

## Løsning Øving 7

Vi har fra forelesningene:

$$f_m = \frac{1 - v_m/c}{1 - v_s/c} f_s \quad (1)$$

der  $f_m$  og  $f_s$  er respektivt målt og utsendt frekvens.  $v_m$  og  $v_s$  er henholdsvis hastighet til observatør og kilde regnet algebraisk.

### Løsning oppgave 1

$$f_{\text{hørt av 1}} = \frac{1 + v_1/c}{1 - v_2/c} f_s = \frac{1 + \frac{60.0}{3.6}/331}{1 - \frac{90.0}{3.6}/331} \cdot 524 \text{ Hz} = \underline{\underline{595 \text{ Hz}}}$$

$$f_{\text{hørt av 2}} = \frac{1 + v_2/c}{1 - v_1/c} f_s = \frac{1 + \frac{90.0}{3.6}/331}{1 - \frac{60.0}{3.6}/331} \cdot 524 \text{ Hz} = \underline{\underline{593 \text{ Hz}}}$$

### Løsning oppgave 2

Lyden reflekteres med samme hastighet og frekvens som innkommende bølge. Altså har vi:

$$f_{\text{ekko}} = \frac{1 + \frac{75}{3.6}/331}{1 - \frac{75}{3.6}/331} \cdot 420 \text{ Hz} = \underline{\underline{476 \text{ Hz}}}$$

### Løsning oppgave 3

Hastigheten til toget i forhold til mediet (luften) er:

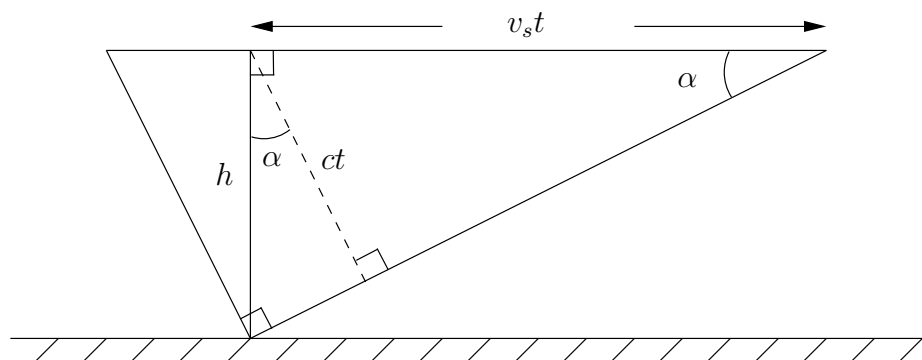
$$v_s = (30 - 20) \text{ m/s} = \underline{\underline{10 \text{ m/s}}}.$$

Hastigheten til perrongen i forhold til luften er:

$$v_m = (0 - 20) \text{ m/s} = \underline{\underline{-20 \text{ m/s}}}.$$

Altså har vi:

$$f_{\text{perrong}} = \frac{1 + 20/331}{1 - 10/331} \cdot 440 \text{ Hz} = \underline{\underline{481 \text{ Hz}}}$$

**Løsning oppgave 4**

Ved figurbetrakning:

$$\sin \alpha = \frac{ct}{v_s t} = \frac{c}{v_s}$$

$$\cos \alpha = \frac{h}{ct}$$

som gir

$$\left(\frac{c}{v_s}\right)^2 + \left(\frac{ct}{h}\right)^2 = 1 \quad (2)$$

$$v_s/c = \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{ct}{h}\right)^2}\right)^{1/2} = \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{331 \cdot 30.4}{12000}\right)^2}\right)^{1/2} = 1.835 \quad (3)$$

som gir:

$$v_s = 331 \cdot 1.835 \text{ m/s} = 607 \text{ m/s} = \underline{\underline{2190 \text{ km/t}}}$$

