Øving 13

En lav tidskonstant kan bli oppnådd for et termoelement ved å
(i) Øke ledningsdiameteren Dette øker tidskonstanten
(ii) Øke verdien av varmeoverføringskoeffisienten ✓
(iii) Bruke lette material med lav tetthet og lav spesifikk varme ✓

Hva er sant angående samlet systemanalyse?
(i) Konduktiv motstand = 0 ✓
(ii) Konvektiv motstand = 0
(iii) Termisk konduktivitet = 0
(iv) Termisk konduktivitet = uendelig ✓

Faste stoff har uendelig termisk konduktivitet => Indre motstand er ≈0

En metallstav (d = 5 cm, ρ = 7800 kg/m3, cp = 460 J/kgK, k = 60 W/Km) med en opprinnelig temperatur på 700 °C vert kjølt med luft ved 100 °C. Varmeoverføringskoffisienten, h, er 80 W/m^{2}K.

- Kan du anta at det ikke er noen temperaturforskjell i staven?
- Se oppgaveteksten og svaret for oppgave 3. Hvorfor svarte du ja/nei?

Ja, Biottallet er < 0,1

$$N_{Bi} = \frac{hx_1}{k} < 0.1,\ x_1 = \frac{V}{A}$$

For lang sylinder, se vekk ifra arealet til endene => $A = \pi D L$

$$x_1 = \frac{V}{A} = \frac{\cancel{\pi}\cancel{L}\left(\frac{D}{2}\right)^2}{\cancel{\pi} D \cancel{L}} = \frac{D}{4} = \frac{0{,}05}{4} = 0{,}013\ m$$

$$N_{Bi} = \frac{80 \cdot 0{,}0125}{60} = 0{,}0167 < 0{,}1$$ => Vi kan bruke lumped metode. Altså anta at det ikke finnes temperaturdifferanser i staven.

Se oppgaveteksten i oppgave 3. Hvor lang tid tar det for staven å nå 300 °C? (Gi svaret ditt i sekund)

$$\left(\frac{T-T_\infty}{T_0-T_\infty}\right) = exp\left(-\frac{hA}{\rho c_p V}t\right)$$

$$-\frac{hA}{\rho c_p V} t = \ln \frac{T-T_\infty}{T_0-T_\infty}$$

$$t = \frac{\rho c_p V}{hA} \ln\left(\frac{T_0-T_\infty}{T-T_\infty}\right)$$

$$t = \frac{\rho c_p \cancel{\pi} \frac{D^{\cancel{2}}}{4} \cdot \cancel{L}}{h \cdot \cancel{\pi} \cdot \cancel{D} \cdot \cancel{L}} \cdot \ln\left(\frac{T_0-T_\infty}{T-T_\infty}\right)$$

$$t = \frac{7800 \cdot 460 \cdot 0{,}05/4}{80} \cdot \ln\left(\frac{700-100}{300-100}\right)$$

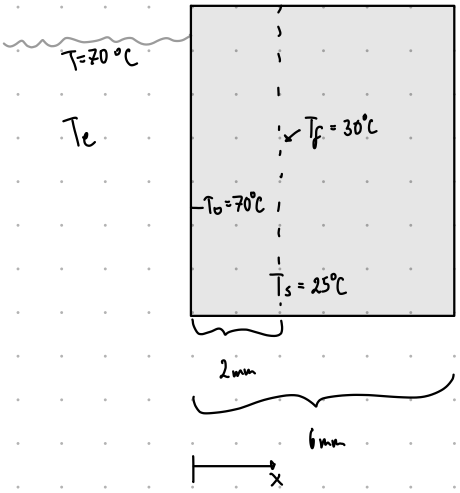
$$\underline{\underline{t = 616\ s}}$$

Varm te med en temperatur på 70 °C blir helt i en porselenskopp, der veggene har en opprinnelig temperatur på T_i = 25 °C. Anta at overflaten av porselensveggen øyeblikkelig når teen sin temperatur (70 °C). Tykkelsen på porselensveggen er 6 mm.

