

12 Läckning: flöden och halter

Läckning kan innebära såväl infiltration av luft i byggnader som förorenings-spridning mellan lokaler. Här har först återgivits de ekvationer (1,2,3,4) som används för att beräkna infiltration (och exfiltration) av luft i byggnader p g a vindtryck och temperaturskillnader i lokal eller mellan lokal och uteluft. Efter dessa kommer tre stycken beräkningar av föroreningsöverföring mellan olika lokaler. Den första av dessa (5) behandlar en luftsluss medan de övriga två (6,7) anger vilka halter som erhålls i en lokal till vilken förorenad luft läcker. Dessa tre samband har erhållits genom lösning av de differentialekvationer som erhålls vid uppställandet av massbalanser och ser relativt besvärliga ut. Vid stationära förhållanden förenklas dock uttrycken avsevärt, vilket framgår av (7).

12.1 Vindtryck vid ostörd strömning

$$\Delta p = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \approx 0,6 \cdot v^2 \quad (1)$$

Δp = tryckdifferens
 ρ = luftens täthet
 v = vindhastighet.

12.2 Generell infiltrationsekvation

a)

$$q = C \cdot (\Delta p)^n \quad (2)$$

- q = infiltrerande flöde, lit/s
 Δp = tryckdifferens (jfr 12.1)
 C = flödeskoefficient vid konstant tryck (lit /s • m eller lit/s • m²)
 n = flödesexponent (0,5 < n < 1, vanligen ~ 0,65).

b)

$$q = C \cdot (\Delta p)^n \quad (3)$$

- q = totalt läckage per ytenhet yttervägg, m³/s • m²
 C = flödeskoefficient, m³/s • m² • (Pa)ⁿ
 Δp = tryckdifferens över yttervägg, Pa
 n = flödesexponent ≈ 0,65, för springor i väggar, dörrar, fönster. För stora öppningar n=0,5 och för poröst material n=1.

För n = 0,65 och olika täta väggar anges följande värden på C:

Tätt: $C = 3 \cdot 10^{-4}$

Medel: $C = 5 \cdot 10^{-4}$

Otätt: $C = 7 \cdot 10^{-4}$

12.3 Teoretiskt skorstensdrag

$$\Delta p = 0,0342 \cdot P \cdot h \cdot \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_i} \right) \quad (4)$$

- Δp = tryckdifferens, Pa
 P = atmosfärstryck, Pa
 h = avstånd från tryckneutral nivå eller effektiv skorstenshöjd, m

$$= \frac{H}{1 + (A_1/A_2)^2 \cdot (T_i/T_u)}$$

- T_u = absolut temperatur (ute), K
 T_i = absolut temperatur (inne), K
 A_1 = lägre öppningsarea, m²
 A_2 = högre öppningsarea, m²
 H = vertikalt avstånd mellan A_1 och A_2 , m. Här är $T_i > T_u$, om $T_u > T_i$, invertera.

Flödet kan därefter beräknas enligt

$$q = A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (5)$$

12.4 Flöde p g a termisk effekt

$$q = 0,116 \cdot A \cdot \sqrt{h \cdot (t_i - t_u)} \quad (6)$$

a) (Inloppsarea = Utloppsarea, öppningsfaktor = 65 %.)

q = luftflöde, m³/s

A = fri öppningsarea, m²

h = höjdvstånd mellan öppningarna, m

t_i = medeltemperatur inomhus i volymen med höjden h , °C

t_u = utomhustemperatur, °C.

b) Flöde mellan två volymer på samma nivå och med olika temperatur

$$F = C_d \cdot \frac{W}{3} \cdot \left[g \cdot H^3 \cdot \left(\frac{\Delta T}{T} \right) \right]^{0,5} \quad (7)$$

$$C_d = 1,36 \cdot e^{-6,39 \cdot A}$$

F = volymsflöde mellan volymerna, m³/s

W = öppningens bredd, m

H = öppningens höjd, m

g = 9,81 m/s²

C_d = flödeskoefficient

A = $W \cdot H$

ΔT = temperaturdifferens mellan volymerna, K

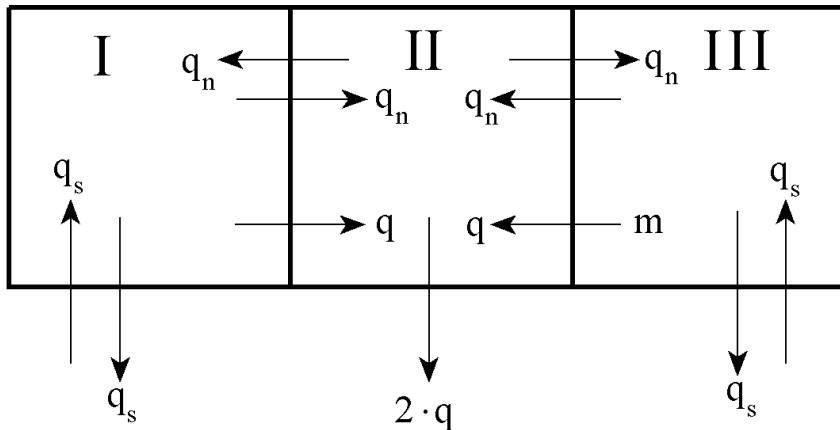
T = medeltemperatur för de två volymerna, K

