

Øving 13

Veiledning: 21.-23. nov.

Gruppeinndelingen finner du på emnets nettside.

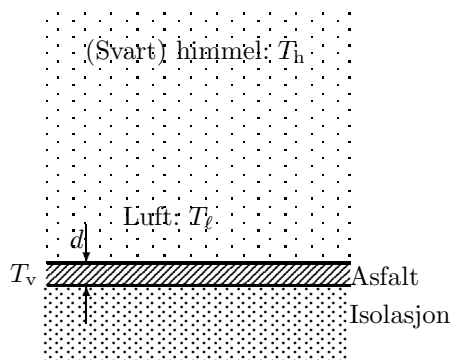
Innlevering: Fredag 24. nov. kl. 12:00

Lever øvinger i bokser utenfor R4 eller i epost til studass.

.... siste øving. Lykke til med eksamensforberedelser og eksamen!

Opgave 1. Utstråling fra vegbane.

I arbeidet med å eliminere teleproblemene på norske veger, har Vegvesenet gjort systematiske forsøk med forskjellige materialtyper og -kombinasjoner i vegene. I et ikke helt vellykket forsøk, ble følgende utprøvd: Under et *tynt* lag med asfalt ble det plassert et lag med høyverdig isolasjon (se figuren). Problemet med denne modellen var at den førte til mye ising i vegbanen senhøstes. Denne regneoppgaven er ment å kaste lys over problemet.



En horisontal vegbane utveksler en klar høstkveld stråling med himmelen. Vi skal finne likevektstemperaturen T_v på vegbanen når temperaturen til lufta nær bakken er $T_l = +2,0^\circ\text{C} = 275\text{ K}$ og om undersøke betingelsene for ising/riming. Klar himmel (atmosfæren) er kjent å stråle som et absolutt svart legeme med temperatur $T_h = -13^\circ\text{C} = 260\text{ K}$. Varmeovergangstallet mellom vegbanen og luft under de rådende forhold er $\alpha = 6,0\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ og emisjonskoeffisienten for vegbanen er $e = 0,80$.

a. Skriv ned uttrykket for energistrømtettheten opp fra og ned mot vegbanen som skyldes

1. stråling fra himmelen
2. refleksjon av himmelstråling fra vegbanen
3. utstråling fra vegbanen
4. varmeovergang mellom luft og vegbane.

og vis at ved stasjonære forhold er vegbanens temperatur bestemt av likningen

$$e\sigma(T_v^4 - T_h^4) = \alpha(T_l - T_v), \quad (1)$$

der σ er Stefan-Boltzmanns konstant. På grunn av isolasjonslaget kan vi se bort fra jordvarmestrømmen opp mot vegbanen.

b. Finn T_v under stasjonære forhold med temperaturer og andre verdier er som gitt over. S-B-konstanten σ finner du f.eks. på formelark. Fjerdegradslikninger er vanskelig å løse, men da $T_v - T_h \ll T_h$, kan vi linearisere $T_v^4 - T_h^4 \approx 4T_h^3(T_v - T_h)$, og løse T_v . Mer detaljer i tips for øvingen.

Eksperimentelt er vanndampens metningstrykk over is ($t < 0^\circ\text{C}$) og over vann ($t > 0^\circ\text{C}$):

$t/^\circ\text{C}$	-4	-3	-2	-1	0	1	2
p/hPa	4,38	4,76	5,18	5,63	6,11	6,57	7,06

Luftas relative fuktighet ϕ er forholdet mellom det aktuelle partialtrykket for vanndamp og metningstrykket til vanndamp ved den gitte temperatur: $\phi = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{metning}}}$. Maksimal verdi er $\phi = 1$, hvis $p_{\text{H}_2\text{O}}$ er større vil vanndamp kondensere til dogg eller rim inntil $p_{\text{H}_2\text{O}} = p_{\text{metning}}$.

