1. Norsk: En bygning har dimensjoner 5,0 m X 10,0 m X 3,0 m høy. Volumet er V = 150 m^3. Totalt areal på vegger og tak er A_{vegg} = 140 m^2. Innetemperaturen er T_{inn} = 25°C og utetemperaturen er T_{out} = 10°C (vi ignorerer varmetapet gjennom vinduer foreløpig)
Luftens tetthet er: ρ = 1,29 kg/m^3
Varmekapasiteten ved konstant lufttrykk er: c_p = 1000 J /(kg °C)

Veggene og taket er 3 lag med materiale:
1: treverk med d_w = 2,0 cm med varmeledningsevne k_w = 0,08 (J/sm°C)
2: Isolasjon med d_i = 20,0 cm med termisk ledningsevne k_i = 0,03 (J/sm°C)
3: treverk med d_w = 2,0 cm med varmeledningsevne k_w = 0,08 (J/sm°C)

a) Beregn R-verdien for vegger og tak.
b) Beregn varmetapet per tid på grunn av ledning gjennom vegger og tak.
c) Hvis luften i bygningen skiftes ut hver 2. time, hvor stor er varmetapet per tid på grunn av konveksjon?
d) Hva er den totale varmetilførselen som trengs for å holde inne temperatur på t_{inn} = 25°C

English: A building has dimensions 5.0 m X 10.0 m X 3.0 m high. The volume is V = 150 m^3 . The total area of the walls and ceiling is A_{vegg} = 140 m^2 . The inside temperature is Tin = 25°C and the outside temperature is T_{out} = 10°C (we ignore the heat loss through windows for now)
The density of air is: ρ = 1.29 kg/ m^3
The heat capacity at constant pressure of air is: c_p = 1000 J /(kg °C)

The walls and ceiling are 3 layers of material:
1: wood d_w = 2.0 cm with thermal conductivity k_w = 0.08 (J/sm°C)
2: Insulation d_i = 20.0 cm with thermal conductivity k_i = 0.03 (J/sm°C)
3: wood d_w = 2.0 cm with thermal conductivity k_w = 0.08 (J/sm°C)

a) Calculate the R-value for the walls and ceiling.
b) Calculate the rate of heat loss due to conduction through the walls and ceiling.
c) If the air in the building is replaced every 2 hours, what is the rate of heat loss due to convection?
d) What is the total heat input needed to maintain the inside temperature of Tin = 25°C

Fasit:

a) The R values are given by: R = d/k and Rtot = $R_1 + R_2 + R_3$
For wood: $R_w = d_w/k_w$ = 0.02 m / 0.08 (J/sm°C) = 0.25 m^2 °C / W
For insulation: $R_i = d_i/k_i$ = 0.20 m / 0.03 (J/sm°C) = 6.67 m^2 °C / W

The total R value for 3 layers: $R_{tot} = R_w + R_i + R_w$

R_{tot} = 0.25 m^2 °C / W + 6.67 m^2 °C / W + 0.25 m^2 °C / W = 7.17 m^2 °C / W

b) Use $\dot{Q} = \frac{Q}{t} = \frac{A\Delta T}{R} = 140\ m^3 \cdot \frac{15°\text{C}}{7.17 m^2 °\text{C} / \text{W}}$ = 293 Watts
c) The heat needed to warm the air moved into the house from T_{out} to T_{in}

is given by: Q = m c ΔT

The mass of the air in the house is: $m_{air} = \rho_{air} V = 1.29\ kg/m^3 \cdot 150\ m^3 = 193.5\ kg$
We use cp = heat capacity at constant Pressure

The heat needed to warm the air is

$$Q = m_{air}\, c_p\, \Delta T = 193.5\ kg \cdot 1000\ kJ/kg\ °C \cdot 15°C = 2.90 \times 10^6\ Joules$$

The rate of heat loss is:

$$Q/t = 2.90 \times 10^6\ J/\ (2.0\ hours \cdot 60\ minutes/hour \cdot 60\ seconds/minute)$$

$$Q/t = 403\ joules/second = 403\ W$$

d) The total heat loss for conduction and convection is:

Qtot = 293 W + 403 W = 696 W

Norsk: En bygning varmes opp med varmtvann som sirkulerer i radiatorer for å levere varme til rommene. Radiatorene har et samlet areal på A_r = 10,0 m^2 og strålingsemissivitet e = 0,95. Vannet i radiatorene varmes opp av en oljefyr som varmer opp vannet til T_B = 80°C. Temperaturen i bygget holdes på T_{inn} = 20°C.

a) Hva er varmehastigheten som kan leveres til bygget gjennom radiatorene som varmes opp av oljefyr (T_B = 80,0 °C)?

b) Oljefyren i bygget erstattes med en varmepumpe som varmer opp vannet i radiatorene til T_{hp} = 60°C. Hva er varmen som kam leveres til huset med varmepumpen som bruker samme radiatorsystem?

English: A building is heated with hot water circulating in radiators to supply heat to the rooms. The radiators have a total area of A_r = 10.0 m^2 and radiation emissivity e = 0.95. The water in the radiators is heated by a boiler which heats the water to T_B = 80°C. The temperature in the building is kept at T_{in} = 20°C.

a) What is the rate of heat that can be delivered to the building through the radiators heated by the boiler (T_B = 80.0 °C)?

b) The boiler in the building is replaced with a heat pump which heats the water in the radiators to T_{hp} = 60°C. What is the rate of heat delivered to the house with the heat pump using the same radiator system?

Fasit: a) The heat radiated by the plates heated by the boiler is given by

$Q/t = \sigma\, e\, A\, (T_B^4 - T_R^4)$ T_B = Boiler temperature = 353 K
T_R = Room temperature

$Q/t = 5.67 \text{ X } 10\text{-}8\ (W/m^2\, K^4) \cdot 0.95 \cdot 10.0\ m^2 \cdot ((353K)^4 - (293K)^4)$

Q/t = 4394 W

b) The heat radiated by the plates heated by the heat pump is given by

$Q/t = \sigma\, e\, A\, (T_B^4 - T_R^4)$ T_B = Heat pump temperature = 333 K
T_R = Room temperature = 293 K

$Q/t = 5.67 \text{ X } 10\text{-}8\ (W/m^2\, K^4) \cdot 0.95 \cdot 10.0\ m^2 \cdot ((333K)^4 - (293K)^4)$

Q/t = 2654 W = 2.65 kW