For porselen:

cp	=	1080	J/kgK
k	=	1.03	W/Km
ρ	=	2400	kg/m^3

Estimer tiden det tar før veggtemperaturen har nådd 30 °C i et punkt 2 mm innanfor den våte overflata. (Anta at du kan modellere i henhold til det semi-uendelige mediumet med fastsatt overflatetemperatur.) $\Rightarrow$ Case 1, $T_s = T_1$



$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{1}{\rho c_p} \dot{q}$$

* Import math *

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$$

$$\frac{T_f - T_1}{T_0 - T_1} = erf \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}$$

$$\frac{30-70}{25-70} = 0,89$$

La $\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}} = \eta$

$\Rightarrow erf\ \eta = 0,89$

η	erf(η)
1.1	0.88021
1.15	0.89612

Interpolerer for å finne η

$\Rightarrow \eta = 1,13$

$$\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}} = \eta = 1,13$$

$$t = \frac{x^2}{4 \cdot 1,13^2 \cdot \alpha} = \frac{x^2 \cdot \rho \cdot c_p}{4 \cdot 1,13^2 \cdot k} = \frac{(2 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2400 \cdot 1080}{4 \cdot 1,13^2 \cdot 1,03}$$

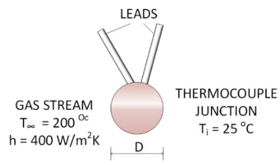
$$\underline{\underline{t = 1,97\ s}}$$

Se oppgaveteksten til oppgave 6. Hvordan kan du sjekke at du i løpet av denne korte tiden kan behandle konduksjonen i porselenet som et semi-uendelig medium?

Ved å beregne tykkelsen på temperaturendirngsområdet og se at det er << enn porselenveggen

$$\delta \approx \sqrt{t \cdot \alpha} = 0,000884 = 0,884\ mm \ll 6\ mm$$

En termoelementforbindelse, som kan estimeres som en sfære, kan brukes til temperaturmåling i en gasstrøm. Konveksjonskoeffisienten mellom overflaten til forbindelsen og gassen er h = 400 W/m^2K og forbindelsens termofysiske egenskaper er k = 20 W/mK, c = 400 J/kgK og ρ = 8500 kg/m^3.



Finn diameteren (mm) forbindelsen må ha for at termoelementet skal ha en termisk tidskonstant lik 1 s.

Termisk tidskonstant: $\tau = \frac{\rho c_p V}{hA} = \frac{\rho c_p D}{6h} = 1\ s \quad (\tau = 1s)$

$$\boxed{\frac{V}{A} = \frac{\cancel{4\pi} r^{\cancel{3}}/3}{\cancel{4\pi r^2}} = \frac{r}{3} = \frac{D}{6}}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{D = \frac{6h}{\rho c_p} \cdot 1\ s = 0,0007\ m = 0,7\ mm}}$$

Se oppgaveteksten for oppgave 8. Er $\underbrace{\text{samlet kapasitetsmodell}}_{= \text{Lumped capacity}}$ gjeldende?

For kule: $x_1 = \frac{V}{A} = \frac{D}{6}$

$$N_{Bi} = \frac{h x_1}{k} = \frac{hD}{6k} = \frac{400 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 20}$$

$$\underline{\underline{N_{Bi} = 0,00235 \ll 0,1 \Rightarrow \text{Lumped capacity funker}}}$$

Se oppgaveteksten i oppgave 8. Hvis forbindelsen er 25 °C og er plassert i en gasstrøm ved 200 °C, hvor lang tid vil det ta for forbindelsen å nå 199 °C?

$$\left(\frac{T-T_\infty}{T_0-T_\infty}\right) = exp\left(-\underbrace{\frac{hA}{\rho c_p V}}_{=\frac{1}{\tau}=\frac{1}{1s}} t\right) = e^{-t}$$

$$\frac{T-T_\infty}{T_0-T_\infty} = e^{-t}$$

$$t = \ln\left(\frac{T_0-T_\infty}{T-T_\infty}\right) = \ln\left(\frac{25-200}{199-200}\right)$$

$$t = 5{,}16\ s$$

$$\Rightarrow t = 5s$$

Hvilke antagelser ble gjort i oppgave 8 og 10? // What assumptions did you make in task 8 and 10?

Svar:
- Temperaturen til forbindelsen er uniform når som helst // Temperature of junction is uniform at any instant
- Strålingsutveksling med omgivelsene er neglisjerbar // Radiation exchange with the surroundings is negligible
- Tap fra konduksjon gjennom lederene er neglisjerbart // Losses by conduction through the leads are negligible
- Fysiske egenskaper er konstante // Physical properties are constant