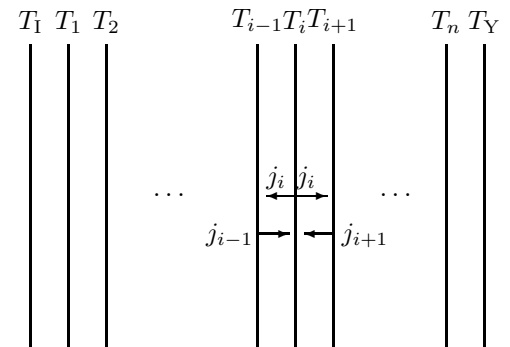
c. For hvilken verdi av relativ fuktighet ϕ må en forvente ising (rim) på vegbanen når vegbanens temperatur er som funnet i pkt. b.?

Oppgave 2. Veggisolasjon.

I denne oppgaven skal vi finne hvordan isolasjonsmaterialer slik som steinull virker. Hvordan kan det ha seg at å fylle hulrommet mellom ytter- og innervegger med steinull reduserer varmestrømmen mellom veggene? Det er to effekter til stede. Den første består i at steinullen stopper konveksjonsstrømmene mellom veggene. Den andre effekten gjelder varmestrålingen mellom veggene. Det er denne effekten vi skal studere her.

Vi kan modellere steinulla som et stort antall plater mellom den varme og den kalde vegg. Vi ser på en éndimensjonal modell. Mellom innerveggen som har temperaturen T_1 , og ytterveggen som har temperaturen T_Y , er det plassert n plater. Vi skal regne ut temperaturen til hver plate T_i , hvor i går fra 1 til n og telles fra innerveggen.

a. Hvorfor har vi ikke oppgitt avstanden mellom platene i problembeskrivelsen over? Hva om platene ikke står jevnt fordelt bortover?



Stefan-Boltzmann-loven gir at varmestrømtettheten j_i (i W/m^2) fra **hver side** av plate i , som funksjon av plate-temperaturen T_i , er

$$j_i = e\sigma T_i^4, \quad (2)$$

der e er emissiviteten og σ er Stefan-Boltzmann-konstanten. I denne oppgaven antar vi et $e = 1$ for alle platene. Vi antar med andre ord at platene er svarte legemer.

Når stasjonær tilstand har inntrådt (det vil si temperaturene T_i ikke endrer seg i tid), vil platene motta like mye stråling fra sine naboer som de selv sender ut. Da kan vi sette opp varmestrømbalanselikninger for hver plate (se figuren). Med positiv varmestrøm inn og negativ ut får vi for plate 1

$$\sigma T_1^4 - 2\sigma T_1^4 + \sigma T_2^4 = 0 \Rightarrow -2T_1^4 + T_2^4 = -T_1^4, \quad (3)$$

for platene 2 til $n - 1$ får vi

$$T_{i-1}^4 - 2T_i^4 + T_{i+1}^4 = 0, \quad (4)$$

og for plate n får vi

$$T_{n-1}^4 - 2T_n^4 = -T_Y^4. \quad (5)$$

b. Foreta et variabelskifte og døp om T_i^4 til x_i for hver plate i likningene (3), (4) og (5). Formulér så disse likningene som et matriseproblem på formen

$$\vec{S} \vec{x} = \vec{b}, \quad (6)$$

hvor $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$. Hvordan ser $n \times n$ -matrisen \vec{S} ut og hva er konstantvektoren \vec{b} ?

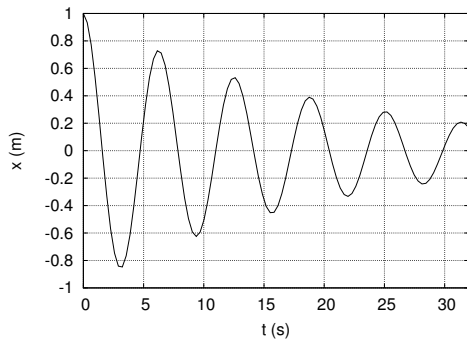
c. I Matlab-skriptet `tfy4115_Øv13.m` løser vi likning (6) for \vec{x} . Kjør skriptet for ulike temperaturkombinasjoner av T_1 og T_Y . Skriptet plotter varmestrømtettheten j gjennom veggene mot antall plater, n , i vegg. Den er regnet ut som

$$j = e\sigma(T_n^4 - T_Y^4). \quad (7)$$

Forklar hvorfor dette er den totale varmegjennomstrømtettheten gjennom hele vegg.

