

# Ατμοσφαιρική Διάχυση & Διασπορά

## Ασκήσεις



- *Μονάδες μέτρησης των συγκεντρώσεων των ρύπων στον αέρα*

## Ασκήσεις

- 1) Να βρεθεί η συγκέντρωση κ.β. 1 ppm  $SO_2$  όταν η πίεση είναι 1 atm και η θερμοκρασία  $25^\circ C$ .
- 2) Να βρεθεί η συγκέντρωση κ.ό.  $1800 \mu g/m^3 NO$  όταν η πίεση είναι 1 atm και η θερμοκρασία  $25^\circ C$ .
- 3) Το όριο επιφυλακής για μέσες ωριαίες τιμές του  $O_3$  είναι  $180 \mu g m^{-3}$ . Να μετατραπεί αυτό το όριο σε μονάδες ppm και ppb όταν η πίεση ισούται με 1013 mbar και η θερμοκρασία με  $25^\circ C$ .
- 4) Αν το όριο επιφυλακής για το  $O_3$  είναι  $180 \mu g/m^3$ , να βρεθεί αν συγκέντρωση  $O_3=100$  ppb ξεπερνά αυτό το όριο ( $P=0.98$  atm, και  $T=300$  K)
- 5) Αν το όριο επιφυλακής για το  $SO_2$  είναι  $350 \mu g/m^3$ , να βρεθεί η συγκέντρωση κατά όγκο για
  - i.  $P=990$  mbar και  $\theta=5^\circ C$
  - ii.  $P=1030$  mbar και  $\theta=40^\circ C$

$$AB_S=32, AB_O=16, AB_N=14, R=8.206 * 10^{-5} m^3 atm K^{-1} mol^{-1}$$

1.

$$C^v = 1 \text{ ppm SO}_2$$

$$P = 1013.25 \text{ mbar} = 1 \text{ atm}$$

$$\theta = 25^\circ\text{C} \rightarrow T = 273 + 25 = 298 \text{ K}$$

$$MB(\text{SO}_2) = 64$$

$$C^m = ?$$

*Λύση*

$$C^m = \frac{C^v \cdot P \cdot MB}{R \cdot T}$$

$$C^m = \frac{1 \text{ ppm} \cdot 1 \text{ atm} \cdot 64}{8.206 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 298 \text{ K}}$$

$$C^m = 2617 \mu\text{g} / \text{m}^3$$

2.

$$C^m = 1800 \mu\text{g} / \text{m}^3 \text{ NO}$$

$$P = 1013.25 \text{ mbar} = 1 \text{ atm}$$

$$\theta = 25^\circ\text{C} \rightarrow T = 273 + 25 = 298 \text{ K}$$

$$MB(\text{NO}) = 30$$

$$C^v = ?$$

*Λύση*

$$C^m = \frac{C^v \cdot P \cdot MB}{R \cdot T} \Leftrightarrow C^v = \frac{C^m \cdot R \cdot T}{P \cdot MB}$$

$$C^v = \frac{1800 \mu\text{g m}^{-3} \cdot 8.206 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 298 \text{ K}}{1 \text{ atm} \cdot 30}$$

$$C^v = 1.47 \text{ ppm} = 1470 \text{ ppb}$$

3.

$$C^m = 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$P = 1013 \text{ mbar}$$

$$\theta = 25^\circ\text{C} \rightarrow$$

$$T = 273.2 + 25 = 298.2 \text{ K}$$

$$MB(O_3) = 48$$

$$C^v = ? \text{ ppm, ppb}$$

*Λύση*

$$C^m = \frac{C^v \cdot 100 \cdot P \cdot MB}{8.314 \cdot T} \Rightarrow C^v = \frac{C^m \cdot 8.314 \cdot T}{100 \cdot P \cdot MB} \Rightarrow$$

$$C^v = \frac{180 \cdot 8.314 \cdot 298.2}{100 \cdot 1013 \cdot 48} \text{ ppm} = 0.0918 \text{ ppm} \Rightarrow$$

$$C^v = 0.0918 \text{ ppm} \quad \eta \quad C^v = 91.8 \text{ ppb}$$

4.

$$C^v = 100 \text{ ppb } O_3$$

$$P = 0.98 \text{ atm}$$

$$T = 300 \text{ K}$$

$$O.E. O_3 = 180 \mu\text{g}/\text{m}$$

$$MB(O_3) = 48$$

$$C^v > O.E. O_3 ?$$

*Λύση*

$$C^m = \frac{C^v \cdot P \cdot MB}{R \cdot T}$$

$$C^m = \frac{100 \cdot 10^{-3} \text{ ppm} \cdot 0.98 \text{ atm} \cdot 48}{8.206 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 300 \text{ K}}$$

$$C^m = 191.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$C^m > O.E.$$

5.