12.5 Luftsluss av enkammartyp, stationär föroreningshalt, total omblandning

$$C_I = \frac{q_n \cdot m}{2 \cdot (q + q_s) \cdot (q + q_s + q_n)} \quad (8)$$

$$C_{II} = \frac{m}{2 \cdot (q + q_s)} \quad (9)$$

$$C_{III} = \frac{m \cdot [2 \cdot (q + q_s) + q_n]}{2 \cdot (q + q_s) \cdot (q + q_s + q_n)} \quad (10)$$



C_I = halt i skyddat område (I)

C_{II} = halt i sluss (II)

C_{III} = halt i omgivande volym (III)

q_n = luftflöde från II till I och från I till II och från III till II och från II till III p g a personförflyttning mellan områdena

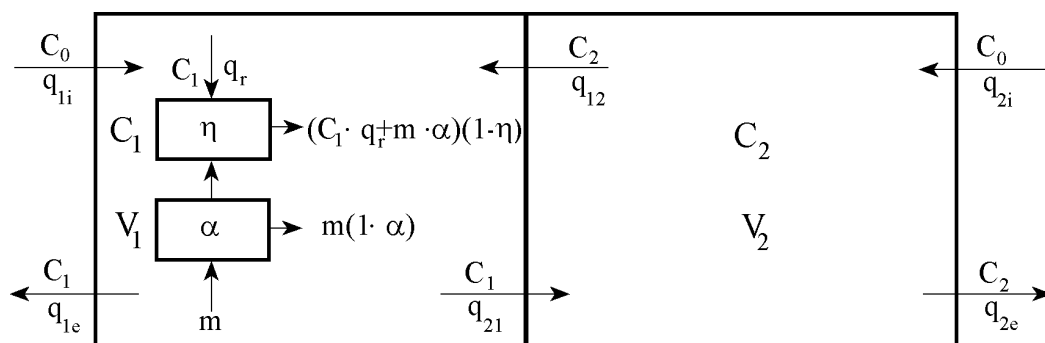
q = luftflöde från I till II för att hålla tryckdifferens (undertryck i sluss), lika med luftflöde från III till II, lika med luftflöde till I respektive III.

$2 \cdot q$ = evakuerat luftflöde från sluss

q_s = luftflöde till och från I och III

m = föroreningsalstring i område III.

12.6 Föroreningshalt vid alstring, återluft och läckning, total omblandning (Jfr kapitel 10 och 11)



$$C_1(t) = K_{11} \cdot e^{-m_1 \cdot t} + K_{12} \cdot e^{-m_2 \cdot t} + C_{1s} \quad (11)$$

$$C_1(0) = C_{10} \quad (12)$$

$$C_2(t) = K_{21} \cdot e^{-m_1 \cdot t} + K_{22} \cdot e^{-m_2 \cdot t} + C_{2s} \quad (13)$$

$$C_2(0) = C_{20} \quad (14)$$

$$C_{1s} = \frac{G_1 \cdot A_{22} + G_2 \cdot A_{12}}{A_{11} \cdot A_{22} - A_{12} \cdot A_{21}} \quad (15)$$

$$C_{2s} = \frac{G_2 \cdot A_{11} + G_1 \cdot A_{21}}{A_{11} \cdot A_{22} - A_{12} \cdot A_{21}} \quad (\text{steady-state}) \quad (16)$$

$$G_1 = [m \cdot (1 - \alpha \cdot \eta) + C_0 \cdot q_{1i}] / V_1 \quad (17)$$

$$G_2 = C_0 \cdot q_{2i} / V_2 \quad (18)$$

$$A_{11} = (\eta \cdot q_r + q_{21} + q_{1e}) / V_1 \quad (19)$$

$$A_{12} = q_{12} / V_1 \quad (20)$$

$$A_{21} = q_{21} / V_2 \quad (21)$$

$$A_{22} = (q_{12} + q_{2e}) / V_2 \quad (22)$$

$$m_{1,2} = \frac{1}{2} \cdot \left[A_{11} + A_{22} + \sqrt{(A_{11} - A_{22})^2 + 4 \cdot A_{12} \cdot A_{21}} \right] \quad (23)$$