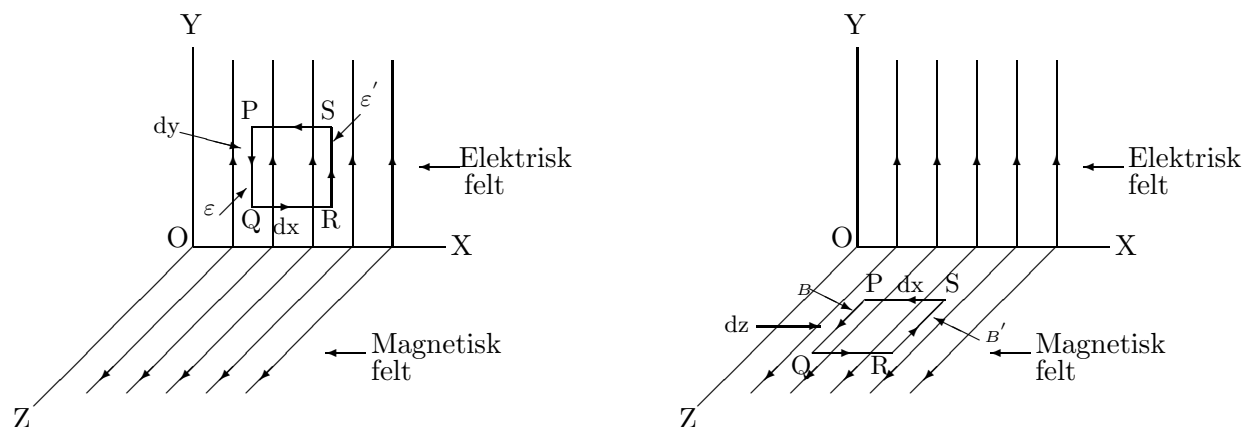
$$\sin \alpha = \frac{c}{v_s} = \frac{331}{607} = 0.545$$

$$\alpha = \underline{\underline{33.0^\circ}}$$

**Løsning oppgave 5**

Vi nytter A&F fig. 29.5 som er vist på neste side. Imidlertid kaller vi  $x$ -posisjonen til PQ for  $x_0$  og til SR for  $x_0 + \Delta x$ . Tilsvarende kaller vi posisjonene til QR og PS i henholdsvis  $xy$ -planet og  $xz$ -planet for  $y_0$  og  $y_0 + \Delta y$  og for  $z_0$  og  $z_0 + \Delta z$ . Vi nytter først A&F lign. (27.2) på rektangelet PQRS i  $xy$ -planet.

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{L} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_A \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (4)$$



Figur 1: Anvendelse av Maxwells ligninger på rektangelet  $PQRS$  gir bølgefunksjonen for det elektromagnetiske felt. Bølgen propagerer i positiv  $x$ -retning.

der  $L$  omringer arelaet  $A$ .

Vi integrerer i pilenes retning og får da:

$$\begin{aligned} \oint_{PQRS} \vec{E} \cdot d\vec{L} &= -E(x, t) \cdot \Delta y + 0 + E(x + \Delta x, t) \cdot \Delta y + 0 \\ &= [E(x + \Delta x, t) - E(x, t)] \cdot \Delta y \end{aligned} \quad (5)$$

siden  $\vec{E} \perp QR$  og  $PS$ .

Når vi lar  $\Delta x \rightarrow 0$  og  $\Delta y \rightarrow 0$  får vi:

$$\lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ \Delta y \rightarrow 0}} \oint_{PQRS} \vec{E} \cdot d\vec{L} = \lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ \Delta y \rightarrow 0}} \frac{[E(x + \Delta x, t) - E(x, t)]}{\Delta x} \Delta x \Delta y = \frac{\partial E(x, t)}{\partial x} dx dy \quad (6)$$

$$\lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ \Delta y \rightarrow 0}} \int_{A=PQRS} \vec{B} \cdot d\vec{S} = B(x, t) dx dy \quad (7)$$

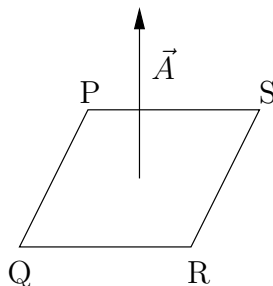
siden  $\vec{B} \perp \vec{A}$  der  $\vec{A}$  er gitt på figuren nedenfor.