$$C^m = 350 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ SO}_2$$

*i)*  $P = 990 \text{ mbar}$ ,  $T = 278 \text{ K}$

*ii)*  $P = 1030 \text{ mbar}$ ,  $T = 313 \text{ K}$

$$MB(\text{SO}_2) = 64$$

$$C^v = ?$$

**Λύση**

$$C^m = \frac{C^v \cdot 100 \cdot P \cdot MB}{8.314 \cdot T} \Rightarrow C^v = \frac{C^m \cdot 8.314 \cdot T}{100 \cdot P \cdot MB}$$

*i)* 
$$C^v = \frac{350 \cdot 8.314 \cdot 278}{100 \cdot 990 \cdot 64} = 0.128 \text{ ppm}$$

*ii)* 
$$C^v = \frac{350 \cdot 8.314 \cdot 313}{100 \cdot 1030 \cdot 64} = 0.138 \text{ ppm}$$

□ *Κεφαλαίο 2 - Ασκήσεις*

## Άσκηση 2.1

Το ετήσιο επιτρεπόμενο όριο για τα σωματίδια είναι  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Με κάθε αναπνοή εισπνέουμε  $1 \text{ lt}$  αέρα. Πόσα γραμμάρια σωματιδίων εισπνέουμε ετησίως αν ζούμε σε περιβάλλον αντίστοιχης συγκέντρωσης; Αν τα σωματίδια είναι σφαίρες διαμέτρου  $5 \mu\text{m}$  και πυκνότητας  $1200 \text{ kg}/\text{m}^3$  ποιος είναι ο αριθμός των σωματιδίων που εισπνέουμε σε αυτή την περίπτωση;

*Παραδοχή: Μια εισπνοή ανά 5 δευτερόλεπτα*

$$C_p = 50 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ g}/\text{m}^3$$

$$V_b = 1 \text{ lt} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$v_b = 1 \text{ εισπνοή} / 5 \text{ sec}$$

$$d_p = 5 \mu\text{m} \rightarrow r_p = 2.5 \mu\text{m} = 2.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$\rho_p = 1200 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$i) \quad M_p = ?$$

$$ii) \quad N_p = ?$$

### Λύση

i)

$T_y$ : Δευτερόλεπτα/έτος

$$T_y = 365 \text{ ημέρες} \times 24 \text{ ώρες} \times 60 \text{ λεπτά} \times 60 \text{ δευτερόλεπτα} \rightarrow$$

$$T_y = 31536000 \text{ sec}$$

$N_y$ : Αριθμός εισπνοών/έτος

$$N_y = T_y \cdot v_b = 31536000 \times 1/5 \rightarrow$$

$$N_y = 6307200 \text{ εισπνοές}$$



**$V_y$ : Όγκος εισπνεόμενου αέρα/έτος**

$$V_y = N_y \cdot V_b = 6307200 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \rightarrow V_y = 6307.200 \text{ m}^3$$

**$M_p$ : Μάζα σωματιδίων/έτος**

$$C_p = M_p / V_y \rightarrow M_p = C_p \cdot V_y \rightarrow M_p = 5 \cdot 10^{-5} \text{ g/m}^3 \cdot 6307.2 \text{ m}^3 \rightarrow M_p = 0.31536 \text{ g}$$

ii)

**$V_p$ : Όγκος σωματιδίου**

$$V_p = \frac{4}{3} \pi r_p^3 \rightarrow V_p = \frac{4}{3} \cdot 3.14 \cdot 15.625 \times 10^{-18} \text{ m}^3 \rightarrow V_p = 65.42 \times 10^{-18} \text{ m}^3$$

**$m_p$ : Μάζα σωματιδίου**

$$\rho_p = m_p / V_p \rightarrow m_p = \rho_p \cdot V_p \rightarrow m_p = 1200 \text{ kg/m}^3 \cdot 65.42 \times 10^{-18} \text{ m}^3 \rightarrow$$

$$m_p = 7.8504 \times 10^{-14} \text{ kg} \rightarrow m_p = 7.8504 \times 10^{-11} \text{ g}$$

