

Rak-43.3510 Tulipalon dynamiikka, tentti 14.12.2011

Tarvittavia vakioita ja kaavoja käänöpuolella ja/tai toisella paperilla.

1. (a) Mitä tarkoitetaan syttymisrajoilla (alempi ja ylempi)? (2 p)
(b) Mikä on itsesyttymislämpötila? (2 p)
(c) Mikä on ylemmän ja alemman palamislämmön ero palotekniikassa? (2 p)
2. (a) Laske pyöreän allaspalon (kokonaispalteho 1,0 MW, altaan halkaisija 1,0 m, säteilyn osuus 30 %) liekin korkeus käyttämällä Heskestadin korrelaatioita. (3 p)
(b) Jos tämä allaspalon yläpuolella on katto 3,0 m korkeudella niin, mikä on katonalusvirtauksen lämpötila 1,5 m etäisyydellä palopatsaan keskiakselista mitattuna katon alapuolella? (3 p)
3. Kuvataan huonepaloa käyttämällä ns. t^2 -mitoituspaloa, jossa paloteho alkaa hiipua maksimi-arvostaan lineaarisesti kohti nollaa, kun polttoaineesta on kulutettu 70 %. Olkoon palon kasvuaikavakio $t_g = 300$ s (normaali palonkehittyminen). Huoneessa on yksi yksi avonainen ovi ($1,2 \text{ m} \times 2,0 \text{ m}$). Hahmottele mitoituspaloa kuvaava palotehokäyrä ja laske ajat t_1 (kasvu loppuu), t_2 (hiipuminen alkaa) ja t_3 (palon loppumisaika) sekä maksimipalteho, kun huoneessa olevan palokuorman määrän oletetaan olevan 6000 MJ. Vihje: palon kasvuaikavakio t_g on se aika, jona paloteho kasvaa nollasta yhteen megawattiin eli $\dot{Q}(t) = 1000 \text{ kW} \left(\frac{t}{t_g}\right)^2$. (6 p)
4. (a) Mitä tiedät adiabaattisesta liekinlämpötilasta ja hahmota adiabaattisen liekinlämpötilan laskemisen pääperiaate? (3 p)
(b) Laske adiabaattinen liekinlämpötila stoikiometriselle n-pentaani/ilma -seokselle, kun seoksen alkulämpötila on $T_0 = +20^\circ\text{C}$ ja n-pentaanin palamislämpö on $\Delta H_c = -3259 \text{ kJ/mol}$. Tarvittavia eri kaasujen moolisia lämpökapasiteetteja 1000 K:ssa käänöpuolella. Oletetaan, ettei kaasumolekyylien hajoamista tapahdu korkeissa lämpötiloissa. (n-pentaani: C_5H_{12} , ilma: 21 tilavuus-% happea ja 79 tilavuus-% typpeä) (3 p)
5. (a) Pala puuvillakangasta ($T_0 = 20^\circ\text{C}$) joutuu äkisti keskelle 150°C ilmavirtaa. Kuinka pian kangaspala (paksuus 0,6 mm) kuumenee 100°C lämpöiseksi, jos lämpösäteilyn vaikutusta ei huomioida ja $h = 20 \text{ W m}^{-2}\text{K}^{-1}$, $\rho = 300 \text{ kg m}^{-3}$ ja $c_p = 1400 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$. Johda tarvitsemasi kankaan lämpötilan nousua kuvaava differentiaaliyhälö. Oleta, että kangas on niin ohut, että sen lämpötila on sama kaikkialla (eli pintalämpötila on sama kuin lämpötila kankaan sisälläkin). (4 p)
(b) Laske konvektiivisen ja säteilylämmönsiirron suuruudet a-kohdan lopputilalle (kangas 100°C). Oleta, että kankaan emissiivisyys on 0,7 ja ympäristön lämpötila on sama kuin ilmavirrankin eli 150°C . Oliko a-kohdan oletus säteilylämmönsiirron unohtamisesta paikallaan? (2 p)

Tehtävä nro 6 paperin käänöpuolella!