d. Anta, for bestemte verdier av T_1 og T_Y og store verdier av n , at varmestrømtettheten som funksjon av antall plater i vegg er $j(n) = Cn^N$ der C og N er konstanter. På grunnlag av plottet fra Matlabskriptet, beregn en omtrentlig verdi for N . Hva er den fysiske tolkingen av dette?

Oppgave 3. Flervalgsoppgaver.



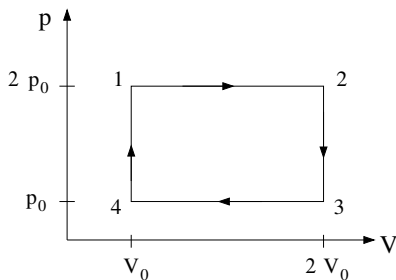
a. Et forholdsvis svakt dempet mekanisk svingesystem svinger upåvirket av ytre krefter med et utsving som beskrives av funksjonen

$$x(t) = Ae^{-\gamma t} \cos \omega t,$$

med $A = 1,0$ m. Figuren til venstre viser $x(t)$ de første 32 sekundene av svingeforløpet.

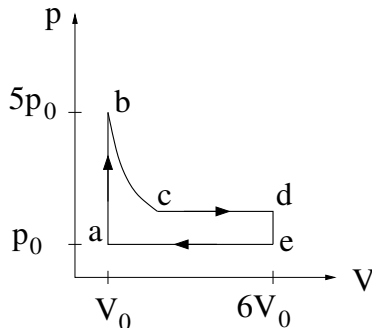
Hva er dempingsfaktoren γ , målt i enheten $1/s$?

- A) 0,005 B) 0,05 C) 0,2 D) 0,5 E) 5,0



b. Figuren viser en kretsprosess for en ideell gass, med $p_0 = 8$ atm og $V_0 = 7$ liter. Hvor stort arbeid utfører gassen per syklus?

- A) 28 J.
B) 56 J.
C) 2,8 kJ.
D) 5,7 kJ.
E) 22,6 kJ.



c. Figuren viser en kretsprosess for et mol ideell gass, med $p_0 = 3$ atm og $V_0 = 8$ l. Delprosessen fra b til c er isoterm. Hvor stort er volumet i tilstand c når det oppgis at $p_c = 2p_0$? (1 = liter)

- A) 5 l
B) 10 l
C) 15 l
D) 20 l
E) 25 l

d. Hvor stort arbeid omtrent utfører gassen per syklus i oppgaven over?

- A) 6 kJ B) 16 kJ C) 16 J D) 6 J E) 32 kJ

e. Stjerner emitterer lys nesten som ideelle svarte legemer, dvs. etter Stefan-Boltzmanns lov. Betelgeuse – den røde kjempestjerna i skulderen på stjernebildet Orion – har en overflatetemperatur på 3000 K og en total utstråling $P = \dot{Q} = 3,9 \cdot 10^{30}$ W. Hva er radien R til kjempestjerna målt i antall solradier $R_\odot = 6,960 \cdot 10^8$ m.

- A) $19,3 R_\odot$
B) $193 R_\odot$
C) $374 R_\odot$
D) $1326 R_\odot$
E) $3740 R_\odot$

f. Hvis temperaturen (i kelvin) på den varme siden av en vegg blir doblet, vil varmestrømmen gjennom vegg

- A) doubles
B) øke med en faktor 4
C) avta med en faktor 4
D) halveres
E) øke, men kan ikke bestemme hvor mye

Utvalgte fasitsvar:

1b) $-3,6^\circ\text{C}$; 1c) 64 %; 2d) $N \approx -1$;