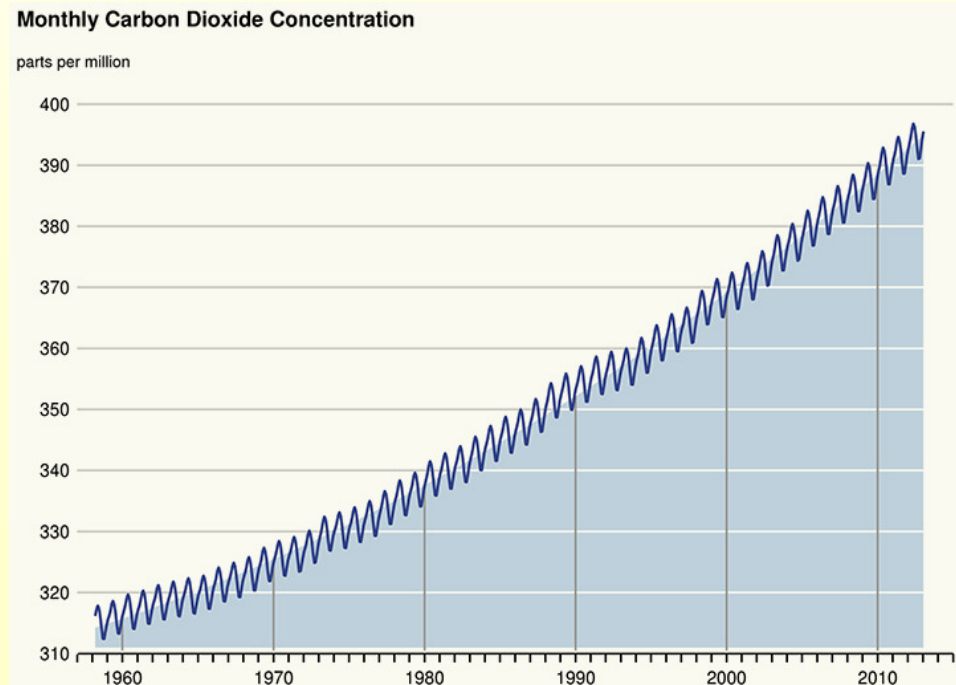
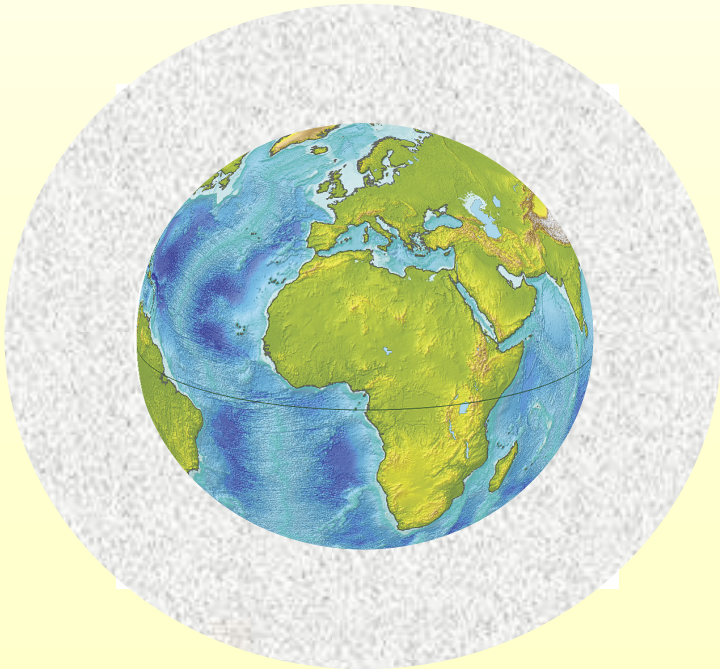
**$N_p$ : Αριθμός σωματιδίων/έτος**

$$N_p = M_p / m_p = 0.31536 \text{ g} / 7.8504 \times 10^{-11} \text{ g} \rightarrow N_p = 4.02 \times 10^9 \text{ σωματίδια}$$

## Άσκηση 2.2

Στον πόλεμο του Κόλπου καίγονταν 6000000 βαρέλια πετρελαίου την ημέρα τυπικής χημικής σύστασης  $C_6H_{14}$  και τυπικής πυκνότητας  $\rho=660 \text{ kg/m}^3$ . Πόσο αυξήθηκε η συγκέντρωση  $CO_2$  στην ατμόσφαιρα μετά από 6 μήνες συνεχούς καύσης των πετρελαιοπηγών αν θεωρηθεί ότι δεν υπήρχαν πηγές καταστροφής του; ( $1 \text{ br}=0,26 \text{ m}^3$ ,  $R_e=6370 \text{ km}$ ,  $AB_C=12$ ,  $AB_H=1$ ,  $AB_O=16$ )

**Παραδοχή:** Το  $CO_2$  έφτασε ως την στρατόσφαιρα σε ύψος 25 km από την επιφάνεια της γης.



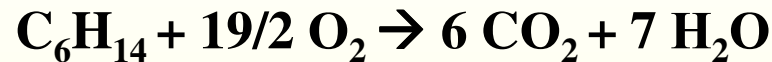
### *Όγκος πετρελαίου/ημέρα*

$$V_{\pi} = 6 \cdot 10^6 \cdot 0,26 \text{ m}^3 = 1,56 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

### *Μάζα $C_6H_{14}$ /ημέρα m*

$$m = \rho \cdot V_{\pi} \Rightarrow m = 660 \text{ kg m}^{-3} \cdot 1,56 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \Rightarrow m = 1,0296 \cdot 10^9 \text{ kg}$$

### *Καύση $C_6H_{14}$*



1 mol  $C_6H_{14}$  δίνει 6 mol  $CO_2$

MB( $C_6H_{14}$ ) kg δίνει 6 MB( $CO_2$ ) kg

86 kg  $C_6H_{14}$  δίνουν 264 kg  $CO_2$

$1,0296 \cdot 10^9$  kg  $C_6H_{14}$  δίνουν  $3,161 \cdot 10^9$  kg  $CO_2$

*Μάζα  $CO_2$ /ημέρα*  $m_{CO_2} = 3,161 \cdot 10^9$  kg

*Μάζα  $CO_2$  σε 6 μήνες*  $M_{CO_2} = 182 \cdot 3,161 \cdot 10^9 \text{ kg} = 5,75302 \cdot 10^{11} \text{ kg}$