Käännä!

Käännä!

6. D. Drysdale, 2nd ed., tehtävä 8.2

A serious fire broke out in the cable trays in the machine hall of a large factory producing tissue paper. The trays, 60 cm wide, were located below the ceiling at a height of 15 m, and had accumulated a fibrous fluffy deposit over a substantial period of time: the deposit was thought to be 25 cm deep. The ambient temperature below the ceiling was known to be about 40°C during operation of the plant below. The cables (covered by the dust) were working well below their design capacity and there was no evidence of an electrical fault having caused the fire. Spontaneous ignition was suggested. A series of tests was carried out which gave the following data on the critical temperatures of four sizes of sample in the form of cubes.

Cube size ($2r_0$, mm)	Critical temperature (°C)
25	188
50	166
100	142
250	119

Use these data to estimate whether or not spontaneous ignition of the dust layer (at 40°C) could have caused the fire. Assume as a first approximation that the layer can be treated as an infinite slab.

Ohje: $\delta_{cr} = 0.878$ äärettömälle tasolevylle, jonka paksuus on $2r_0$, ja $\delta_{cr} = 2.52$ kuutilolle, jonka särän män pituus on $2r_0$. (6 p)

Fysikaalisia vakioita, vakiot annettu 20°C lämpötilassa, ellei toisin mainita:

$$R = 8.31431 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}, \sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2}\text{K}^4, g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$$

$$k_{\text{ilma}} = 0.026 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}, \mu_{\text{ilma}} = 1.82 \cdot 10^{-5} \text{ N s m}^{-2}, \nu_{\text{ilma}} = 1.51 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1},$$

$$c_{\text{p,ilma}} = 1000 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}, M_{\text{w,ilma}} = 28.95 \text{ g mol}^{-1}, p_0 = 101350 \text{ Pa}$$

$$C_{p,O_2}^{1000 \text{ K}} = 34.9 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}, C_{p,N_2}^{1000 \text{ K}} = 32.7 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}, C_{p,CO_2}^{1000 \text{ K}} = 54.3 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}, C_{p,H_2O}^{1000 \text{ K}} = 41.2 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$$

$$M_{\text{w,O}_2} = 32 \text{ g mol}^{-1}, M_{\text{w,N}_2} = 28 \text{ g mol}^{-1}, M_{\text{w,H}_2} = 2 \text{ g mol}^{-1}, M_{\text{w,C}} = 12 \text{ g mol}^{-1}$$

$$k_{\text{steel}} = 42 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}, \rho_{\text{steel}} = 7850 \text{ kg m}^{-3}, c_{\text{p,steel}} = 600 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1},$$

Mahdollisesti tarvittavia yhtälöitä:

Heskestadin palopatsasmalli: virtuaalinen origo z_0 (m), liekkinkorkeus L (m), \dot{Q} kokonaispaloteho (kW), \dot{Q}_{conv} konvektiivinen paloteho (kW), halkaisija D (m), patsaan (puoli)leveys b (m), lämpötila keskiakselilla T_0 , lämpötilan nousu keskiakselilla ΔT_0 (°C tai K), virtausnopeus keskiakselilla u_0 (m/s), palopatsaan massavirta \dot{m}_p (kg/s) tiellä korkeudella

$$z_0 = 0.083 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1.02 D \quad ; \quad L = 0.235 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1.02 D$$

$$b(z) = 0.12 \cdot \left(\frac{T_0}{T_\infty} \right)^{1/2} (z - z_0) \quad ; \quad \Delta T_0(z) = 25 \cdot \left(\frac{\dot{Q}_{\text{conv}}^{2/5}}{(z - z_0)} \right)^{5/3} \quad ; \quad u_0(z) = 1.0 \cdot \left(\frac{\dot{Q}_{\text{conv}}}{(z - z_0)} \right)^{1/3}$$

$$\dot{m}_p(z) = 0.071 \cdot \dot{Q}_{\text{conv}}^{1/3} \cdot (z - z_0)^{5/3} + 1.92 \cdot 10^{-3} \cdot \dot{Q}_{\text{conv}}, \quad z > L \quad ; \quad \dot{m}_p(z) = 0.0056 \cdot \dot{Q}_{\text{conv}} \frac{z}{L}, \quad z < L$$

