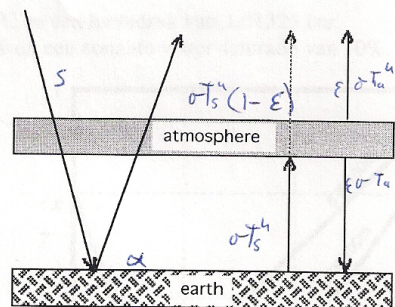
Vermeld (duidelijk!) naam, adres, geboortedatum, studienummer en studierichting op het 1^e vel papier; op ieder volgend vel uw naam.

Het gebruik van het boek en eigen kladpapier is niet toegestaan. Vraag desgewenst om extra papier.

Gebruik voor ieder vraagstuk een nieuw, los vel papier!

Opgave 1. Gebruik voor ieder vraagstuk een nieuw, los vel papier!

We beschouwen een uiterst simpel stralingsbalansmodel in evenwicht, waarbij twee lagen onderscheiden worden: Aarde en atmosfeer. De atmosfeer is volledig transparant voor kortgolvlige straling. Het aardoppervlak heeft albedo α voor kortgolvlige straling, en is een compleet zwarte straler (en dus ook absorber) voor langgolvlige straling. De atmosfeer is niet volledig "zwart" voor langgolvlige straling, maar heeft een eindige emissiviteit ϵ .



(a) Geef de uitdrukking voor de temperatuur van het aardoppervlak T_s als functie van α , ϵ en de (effectieve) zonne-instraling S . (Aanwijzing: de atmosfeer met emissiviteit ϵ heeft als gevolg dat de eigen straling van de atmosfeer met de factor ϵ moet worden vermenigvuldigd, en dat er een fractie $(1-\epsilon)$ van de oppervlaktestraling door de atmosfeer heen komt, dit is de gestippelde lijn in het plaatje).

(b) De manier om in dit simpele model de toename van broeikasgassen op te nemen is gelegen in de emissiviteit. Leg dit uit.

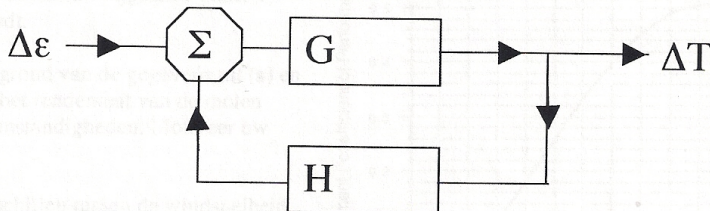
(c) Bereken de T_s m.b.v. de uitdrukking uit (a) voor de volgende gevallen: $S=340 \text{ W/m}^2$, $\alpha = 0.1$, en $\epsilon = 0.8$. Geef deze temperatuur tot op 0,01 graad nauwkeurig. (De waarde van de constante van Stefan-Boltzmann, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$)

Beschouw nu de mogelijkheid dat dit systeem teruggekoppeld zou zijn: de waarde van α hangt van de temperatuur af.

(d) Geef minstens twee voorbeelden hoe deze terugkoppeling in de praktijk tot stand zou kunnen komen. Voor de eenvoud van het rekenwerk beschrijven we de terugkoppeling in α als functie van de emissiviteit. We nemen aan (voor ϵ tussen 0.8 en 0.85): $\alpha = 0.1 + (\epsilon - 0.8)/2$

(e) Bereken T_s voor het geval dat ϵ naar 0.85 stijgt, en voor zowel de constante, als de "teruggekoppelde" waarde van α .

Teruggekoppelde systemen laten zich in principe door het volgende schema voorstellen, waarbij G de zgn. "open loop" versterking is, en H de terugkoppelfactor:



(f) Geef voor het voorgaande geval, namelijk de verandering van ϵ van 0.8 naar 0.85 en de bijbehorende verandering van α , de waarden voor G en H , zoals deze (in goede benadering) volgen uit de berekende waarden bij (c) en (d).

Opgave 2. Gebruik voor ieder vraagstuk een nieuw, los vel papier!