### *Όγκος αέρα που κατέλαβε το $CO_2$*

$$V_a = 4/3 \pi R^3 - 4/3 \pi R_e^3 = 4/3 \pi (R_e + 25)^3 - 4/3 \pi R_e^3 = \\ = 1,096 \cdot 10^{12} \text{ km}^3 - 1,083 \cdot 10^{12} \text{ km}^3 = 1,3 \cdot 10^{10} \text{ km}^3 = 1,3 \cdot 10^{19} \text{ m}^3$$

### *Αύξηση συγκέντρωσης $CO_2$ ως το ύψος των 25 km*

$$\Delta C = M_{CO_2} / V_a = 5,75302 \cdot 10^{20} \text{ } \mu\text{g} / 1,3 \cdot 10^{19} \text{ m}^3$$

$$\Delta C = 44,254 \text{ } \mu\text{g/m}^3 \text{ ή}$$

$$\Delta C = 44,254 \text{ } \mu\text{g/m}^3 \times 0,56 \cdot 10^9 \text{ ppm} / (\text{ } \mu\text{g/m}^3) = 0,025 \text{ ppm} = 250 \text{ ppb}$$

□ *Κεφαλαίο 3 - Ασκήσεις*

### **Άσκηση 3.1**

*Σημειακή πηγή εκπέμπει στην ατμόσφαιρα ρύπο με ρυθμό  $Q=60$  g/s. Ο θύσανος είναι κωνικής μορφής και η ταχύτητα του ανέμου είναι  $u=5$  m/s. Ποια είναι η μέγιστη συγκέντρωση στο έδαφος μετά από  $t=10$  min και μετά από  $t=1$  day αν το ενεργό ύψος είναι*

*i)  $H_1=50$  m*

*ii)  $H_2=100$  m*

### Λύση

$$Q=60 \text{ g/s}$$

$$u=5 \text{ m/s}$$

$$t=10 \text{ min, } C=?$$

$$t=1 \text{ day, } C=?$$

$$i) H_1=50 \text{ m}$$

$$ii) H_2=100 \text{ m}$$

$$t=10 \text{ min} \rightarrow C_s = \frac{Q}{\pi u H^2}$$

$$t=1 \text{ day} \rightarrow C_d = \frac{C_s}{60} = \frac{Q}{60\pi u H^2}$$

#### *i) $H_1=50 \text{ m}$*

$$C_{s1} = \frac{Q}{\pi u H_1^2} = \frac{60 \cdot 10^6 \mu\text{g/s}}{3.14 \cdot 5 \text{ m/s} \cdot (50 \text{ m})^2} \Rightarrow C_{s1} \cong 1528.7 \mu\text{g/m}^3$$

$$C_{d1} = \frac{C_{s1}}{60} \cong \frac{1528.7 \mu\text{g/m}^3}{60} \Rightarrow C_{d1} \cong 25.5 \mu\text{g/m}^3$$

#### *ii) $H_2=100 \text{ m}$*

$$C_{s2} = \frac{Q}{\pi u H_2^2} = \frac{60 \cdot 10^6 \mu\text{g/s}}{3.14 \cdot 5 \text{ m/s} \cdot (100 \text{ m})^2} \Rightarrow C_{s2} \cong 382.2 \mu\text{g/m}^3$$

$$C_{d2} = \frac{C_{s2}}{60} \cong \frac{382.2 \mu\text{g/m}^3}{60} \Rightarrow C_{d2} \cong 6.4 \mu\text{g/m}^3$$

$$H_2 = 2H_1 \# C_{s2} = C_{s1}/4 \text{ \& } C_{d2} = C_{d1}/4$$

### Άσκηση 3.2

Τα προτεινόμενα όρια επιφυλακής για το  $SO_2$  είναι  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  για μέση τιμή 10λέπτου και  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  για μέση ημερήσια τιμή. Ποιο θα πρέπει να είναι το ελάχιστο ενεργό ύψος εκπομπής ώστε να μη γίνεται υπέρβαση των ορίων σε καμία από τις δύο περιπτώσεις, αν ο ρυθμός εκπομπής του  $SO_2$  είναι  $Q=80 \text{ g/s}$  κι η ταχύτητα του ανέμου είναι  $u=7 \text{ m/s}$ ;

