

UNIVERSITETET I TRONDHEIM  
 NORGES TEKNISKE HØGSKOLE  
 INSTITUTT FOR FYSIKK

Faglig kontakt under eksamen:  
 Navn: Ola Hunderi  
 Tlf.: 3411

EKSAMEN I FAG 74140/70540 FYSIKK  
 Avd. III (Bygg)  
 Torsdag 24. august 1989  
 Tid: kl. 0900–1500

Tillatte hjelpemidler: Godkjent lommekalkulator  
 K.J. Knutsen: Formler og data i fysikk  
 O.H. Jahren og K.J. Knutsen: Formelsamling  
 i matematikk  
 K.Rottmann: Matematische Formelsammlung  
 C. Barrett/T.M. Crown: Mathematical  
 Formula

### Oppgave 1

En ideell varmepumpe arbeider som en (omvendt) carnotprosess og med en ideell gass som den arbeidende substans.

Prosessens begynner i tilstand 1 med volum  $V_1$ , trykk  $p_1$  og temperatur  $T_1$ . Gassen utvider seg isotermt til volumet blir  $V_2$  i tilstand 2. Nå foregår det en adiabatisk sammentrykning til tilstand 3 der volumet er  $V_3$  og temperaturen  $T_3$ . Gassen trykkes så sammen isotermt til tilstand 4 der volumet er  $V_4$ . Til slutt utvider gassen seg adiabatisk inntil gassen igjen når tilstanden 1.

- Tegn prosessen i et  $pV$ -diagram. Finn antall mol molekyler  $n$  i gassen uttrykt ved  $V_1$ ,  $p_1$  og  $T_1$ .
- Finn varmen  $Q_1$  som gassen mottar i løpet av den isoterme utvidelse fra tilstand 1 til tilstand 2, og varmen  $Q_3$  som gassen gir fra seg i løpet av den isoterme sammentrykningen fra tilstand 3 til tilstand 4. Hvor stort arbeid  $W$  må tilføres pumpen i løpet av en syklus?
- Utled et uttrykk for pumpens effektfaktor  $\epsilon = \frac{Q_3}{W}$  ved temperaturene  $T_1$  og  $T_3$ .

- d) Varmepumper skal varme opp en kystby. Varmepumpene arbeider imidlertid ikke ideelt. Virkningsgraden er 55% av virkningsgraden for en ideell varmepumpe (når den ikke ideelle pumpe overfører samme varmemengde til det varme reservoar som den ideelle pumpe).

Det kalde reservoar er Golfstrømmen med en gjennomsnittlig temperatur  $t_1 = 7,0^\circ\text{C}$ . Varmen skal avgis til en sentralvarmeanlegg ved temperatur  $t_3 = 70^\circ\text{C}$ .

Sentralvarmeanlegget skal motta effekten  $P = 1,8 \cdot 10^7 \text{ W}$ . Ved overføringen av varmen fra pumpene til sentralvarmeanlegget tapes 10%.

Hvor stor effekt  $P_0$  må ytes til den mekaniske drift av varmepumpene?

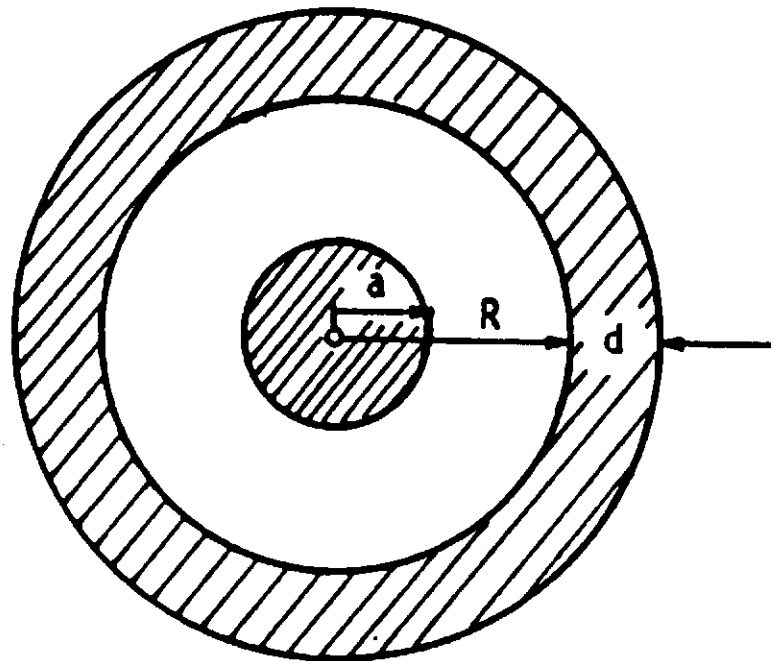
Finn hele systemets effektfaktor  $\epsilon$ .

## Oppgave 2

Vi har en uendelig lang rett massiv sylinder av metall med radius  $a$ . Vi skal i det følgende kalle denne for "indre sylinder".

Denne er plassert konsentrisk i en uendelig lang hul metallsylander med indre radius  $R$  og med vegg-tykkelse  $d$ , slik som vist på figuren. Vi kaller denne for "ytre sylinder".

Mellom sylindrene er det vakuum.