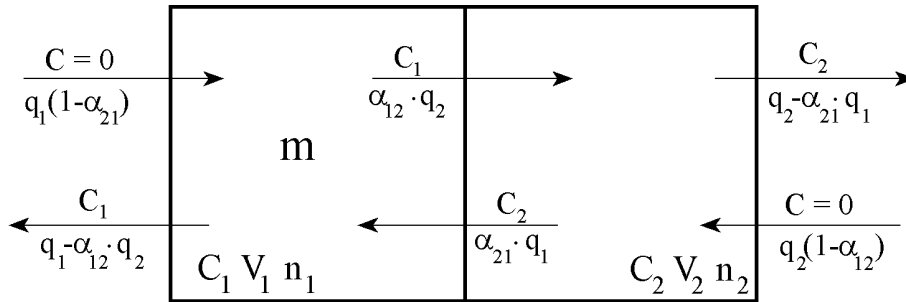
$$K_{11} = \left[(C_{10} - C_{1s}) - (C_{20} - C_{2s}) (A_{22} - m_2) / A_{21} \right] \cdot \frac{A_{11} - m_2}{(m_1 - m_2)} \quad (24)$$

$$K_{12} = \left[(C_{20} - C_{2s}) - (C_{10} - C_{1s}) (A_{11} - m_1) / A_{12} \right] \cdot \frac{A_{12}}{(m_1 - m_2)} \quad (25)$$

$$K_{21} = \left[(C_{10} - C_{1s}) - (C_{20} - C_{2s}) (A_{22} - m_2) / A_{21} \right] \cdot \frac{A_{21}}{(m_1 - m_2)} \quad (26)$$

$$K_{22} = \left[(C_{20} - C_{2s}) - (C_{10} - C_{1s}) (A_{11} - m_1) / A_{12} \right] \cdot \frac{A_{22} - m_1}{(m_1 - m_2)} \quad (27)$$

12.7 Föroreningshalt vid läckning, total omblandning



- $n_1 = q_1/V_1$
 $n_2 = q_2/V_2$
 $m =$ föroreningsalstring (steg, d v s vid $t=0$ är $m=0$ och vid $t=0+$ är $m=m$)
 $\alpha_{21} =$ andel av luftflödet genom rum 1 som erhålls genom läckning från rum 2

$$C_1 = \frac{1}{1 - \alpha_{12} \cdot \alpha_{21}} \cdot \frac{m}{q_1} \cdot$$

$$\cdot \left[1 + \frac{1}{\beta_1 - \beta_2} \cdot \left(\frac{n_2 - \beta_1}{n_2} \cdot \beta_2 \cdot e^{\beta_1 \cdot t} - \frac{n_2 - \beta_2}{n_2} \cdot \beta_1 \cdot e^{-\beta_2 \cdot t} \right) \right] \quad (28)$$

$$C_2 = \frac{\alpha_{12}}{1 - \alpha_{12} \cdot \alpha_{21}} \cdot \frac{m}{q_1} \cdot \left[1 + \frac{1}{\beta_1 - \beta_2} \cdot \left(\beta_2 \cdot e^{-\beta_1 \cdot t} - \beta_1 \cdot e^{-\beta_2 \cdot t} \right) \right] \quad (29)$$

$$\beta_{1,2} = \frac{n_1 + n_2}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(n_1 - n_2)^2 + 4 \cdot \alpha_{12} \cdot \alpha_{21} \cdot n_1 \cdot n_2} \quad (30)$$

Om $\alpha_{21} = 0$ erhålls, d v s läckning sker endast från rum 1 till rum 2

$$C_1 = \frac{m}{q_1} \cdot (1 - e^{-n_1 \cdot t}) \quad (31)$$

$$C_2 = \alpha_{12} \cdot \frac{m}{q_1} \cdot \left[1 + \frac{1}{n_1 - n_2} \cdot (n_2 \cdot e^{-n_1 \cdot t} - n_1 \cdot e^{-n_2 \cdot t}) \right] \quad (32)$$

Vid fortfarighet ($\alpha_{12} \neq \alpha_{21} \neq 0$)

$$C_1 = \frac{1}{1 - \alpha_{12} \cdot \alpha_{21}} \cdot \frac{m}{q_1} \quad (33)$$

$$C_2 = \alpha_{12} \cdot \frac{m}{q_1} = \alpha_{12} \cdot C_1 \quad (34)$$

Vid fortfarighet och $\alpha_{21} = 0$

$$C_1 = \frac{m}{q_1} \quad (35)$$

$$C_2 = \frac{\alpha_{12}}{1 - \alpha_{12} \cdot \alpha_{21}} \cdot \frac{m}{q_1} = \alpha_{12} \cdot C_1 \quad (36)$$