## Λύση

$$Q=80 \text{ g/s}$$

$$u=7 \text{ m/s}$$

$$i) t=10 \text{ min}, C=500 \mu\text{g/m}^3$$

$$ii) t=1 \text{ day}, C=20 \mu\text{g/m}^3$$

$$H_{\min}=?$$

$$i) t=10 \text{ min}$$

$$C_s = \frac{Q}{\pi u H_s^2} \Leftrightarrow H_s^2 = \frac{Q}{\pi u C_s} \Leftrightarrow H_s = \sqrt{\frac{Q}{\pi u C_s}} \Rightarrow$$

$$H_s = \sqrt{\frac{80 \cdot 10^6 \mu\text{g/s}}{3.14 \cdot 7 \text{ m/s} \cdot 500 \mu\text{g/m}^3}} = \sqrt{7279.34 \text{ m}} \Leftrightarrow H_s \cong 85.3 \text{ m}$$

$$ii) t=1 \text{ day}$$

$$C_d = \frac{Q}{60\pi u H_d^2} \Leftrightarrow H_d^2 = \frac{Q}{60\pi u C_d} \Leftrightarrow H_d = \sqrt{\frac{Q}{60\pi u C_d}} \Rightarrow$$

$$H_d = \sqrt{\frac{80 \cdot 10^6 \mu\text{g/s}}{60 \cdot 3.14 \cdot 7 \text{ m/s} \cdot 20 \mu\text{g/m}^3}} = \sqrt{3033.06 \text{ m}} \Leftrightarrow H_d \cong 55.1 \text{ m}$$

$$H_{\min} = H_s$$



□ *Κεφαλαίο 4 - Ασκήσεις*

## Άσκηση 4.1

Άνεμος ταχύτητας  $5\text{ m/s}$  σε ύψος  $z=5\text{ m}$  φυσά κάθετα σε ένα δημόσιο δρόμο όπου έχουμε εκπομπή  $\text{CO}$  με ρυθμό εκπομπής ανά μονάδα μήκους  $Q_l=1\text{ gm}^{-1}\text{s}^{-1}$ . Ο εκθέτης του νόμου μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου είναι  $m=0.1$  και ο συντελεστής διάχυσης  $K_z$  έχει τιμή  $K_1=1\text{ m}^2/\text{s}$  σε ύψος  $z_1=5\text{ m}$ . α) Ποια είναι η επιφανειακή συγκέντρωση σε απόσταση από το δημόσιο δρόμο i)  $x=10\text{ m}$ , ii)  $x=100\text{ m}$  και iii)  $x=200\text{ m}$ ; β) Για απόσταση  $x=10\text{ m}$  ποια είναι η συγκέντρωση σε ύψος i)  $z=1\text{ m}$ , ii)  $z=5\text{ m}$  και iii)  $z=10\text{ m}$ ;

**Λύση:** Γενική εξίσωση

$$\bar{c}(x, z) = \frac{Q \cdot r}{z_1 \cdot \bar{u}_1 \Gamma(s)} \left[ \frac{z_1^2 \cdot \bar{u}_1}{r^2 \cdot K_1 \cdot x} \right]^s \exp \left[ -\frac{z_1^{2-r} \cdot \bar{u}_1 \cdot z^r}{r^2 \cdot K_1 \cdot x} \right]$$

Επιφανειακή συγκέντρωση  $\rightarrow z=0$ , Στρώμα επιφανείας  $\rightarrow m+n=1$

$$n = 1 - m, \quad r = m - n + 2, \quad s = \frac{m + 1}{r}$$

$$\bar{c}(x, 0) = \frac{Q_l r}{z_1 \bar{u}_1 \Gamma(s)} \left( \frac{z_1^2 \bar{u}_1}{r^2 K_1 x} \right)^s$$

$$n = 0.9, r = 1.2, s = \frac{1.1}{1.2} \cong 0.917, \Gamma(0.917) = 1.06$$

$$\bar{c}(x,0) = \frac{1 \text{ gm}^{-1} \text{ s}^{-1} \cdot 1.2}{5 \text{ m} \cdot 5 \text{ ms}^{-1} \cdot 1.06} \left[ \frac{(5 \text{ m})^2 5 \text{ ms}^{-1}}{1.2^2 \cdot 1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \cdot x} \right]^{0.917}$$

$$\bar{c}(x,0) = 4.528 \cdot 10^{-2} \text{ gm}^{-3} \left[ \frac{86.805 \text{ m}}{x} \right]^{0.917}$$

$$i) x = 10 \text{ m} \Rightarrow \bar{c}(10 \text{ m}, 0) = 4.528 \cdot 10^{-2} \cdot 10^6 \mu\text{gm}^{-3} 7.25 \Rightarrow$$