Een gasbedrijf wil haar zomer productie van 20 BCM gas uit de offshore opslaan in een gasveld op het land. Er is een veld beschikbaar op een diepte van 3500m, in de vorm van een horizontale zandsteenlaag van 150m dikte in een rechthoekige horst-structuur van 10 x 2.5 km. Deze horst is aan alle zijden begrensd door breuken waar een lateral seal wordt gevormd door zoutlagen. Het veld is hydrostatisch en ligt in een gebied met een geothermische gradient van 3°C/100m.

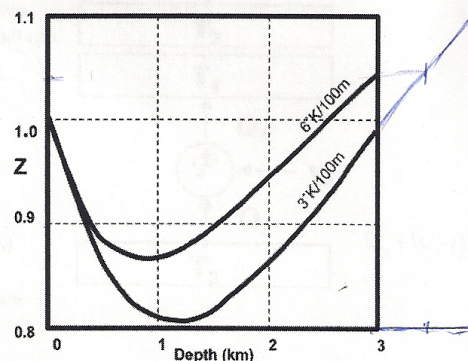
De standaard condities aan het oppervlak zijn een temperatuur van 15°C en een luchtdruk van 1.01325 bar. Het reservoir in de zandsteenlaag heeft een Net-to-Gross ratio van 25% en een connate-water saturatie van 10%.

Maak gebruik van de gas expansiefactor:

$$E = (T_s/p_s) \cdot (p/ZT)$$

Nevenstaand diagram geeft het verloop van Z met diepte voor CH₄

- (a) Wat is minimum gemiddelde porositeit die het reservoir moet hebben om al het gas te kunnen bergen?
- (b) Kenschets met de uitkomst van (A) de kwaliteit van het reservoir (goed-standaard-slecht). Motiveer uw antwoord.



Opgave 3. Gebruik voor ieder vraagstuk een nieuw, los vel papier!

Een windmolen met een wiek-diameter van 30 meter, en een ashoogte boven het maaiveld van eveneens 30 meter, staat in een plattelandsomgeving, waar de windsnelheid als functie van de hoogte gekarakteriseerd wordt door de uitdrukking:

$$v(z) = v_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^\phi$$

Met z de hoogte boven het maaiveld, v de windsnelheid, z₀ de referentiehoogte (= 10 m), v₀ de windsnelheid op die referentiehoogte, en ten slotte φ een empirische parameter. Neem voor φ = 0,25 en voor v₀ 5 m/s

De molen draait met een constant toerental van 30 omwentelingen per minuut.

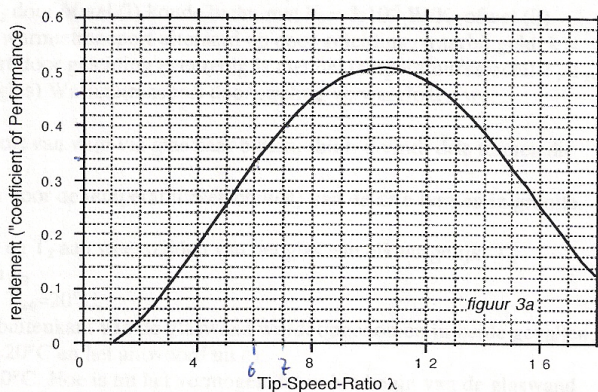
- (a) Bereken de vleugeltop-snelheidsverhouding ("tip-speed ratio") λ (de verhouding vleugeltipsnelheid : windsnelheid) in dit windveld, zowel voor de hoogste als de laagste positie van een wiek.

Het rendement van een windmolen hangt sterk af van λ, zoals uit bijgaande grafiek duidelijk wordt.

- (b) Schat op grond van de gegevens uit (a) en deze grafiek het rendement van de molen onder deze omstandigheden. Motiveer uw schatting!

De grote verschillen tussen de windsnelheid op de laagste en hoogste wiekposities levert een grote belasting van de constructie op.

- (c) Wat is de eenvoudigste manier om dit verschil te verkleinen? Geef kwantitatief aan in hoeverre dit windsnelheidsverschil vermindert bij uw oplossing.



Opgave 4. Gebruik voor ieder vraagstuk een nieuw, los vel papier!

De meest effectieve manier om warmte in arbeid om te zetten is gebruik te maken van een volledig reversibel proces. Daarbij blijft de entropie $s = \int \frac{dQ}{T}$ gelijk. In het schema hiernaast is zo'n volledig reversibele "warmtemotor" geschetst. Omdat voor het gehele proces moet gelden $\Delta S = 0$, leidt dit tot: $Q_1/T_1 = Q_2/T_2$ (hier zijn Q_1 en Q_2 in absolute waarde genomen).

