

 NTNU	<b>Emne:</b> IELET2106 Industriell instrumentering  <b>Øving:</b> 3, Løsningsforslag	<b>Leveringsfrist:</b> Se Blackboard
---	--	---

## Oppgave 1

a) Se forelesningsnotatene.

b) Absolutt trykk er trykkverdi i forhold til vakuum trykket (0 bara). Absolutt trykk oppgis alltid i bara.

Relativt trykk er trykkverdi i forhold til atmosfæretrykket ( $1 \text{ atm} \approx 1 \text{ bar}$ ). Relativ trykk oppgis enten som overtrykk (trykkverdier over atmosfæretrykk) eller undertrykk (trykkverdier under atmosfæretrykk). Differansen mellom absolutt og relativt trykk er med andre ord 1 bar.

Differensialtrykk er forskjellen mellom to trykkverdier, og oppgis alltid i bar.

c) For en væske eller gass som befinner seg i ro i et tyngdefelt øker trykket med dybden på grunn av væskens vekt. En væske i ro sies å være i hydrostatisk likevekt. Trykket i en væske eller gass i ro kalles det hydrostatiske eller statiske trykket. Det tilleggstrykket som opptrer ved bevegelse, kalles dynamisk trykk og er uttrykk for den kinetiske energien i væsken eller gassen.

## Oppgave 2

a) Antar elastisk deformasjon (Hook's lov), slik at  $\sigma_a = E_m \cdot \epsilon_L$ .

Materialspenning ( $\sigma_a$ ) i stanga blir da:

$$\sigma_a = \frac{F_N}{A_c} = \frac{m \cdot g}{\pi \cdot (D/2)^2} = \frac{60 \cdot 9,81}{\pi \cdot (0,005/2)^2} = 3,0 \cdot 10^7 \text{ Pa}$$

For stålstanga (tøyning og lengdeendring):

$$\epsilon_L = \frac{\sigma_a}{E_m} = \frac{3,0 \cdot 10^7}{2 \cdot 10^{11}} = 1,5 \cdot 10^{-4}$$

$$\epsilon_L = \frac{\Delta L}{L} \Rightarrow \Delta L = \epsilon_L \cdot L = 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,3 = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

For aluminiumstanga (tøyning og lengdeendring):

$$\epsilon_L = \frac{\sigma_a}{E_m} = \frac{3,0 \cdot 10^7}{7 \cdot 10^{10}} = 4,3 \cdot 10^{-4}$$

$$\epsilon_L = \frac{\Delta L}{L} \Rightarrow \Delta L = \epsilon_L \cdot L = 4,3 \cdot 10^{-4} \cdot 0,3 = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

b) Strekkklappens resistans ved  $\sigma_a = 10^8 \text{ Pa}$ :

$$\frac{\Delta R}{R_0} = G_m \cdot \epsilon_L \Rightarrow \Delta R = R_0 \cdot G_m \cdot \epsilon_L = R_0 \cdot G_m \cdot \frac{\sigma_a}{E_m}$$

$$R = R_0 + \Delta R = R_0 + R_0 \cdot G_m \cdot \frac{\sigma_a}{E_m} = R_0 \cdot \left( 1 + G_m \cdot \frac{\sigma_a}{E_m} \right) = 120 \cdot \left( 1 + 2,1 \cdot \frac{10^8}{2 \cdot 10^{11}} \right) \\ \approx 120,13 \Omega$$

### Oppgave 3

a) Utgangsspenningen ( $V_o$ ) blir:

$$V_o = V_s \cdot \left( \frac{R_0}{R_0 + R_0} - \frac{R_0 - \Delta R}{R_0 + \Delta R + R_0 - \Delta R} \right) = V_s \cdot \left( \frac{\Delta R}{2 \cdot R_0} \right) = 10 \cdot \left( \frac{0,022}{2 \cdot 350} \right) \approx 0,31 \text{ mV}$$

b) Resistansendringen som skyldes temperaturforskjell:

$$\frac{\Delta R_t}{\Delta T} = \alpha \cdot R_0 \Rightarrow \Delta R_t = \alpha \cdot R_0 \cdot \Delta T = 0,003925 \cdot 350 \cdot 1 = 1,3738 \Omega$$

Hvis vi tar utgangspunkt i at temperaturen på undersiden av bjelken er nominell temperatur kan vi legge resistansendringen som skyldes temperaturforskjellen ( $\Delta R_t$ ) til strekkklappen over bjelken:

Strekkklapp a (over bjelken):  $R_a = R_0 + \Delta R + \Delta R_t$

Strekkklapp b (under bjelken):  $R_b = R_0 - \Delta R$

Utgangsspenningen ( $V_o$ ) blir:

$$V_o = V_s \cdot \left( \frac{R_0}{R_0 + R_0} - \frac{R_0 - \Delta R}{R_0 + \Delta R + \Delta R_t + R_0 - \Delta R} \right) = V_s \cdot \left( \frac{2 \cdot \Delta R + \Delta R_t}{4 \cdot R_0 + 2 \cdot \Delta R_t} \right)$$

$$V_o = 10 \cdot \left( \frac{2 \cdot 0,022 + 1,3738}{4 \cdot 350 + 2 \cdot 1,3738} \right) \approx 10,11 \text{ mV}$$

En temperaturforskjell på 1°C medfører nesten 33 ganger så stor utgangsspenning sammenliknet med svaret fra punkt a!

c) For å redusere temperaturens innvirkning kan vi montere en fullbro med 4 aktive strekkklapper som gir 4 ganger større følsomhet og full temperaturkompensasjon, eller eventuelt bare dummy-strekkklapper i tillegg som en ren temperaturkompensasjon.

#### Oppgave 4

a) Gitt  $h_1 = 20\text{cm} = 0,2\text{m}$ ,  $\rho_{\text{Hg}} = 13,6\text{g/cm}^3 = 13,6 \cdot 10^3\text{kg/m}^3$  og  $g = 9,81\text{N/kg}$ .

$$\Delta p = \rho_{\text{Hg}} \cdot g \cdot \Delta h \Rightarrow p - p_o = \rho_{\text{Hg}} \cdot g \cdot h_1 \Rightarrow p_{\text{relativt}} = \rho_{\text{Hg}} \cdot g \cdot h_1$$

Det relative trykket blir:

$$p_{\text{relativt}} = 13,6 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 0,2 \approx 26683\text{Pa} = 0,27\text{bar}$$

b) Maksimal målefeil i % av målesignalomfanget:

$$E = \frac{\hat{E}}{O_{\text{maks}} - O_{\text{min}}} \cdot 100\% \Rightarrow \hat{E} = \frac{E \cdot (O_{\text{maks}} - O_{\text{min}})}{100\%} = \frac{2 \cdot (20 - 4)}{100} = 0,32\text{mA}$$

c) Gitt  $\epsilon = 8,85 \cdot 10^{-12}\text{F/m}$  og  $D = 25\text{mm} = 0,025\text{m}$ .

Avstand  $d = 0,025\text{mm} = 2,5 \cdot 10^{-5}\text{m}$  gir følgende kapasitansverdi:

$$C = \epsilon \cdot \frac{A}{d} = \epsilon \cdot \frac{\pi \cdot (D/2)^2}{d} = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{\pi \cdot (0,025/2)^2}{2,5 \cdot 10^{-5}} = 1,738 \cdot 10^{-4}\mu\text{F}$$

Tilsvarende beregning gjøres for andre avstander:

$$\text{Avstand } d = 0,05\text{mm} = 5 \cdot 10^{-5}\text{m} \text{ gir } C = 0,869 \cdot 10^{-4}\mu\text{F}$$

$$\text{Avstand } d = 0,1\text{mm} = 1 \cdot 10^{-4}\text{m} \text{ gir } C = 0,435 \cdot 10^{-4}\mu\text{F}$$

Kapasitansen blir mindre med økende avstand!

d) Sperrevæske brukes for å hindre lav/høy temperatur, vibrasjoner, korrosive/etsende stoffer, og partikler i mediet som bygger seg opp i måleren. Uten sperrevæske kan direkte kontakt med prosessmediet påvirke målingene (introdusere målefeil) eller i verste fall ødelegge måleren.

## Oppgave 5

a) Væskevolum (V) i tanken blir:

$$p = \rho \cdot g \cdot (L + h) \Rightarrow h = \frac{p}{\rho \cdot g} - L = \frac{125 \cdot 10^3}{0,89 \cdot 10^3 \cdot 9,81} - 8,5 = 5,82\text{m}$$

$$V = (h + h_0) \cdot A = (5,82 + 0,7) \cdot 1 = 6,51\text{m}^3$$

b) Da  $\Delta p$  er oppgitt i mm vannsøyle [mmVs], må vi regne det om til Pascal [Pa]:

$$\Delta p [\text{Pa}] = \rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot g \cdot \Delta p [\text{mVs}] = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,4 = 13734\text{Pa}$$