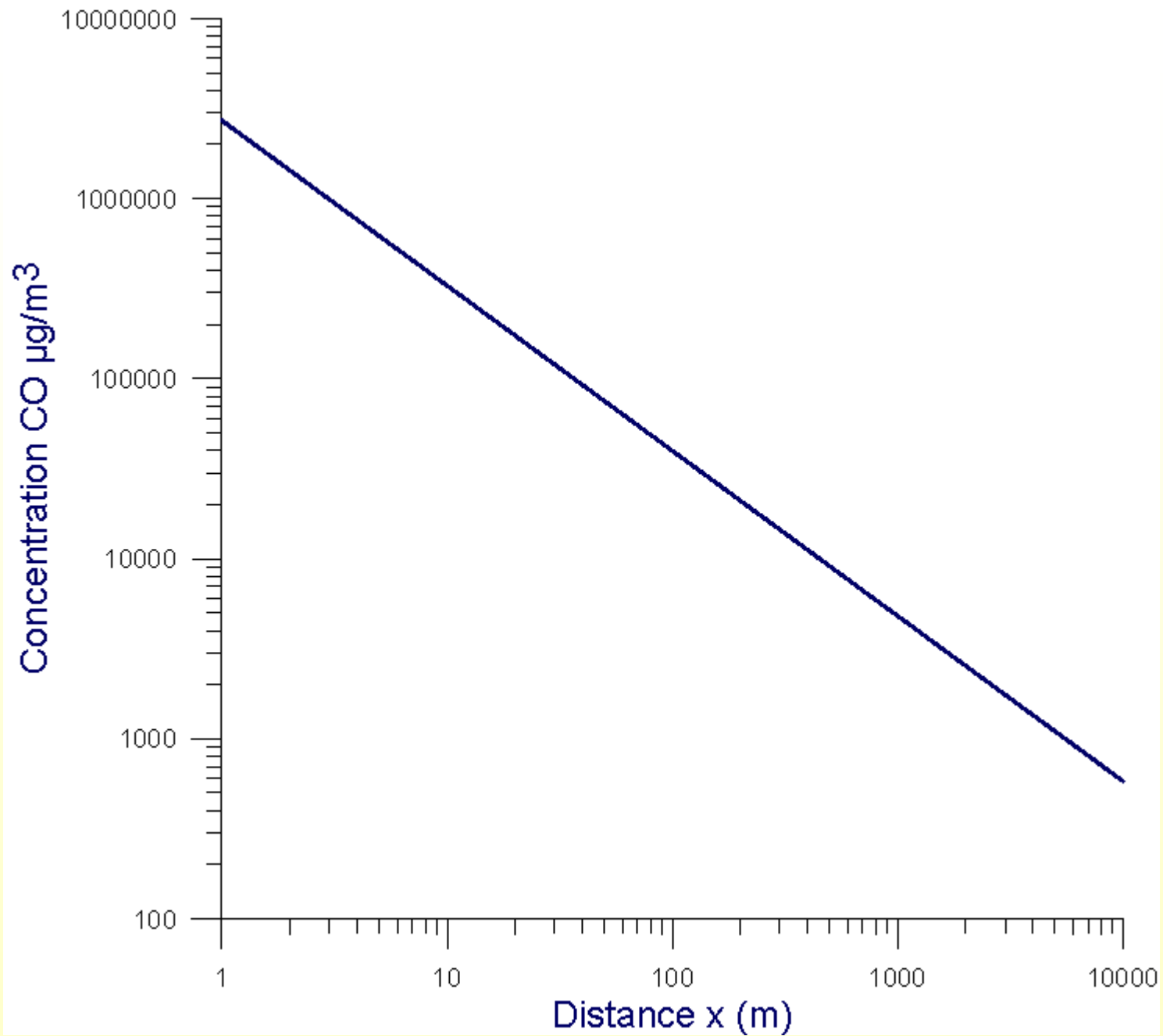
$$\bar{c}(10 \text{ m}, 0) = 3.28 \cdot 10^5 \mu\text{g} / \text{m}^3$$

$$ii) x = 100 \text{ m} \Rightarrow \bar{c}(100 \text{ m}, 0) = 4.528 \cdot 10^{-2} \cdot 10^6 \mu\text{gm}^{-3} 0.878 \Rightarrow$$

$$\bar{c}(100 \text{ m}, 0) = 3.97 \cdot 10^4 \mu\text{g} / \text{m}^3$$

$$iii) x = 200 \text{ m} \Rightarrow \bar{c}(200 \text{ m}, 0) = 4.528 \cdot 10^{-2} \cdot 10^6 \mu\text{gm}^{-3} 0.465 \Rightarrow$$

$$\bar{c}(200 \text{ m}, 0) = 2.11 \cdot 10^4 \mu\text{g} / \text{m}^3$$



$$n = 0.9, r = 1.2, s = \frac{1.1}{1.2} \cong 0.917, \Gamma(0.917) = 1.06$$

$$\bar{c}(x, z) = \bar{c}(x, 0) \cdot \exp\left[-\frac{z_1^{2-r} \bar{u}_1 z^r}{r^2 K_1 x}\right]$$

$$\bar{c}(10m, z) = \bar{c}(10m, 0) \cdot \exp\left[-1.258 z^r\right]$$

$$i) z = 1m \Rightarrow \bar{c}(10m, 1m) = 3.28 \cdot 10^5 \mu g / m^3 \cdot 0.284 \Rightarrow$$

$$\bar{c}(10m, 1m) = 9.33 \cdot 10^4 \mu g / m^3$$

$$ii) z = 10m \Rightarrow \bar{c}(10m, 5m) = 3.28 \cdot 10^5 \mu g / m^3 \cdot 1.70 \cdot 10^{-4} \Rightarrow$$