F-K -malli itsesyttymiselle: $T_{a,cr}$ (K) kriittinen lämpötila, C_1 ja C_2 materiaalivakioita (kokeellisiin tuloksiin sovitut), r_0 (m) dimensio, δ_{cr} geometriaparametri

$$\ln \left(\frac{\delta_{cr} T_{a,cr}^2}{r_0^2} \right) = C_1 + \frac{C_2}{T_{a,cr}}$$

Alpertin kaavat katonalusvirtaukselle: paloteho \dot{Q} (kW), huoneen korkeus H (m), vaakasuora etäisyys palopatsaan keskiakselilta mitattuna r (m), lämpötilan nousu ΔT (K tai C), maksimivirtausnopeus u_{\max} (m/s)

$$\Delta T = \frac{16.9 \cdot \dot{Q}^{2/3}}{H^{5/3}}, \quad \frac{r}{H} < 0.18 \quad ; \quad \Delta T = \frac{5.38 \cdot (\dot{Q}/r)^{2/3}}{H}, \quad \frac{r}{H} > 0.18$$

$$u_{\max} = 0.96 \cdot \left(\frac{\dot{Q}}{H} \right)^{1/3}, \quad \frac{r}{H} < 0.15 \quad ; \quad u_{\max} = \frac{0.195 \cdot \dot{Q}^{1/3} H^{1/2}}{r^{5/6}}, \quad \frac{r}{H} > 0.15$$

Käännä!

Käännä!

Allaspalon palamisnopeus/pinta-ala \dot{m}'' (kg/s/m^2): \dot{m}_{∞}'' (kg/s/m^2) suuren altaan palamisnopeus/pinta-ala, k liekin absroptiokerroin ($1/\text{m}$), β keskimääräisen liekin paksuuden korjauskerroin, ympyränmuotoisen altaan halkaisija D (m)

$$\dot{m}'' = \dot{m}_{\infty}'' (1 - e^{-k\beta D})$$

Happirajoitteisen palon paloteho \dot{Q} : Aukkojen pinta-ala A_0 , aukkojen pinta-aloilla painotettu keskimääräinen korkeus h_0

$$\dot{Q} = 1.5A_0\sqrt{h_0}, \quad [Q] = \text{MW}, [A_0] = \text{m}^2, [h_0] = \text{m}$$

Clausius-Clapeyron -yhtälö: höyrynpaine p (MPa), kokeelliset vakiot C (MPa) ja L_v (J/mol), lämpötila T (K), kaasuvakio R (J/mol/K)

$$p = C \exp\left(\frac{-L_v}{RT}\right)$$

Lämmönsiirto kuljettumalla: lämpövirran suuruus \dot{q}'' (W/m^2), konvektiokerroin h ($\text{W m}^{-2} \text{K}$), kaasun ja pinnan lämpötilaero ΔT (K)

$$\dot{q}'' = h\Delta T$$

Lämmönsiirto säteilemällä kappaleen ja tasalämpöisen ympäristön kanssa: lämpövirran suuruus \dot{q}'' (W/m^2), pinnan emissiivisyys ϵ_1 , Stefan-Boltzmannin vakio σ , pinnan lämpötila T_1 (K), ympäristön lämpötila T_0

$$\dot{q}_{1,\text{net}}'' = \epsilon_1\sigma(T_1^4 - T_0^4)$$

Käännä!

Käännä!