- a) Vi tilfører indre sylinder en ladning  $\lambda_1$  pr. meter sylinderlengde og ytre sylinder en ladning  $\lambda_2$  pr. meter sylinderlengde.

Bruk Gauss' sats til å utlede uttrykk for elektrisk feltstyrke  $E(r)$  som funksjon av radiell avstand  $r$  fra sylinderaksen for

- i)  $a < r < R$
- ii)  $r > R + d$

- b) i) Forklar hvorfor  $E(r) = 0$  for  $r < a$  og for  $R < r < R + d$ .
- ii) Bestem hvor stor ladning det vil være pr. meter sylinderlengde på de to sidene av ytre sylinder.  
Hint: Hvordan må ladningen fordele seg for at vi skal få  $E = 0$  for  $R < r < R + d$ .

- c) Vi sender nå likestrømmer gjennom indre og ytre sylinder parallelt med aksene,  $i_1$  gjennom indre,  $i_2$  gjennom ytre. Strømtransporten er jevnt fordelt over metall-tverrsnittet for hver av sylinderne.

Bruk Amperes lov til å utlede uttrykk for magnetisk flukstetthet  $B(r)$  som funksjon av  $r$  for

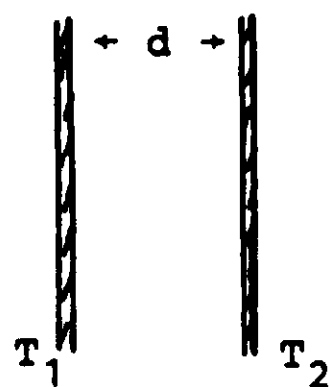
- i)  $r < a$
- ii)  $a < r < R$
- iii)  $r > R + d$

når metallet har relativ permeabilitet  $\mu_r$ .

- iv) Finn også uttrykk for  $B(r)$  for  $R < r < R + d$  og lag en kvalitativ skisse av funksjonen  $B(r)$  for  $r$  fra 0 til  $r > R + d$ , for det tilfellet at  $i_1 = -i_2$ .

### Oppgave 3

Vi skal ta for oss vindusflatens betydning for varmetapet i en tømmerhytte.



Vi antar dobbeltvindu av typen isolerglass. Vi antar at avstanden mellom glassene,  $d$ , er så liten at vi kan se bort fra konveksjon. Lufta mellom glassrutene har varmeledningsevne  $\lambda$ . Glassrutene har temperaturene  $T_1$  og  $T_2$ .

- a) Skriv ned uttrykket for energistromtettheten  $j_1$  på grunn av varmeledning og netto energistromtetthet  $j_s$  på grunn av stråling. Anta at glasset kan regnes som sort i det aktuelle bolgelengdeområdet. Sett inn verdiene:

$$d = 12 \text{ mm}, \quad \lambda = 0.024 \text{ W/mK}$$

$$T_1 = 290 \text{ K}, \quad T_2 = 265 \text{ K} \text{ og}$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

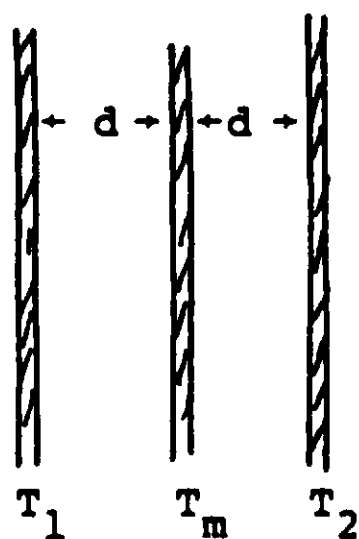
(Stefan Boltzmanns konstant)

- b) Anta en kasse – "hytte" på 8 x 5 x 2.5 m med gulv og tak av samme type som veggene. Anta at vindusarealet utgjør 10% av det totale veggarealet. Finn varmestromtetthetene og det totale varmetapet når veggene består av 15 cm steinull med 2.5 cm gran på hver side. Neglisjér varmeovergangseffekter på inner- og ytterflatene. Anta at lufttemperaturen inne i hytta overalt er lik 290 K og at utetemperaturen er 265 K. Varmeledningsevnen for gran er 0.14 W/mK og for steinull 0.047 W/mK.

Hvor stor del av tapet skyldes tap gjennom vinduene?

- c) Hvor mye reduseres den beregnede varmestromtettheten gjennom veggene i hytta dersom vi inkluderer varmeovergangseffekter på inner- og yttersiden av veggene. Anta at varmeovergangstallet gran/luft  $h = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

d)



Figur 2 viser et trippelvindu. Vis først at temperaturen  $T_m$  tilnærmet er gitt som

$$T_m \approx \frac{T_1 + T_2}{2}.$$

Anta som før at glasset kan regnes som sort i det aktuelle temperaturområdet, og at glass er en så god varmeleder at en kan regne temperaturen som konstant gjennom hver av rutene. Beregn så varmestromtettheten dersom  $d = 10 \text{ mm}$  og data ellers er som i oppgave a).

Oppgitt:  $T_a^4 - T_b^4 \approx 4T_a^3(T_a - T_b) \approx 4T_b^3(T_a - T_b).$