$$\bar{c}(10m, 5m) = 55.76 \mu g / m^3$$

$$iii) z = 10m \Rightarrow \bar{c}(10m, 10m) = 3.28 \cdot 10^5 \mu g / m^3 \cdot 2.18 \cdot 10^{-9} \Rightarrow$$

$$\bar{c}(10m, 10m) = 7.17 \cdot 10^{-4} \mu g / m^3$$

□ *Κεφαλαίο 5 - Ασκήσεις*

## Άσκηση 5.1

Σημειακή πηγή σε αστική περιοχή με ενεργό ύψος εκπομπής  $H=100\text{ m}$  εκπέμπει  $SO_2$  με ρυθμό  $Q=100\text{ g/s}$ . Να βρεθούν **A)** οι απολύτως μέγιστες συγκεντρώσεις, **B)** οι μέγιστες συγκεντρώσεις στο έδαφος για απόσταση  $x=200\text{ m}$  από την πηγή και **Γ)** οι συγκεντρώσεις στο έδαφος για  $x=200\text{ m}$  και  $y=50\text{ m}$  για ατμοσφαιρικές συνθήκες ευστάθειας **i)** ασταθείς, **ii)** ουδέτερες και **iii)** ευσταθείς, αν σε όλες τις περιπτώσεις η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της καμινάδας είναι  $u=4\text{ m/s}$

**Συγκέντρωση ρύπου  $c$  σε σημείο  $A(x, y, z)$**

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

**A) Απολύτως μέγιστες συγκεντρώσεις:  $y=0\text{ m}$ ,  $z=H$**

$$c(x, 0, H) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \quad (1)$$

**B) Μέγιστες συγκεντρώσεις στο έδαφος:  $y=0\text{ m}$ ,  $z=0\text{ m}$**

$$c(x, 0, 0) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (2)$$

**Γ) Συγκεντρώσεις στο έδαφος:  $z=0\text{ m}$**

$$c(x, y, 0) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (3)$$

*i) Αστάθεια:  $u=4 \text{ m/s}$*

*Αστική περιοχή, Κατηγορία Pasquill A-B*

$$\sigma_y = 0.32x (1 + 0.0004x)^{-1/2} = 0.32 \cdot 200 (1 + 0.0004 \cdot 200)^{-1/2} \Rightarrow \sigma_y = 61.6 \text{ m}$$

$$\sigma_z = 0.24x (1 + 0.001x)^{-1/2} = 0.24 \cdot 200 (1 + 0.001 \cdot 200)^{1/2} \Rightarrow \sigma_z = 52.6 \text{ m}$$

*A) Απολύτως μέγιστες συγκεντρώσεις:*

$$(1) \rightarrow c(200\text{m}, 0\text{m}, 100\text{m}) = \frac{100 \text{gs}^{-1}}{2\pi \cdot 4\text{ms}^{-1} \cdot 61.6\text{m} \cdot 52.6\text{m}} = \frac{100 \text{gs}^{-1}}{81434.1 \text{m}^3 \text{s}^{-1}} \Rightarrow$$

$$c(200\text{m}, 0\text{m}, 100\text{m}) = 1.228 \cdot 10^{-3} \text{gm}^{-3} = 1228 \mu\text{g m}^{-3}$$

*B) Μέγιστες συγκεντρώσεις στο έδαφος*

$$(2) \rightarrow c(200\text{m}, 0\text{m}, 0\text{m}) = \frac{100 \text{gs}^{-1}}{2\pi \cdot 4\text{ms}^{-1} \cdot 61.6\text{m} \cdot 52.6\text{m}} \exp\left[-\frac{100^2}{2 \cdot 52.6^2}\right] \Rightarrow$$

$$c(200\text{m}, 0\text{m}, 0\text{m}) = 1.228 \cdot 10^{-3} \text{gm}^{-3} \cdot 0.164 = 2.015 \cdot 10^{-4} \text{gm}^{-3} = 201.5 \mu\text{g m}^{-3}$$

*Γ) Συγκεντρώσεις στο έδαφος για  $x=200 \text{ m}$  και  $y=50 \text{ m}$*

$$(3) \rightarrow c(200\text{m}, 50\text{m}, 0\text{m}) = \frac{100 \text{gs}^{-1}}{2\pi \cdot 4\text{ms}^{-1} \cdot 61.6\text{m} \cdot 52.6\text{m}} \exp\left[-\frac{50^2}{2 \cdot 61.6^2}\right] \exp\left[-\frac{100^2}{2 \cdot 52.6^2}\right] \Rightarrow$$

$$c(200\text{m}, 50\text{m}, 0\text{m}) = 1.228 \cdot 10^{-3} \text{gm}^{-3} \cdot 0.719 \cdot 0.164 = 1.449 \cdot 10^{-4} \text{gm}^{-3} = 144.9 \mu\text{g m}^{-3}$$



ii) Ουδέτερη κατάσταση:  $u=4 \text{ m/s}$

**Αστική περιοχή, Κατηγορία Pasquill D**

$$\sigma_y = 0.16x (1 + 0.0004x)^{-1/2} = 0.16 \cdot 200 (1 + 0.0004 \cdot 200)^{-1/2} \Rightarrow \sigma_y = 30.8 \text{ m}$$

$$\sigma_z = 0.14x (1 + 0.0003x)^{-1/2} = 0.14 \cdot 200 (1 + 0.0003 \cdot 200)^{-1/2} \Rightarrow \sigma_z = 27.2 \text{ m}$$