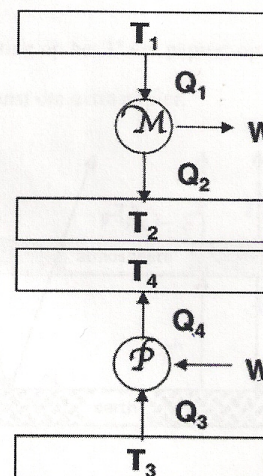
(a) Leid uit deze vergelijking het rendement van zo'n warmtemotor af.

Omdat het systeem reversibel is, kan het ook de andere kant opwerken. We spreken dan van een warmtepomp (zie schema): het apparaat heeft tot doel om warmte van een koude(re) naar een warme(re) plaats te pompen, om die laatste plaats te verwarmen.

(b) Bepaal van deze toepassing het rendement, ook Coefficient of Performance (COP) genoemd.

Gecombineerd kunnen deze apparaten leiden tot efficiëntere ruimteverwarming. Hiertoe moet m.b.v. een brandstof warmte toegevoerd worden aan de warmtemotor (dat gebeurt doorgaans in de electriciteitscentrale), en met diens arbeid kan dan de warmtepomp worden aangedreven.

(c) Maak een schets van deze combinatie voor ruimteverwarming, en geef het totaal-rendement. Geef ook een numeriek resultaat met realistische en gemotiveerde keuzes voor de temperaturen.



Opgave 5. Gebruik voor ieder vraagstuk een nieuw, los vel papier!

Soms is het nodig om een fles witte wijn snel af te koelen. Een enigszins georganiseerd huishouden staat hiervoor een tweetal mogelijkheden ter beschikking:

- (i) Men legt de fles in de diepvries, met $T_k = -18^\circ\text{C}$
- (ii) men zet de fles in een koeler met ijswater, $T_k = 0^\circ\text{C}$

Om de effectiviteit te vergelijken bekijken we het warmtetransport door 1 cm^2 glas met $d=3\text{ mm}$ dikte. Aan de ene kant bevindt zich de wijn met temperatuur T_w , deze vloeistof staat warmte af aan de glaswand met temperatuur T_1 door convectie, met coëfficiënt $h_1 = 10^3\text{ W/K}$; aan de andere kant wordt door convectie warmte opgenomen van de glaswand met temperatuur T_2 door ofwel (i) koude lucht, met $h_2 = 3 \cdot 10^4\text{ W/K}$, ofwel (ii) ijswater, met $h_2 = 10^3\text{ W/K}$. Door het glas treedt warmtetransport uiteraard op door geleiding, waarbij geldt $k = 1,5 \cdot 10^{-4}\text{ W/(K/m)}$ (bedenk dat het warmtetransport door geleiding evenredig is met het temperatuurverschil $T_1 - T_2$, en omgekeerd evenredig met de dikte d van het glas) Warmtetransport door straling verwaarlozen we.

- (a) Stel de vergelijking op van het warmtetransport van wijn via glas naar buiten. (hint: u vindt drie termen die aan elkaar gelijk moeten zijn).
- (b) Vergelijk de voorfactoren (d.w.z. de factoren voor de temperatuurverschillen) van de drie termen in grootte. Wat betekent dit voor de rol van het glas?
- Vanaf nu veronderstellen we de temperaturen T_1 en T_2 aan weerszijden van het glas aan elkaar gelijk: T_g
- (c) Druk T_g uit in de convectiecoëfficiënten h_1 en h_2
- De temperatuur van de wijn T_w is oorspronkelijk $T_{w0} = 20^\circ\text{C}$.
- (d) Wat is het vermogen dat in het begin aan de buitenkant van de glaswand wordt opgenomen in beide gevallen, dus door vriezer resp. ijswater? (gebruik dus $T_w = 20^\circ\text{C}$ en het antwoord uit c).
- (e) Na verloop van tijd is de wijn afgekoeld tot 10°C . Hoe is nu het vermogen dat in het begin van de glaswand wordt opgenomen in beide gevallen?
- (f) (bonusvraag) Wat is nu de beste strategie om een fles wijn snel af te koelen?