(7) og (6) i (4) gir:

$$\frac{\partial E(x, t)}{\partial x} dx dy = -\frac{\partial}{\partial t} [B(x, t) dx dy] = -\frac{\partial B(x, t)}{\partial t} dx dy$$

og

$$\frac{\partial E(x, t)}{\partial x} = -\frac{\partial B(x, t)}{\partial t} \quad (8)$$



Vi nytter så A&F lign. (27.14) (med strømmen lik 0 siden vi har vakuum) på rektangelet PQRS i  $xz$ -planet.

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{L} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \int_A \vec{E} \cdot d\vec{S} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \oint_{PQRS} \vec{B} \cdot d\vec{L} &= B(x, t)\Delta z + 0 - B(x + \Delta x, t)\Delta z + 0 \\ &= -[B(x + \Delta x, t) - B(x, t)]\Delta z \end{aligned} \quad (10)$$

siden  $\vec{B} \perp QR$  og  $PS$ .

Når vi lar  $\Delta x \rightarrow 0$  og  $\Delta z \rightarrow 0$ :

$$\lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ \Delta z \rightarrow 0}} \oint_{PQRS} \vec{B} \cdot d\vec{L} = \lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ \Delta z \rightarrow 0}} -\frac{[B(x + \Delta x, t) - B(x, t)]}{\Delta x} \Delta x \Delta z = -\frac{\partial B(x, t)}{\partial x} dx dz \quad (11)$$

$$\lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ \Delta z \rightarrow 0}} \int_{PQRS} \vec{E} \cdot d\vec{S} = E(x, t) dx dz \quad (12)$$

(11) og (12) i (9) gir:

$$-\frac{\partial B(x, t)}{\partial x} dx dz = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} [E(x, t) dx dz] = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial E(x, t)}{\partial t} dx dz$$

og

$$-\frac{\partial B(x, t)}{\partial x} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial E(x, t)}{\partial t} \quad (13)$$

Merk at lign. (8) og (13) kopler elektrisk og magnetisk felt. Lign. (8) gir at dersom  $B$  varierer i tid, så må  $E$  variere i  $x$ -retning. Lign. (13) gir at dersom  $E$  varierer i tid, så må  $B$  variere i  $x$ -retning.

For å finne bølgeligningen for  $E$  partiellderiverer vi (8) m.h.p.  $x$  og (13) m.h.p.  $t$ :

$$\frac{\partial^2 E(x, t)}{\partial x^2} = -\frac{\partial^2 B(x, t)}{\partial x \partial t} \quad (14)$$

$$-\frac{\partial^2 B(x, t)}{\partial x \partial t} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 E(x, t)}{\partial t^2} \quad (15)$$

Sammenligning av (14) og (15) gir:

$$\frac{\partial^2 E(x, t)}{\partial x^2} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 E(x, t)}{\partial t^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E(x, t)}{\partial t^2} \quad \text{q.e.d.} \quad (16)$$

For å finne bølgeligningen for  $B$  partiellderiverer vi (8) m.h.p.  $t$  og (13) m.h.p.  $x$ :

$$\frac{\partial^2 E(x, t)}{\partial t \partial x} = -\frac{\partial^2 B(x, t)}{\partial t^2} \quad (17)$$

$$-\frac{\partial^2 B(x, t)}{\partial x^2} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 E(x, t)}{\partial t \partial x} \quad (18)$$

Sammenligning av (17) og (18) gir:

$$\frac{\partial^2 B(x, t)}{\partial x^2} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 B(x, t)}{\partial t^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 B(x, t)}{\partial t^2} \quad \text{q.e.d.} \quad (19)$$