Trykket på høytrykkside (HP, +):

$$p_{\text{HP}} = p + \rho \cdot g \cdot (h' + h)$$

Trykket på lavtrykkside (LP, -):

$$p_{\text{LP}} = p + \rho \cdot g \cdot (h' + H)$$

Høyden (h) blir:

$$\Delta p = p_{\text{HP}} - p_{\text{LP}} = (p + \rho \cdot g \cdot (h' + h)) - (p + \rho \cdot g \cdot (h' + H))$$

$$\Rightarrow H = h - \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} = 2 - \frac{13734}{0,79 \cdot 10^3 \cdot 9,81} = 0,23\text{m}$$

c) Trykket på høytrykkside (HP, +):

$$p_{\text{HP}} = p + \rho \cdot g \cdot (h' + H)$$

Trykket på lavtrykkside (LP, -):

$$p_{\text{LP}} = p$$

Høyden (h) blir:

$$\Delta p = p_{\text{HP}} - p_{\text{LP}} = (p + \rho \cdot g \cdot (h' + H)) - p$$

$$\Rightarrow H = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} - h' = \frac{13734}{0,79 \cdot 10^3 \cdot 9,81} - 0,8 = 0,97\text{m}$$

Fordi ytre rør er gassfylt vil trykket her være lavere enn trykket fra den væskefylte sida. Altså må det væskefylte røret kobles til høytrykksida til dP-cella.

d) Noen av feilkildene som kan forekomme i målingene ovenfor er:

For alle målingene gjelder:

- Temperaturvariasjoner vil medføre at densitet ( $\rho$ ) varierer.
- Temperaturvariasjoner kan også påvirke selve dP-cella.
- Innholdet i tanken kan ha/få en annen densitet ( $\rho$ ) enn forutsatt.

Spesielt gjelder:

- Punkt a: Bare åpen tank.
- Punkt b: Dersom det f.eks. er mere fordamping enn kondensering i fylte ytre rør, kan det medføre lavere nivå i ytre rør.
- Punkt c: Kondensering i ytre rør medfører at dette blir delvis væskefylt.

## Oppgave 6

a) Da lydbølgen må bevege seg opp til overflaten og så tilbake, blir tilbakelagt avstand 2 x. Nivået (h) som funksjon av tidsforsinkelsen blir:

$$h = \frac{c_{\text{lyd}} \cdot t}{2} = \frac{1490 \cdot t}{2} = 745 \cdot t$$

b) Bølgelengden ( $\lambda$ ) blir:

$$\lambda = c_{\text{lyd}} \cdot T = \frac{c_{\text{lyd}}}{f} = \frac{1490}{30 \cdot 10^3} = 0,04967\text{m} = 49,67\text{mm}$$

Dvs. at oppløsningen blir neppe bedre enn 50 mm. Ved å bytte ut måleren med en som opererer på 2 Mhz, får vi på samme måte som ovenfor en oppløsning på 0,75 mm. Altså 67 ganger forbedring.

c) Hvis måleren ikke kan begynne å ta imot ekko før 0,2 ms etter at den utsendte pulsen er påbegynt, betyr det at det minste nivået som kan måles blir halvparten av den avstanden som lydbølgen tilbakelegger i det samme tidsrommet. Dette er den samme formelen som vi fant i punkt a. Dvs. at det minste nivået ( $h_{\text{min}}$ ) som kan måles er:

$$h_{\text{min}} = \frac{c_{\text{lyd}} \cdot t}{2} = \frac{1490 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,15\text{m}$$

d) I løpet av 1 sekund må måleren ha foretatt 200 målinger. Det betyr at måleren kan bruke 1/200 s per måling. På samme måte som i punkt c kan vi bestemme det største nivået ( $h_{\text{maks}}$ ) som kan måles:

$$h_{\text{maks}} = \frac{c_{\text{lyd}} \cdot t}{2} = \frac{1490 \cdot (1/200)}{2} = 3,72\text{m}$$

e) Noen av feilkildene som kan forekomme i ultralydmålinger er:

- Variasjoner i lydhastigheten på grunn av varierende medium, for eksempel samme tank brukes til forskjellige væsker, eller at væskens kvalitet/sammensetning varierer.
- Variasjoner i lydhastigheten pga. forandringer i temperatur og luftfuktighet.
- Uønskede refleksjoner fra andre objekter, for eksempel faste installasjoner, tak, rørverk og store luftbobler.
- Små luftbobler i væsken og bølger på overflaten kan absorbere/spre lydbølgen så mye at det ødelegger signalet.