**A) Απολύτως μέγιστες συγκεντρώσεις:**

$$(1) \rightarrow c(200\text{m}, 0\text{m}, 100\text{m}) = \frac{100 \text{gs}^{-1}}{2\pi \cdot 4\text{ms}^{-1} \cdot 30.8\text{m} \cdot 27.2\text{m}} = \frac{100 \text{gs}^{-1}}{21044.4 \text{m}^3 \text{s}^{-1}} \Rightarrow$$

$$c(200\text{m}, 0\text{m}, 100\text{m}) = 4.752 \cdot 10^{-3} \text{gm}^{-3} = 4752 \mu\text{g m}^{-3}$$

**B) Μέγιστες συγκεντρώσεις στο έδαφος**

$$(2) \rightarrow c(200\text{m}, 0\text{m}, 0\text{m}) = \frac{20 \text{gs}^{-1}}{2\pi \cdot 4\text{ms}^{-1} \cdot 30.8\text{m} \cdot 27.2\text{m}} \exp\left[-\frac{100^2}{2 \cdot 27.2^2}\right] \Rightarrow$$

$$c(200\text{m}, 0\text{m}, 0\text{m}) = 4.752 \cdot 10^{-3} \text{gm}^{-3} \cdot 0.001 = 4.752 \cdot 10^{-6} \text{gm}^{-3} = 4.75 \mu\text{g m}^{-3}$$

**Γ) Συγκεντρώσεις στο έδαφος για  $x=200 \text{ m}$  και  $y=50 \text{ m}$**

$$(3) \rightarrow c(200\text{m}, 50\text{m}, 0\text{m}) = \frac{100 \text{gs}^{-1}}{2\pi \cdot 4\text{ms}^{-1} \cdot 30.8\text{m} \cdot 27.2\text{m}} \exp\left[-\frac{50^2}{2 \cdot 30.8^2}\right] \exp\left[-\frac{100^2}{2 \cdot 27.2^2}\right] \Rightarrow$$

$$c(200\text{m}, 50\text{m}, 0\text{m}) = 4.752 \cdot 10^{-3} \text{gm}^{-3} \cdot 0.268 \cdot 0.001 = 1.274 \cdot 10^{-6} \text{gm}^{-3} = 1.27 \mu\text{g m}^{-3}$$

iii) Ευστάθεια:  $u=4 \text{ m/s}$

**Αστική περιοχή, Κατηγορία Pasquill E-F**

$$\sigma_y = 0.11x (1 + 0.0004x)^{-1/2} = 0.11 \cdot 200 (1 + 0.0004 \cdot 200)^{-1/2} \Rightarrow \sigma_y = 21.2 \text{ m}$$

$$\sigma_z = 0.08x (1 + 0.00015x)^{-1/2} = 0.08 \cdot 200 (1 + 0.00015 \cdot 200)^{-1/2} \Rightarrow \sigma_z = 15.8 \text{ m}$$

**A) Απολύτως μέγιστες συγκεντρώσεις:**

$$(1) \rightarrow c(200\text{m}, 0\text{m}, 100\text{m}) = \frac{100 \text{gs}^{-1}}{2\pi \cdot 4\text{ms}^{-1} \cdot 21.2\text{m} \cdot 15.8\text{m}} = \frac{100 \text{gs}^{-1}}{8414.2 \text{m}^3 \text{s}^{-1}} \Rightarrow$$

$$c(200\text{m}, 0\text{m}, 100\text{m}) = 1.188 \cdot 10^{-2} \text{gm}^{-3} = 11880 \mu\text{g m}^{-3}$$

**B) Μέγιστες συγκεντρώσεις στο έδαφος**

$$(2) \rightarrow c(200\text{m}, 0\text{m}, 0\text{m}) = \frac{100 \text{gs}^{-1}}{2\pi \cdot 4\text{ms}^{-1} \cdot 21.2\text{m} \cdot 15.8\text{m}} \exp\left[-\frac{100^2}{2 \cdot 15.8^2}\right] \Rightarrow$$

$$c(200\text{m}, 0\text{m}, 0\text{m}) = 1.188 \cdot 10^{-2} \text{gm}^{-3} \cdot 2.003 \cdot 10^{-9} = 2.38 \cdot 10^{-5} \mu\text{g m}^{-3}$$

**Γ) Συγκεντρώσεις στο έδαφος για  $x=200 \text{ m}$  και  $y=50 \text{ m}$**

$$(3) \rightarrow c(200\text{m}, 50\text{m}, 0\text{m}) = \frac{100 \text{gs}^{-1}}{2\pi \cdot 4\text{ms}^{-1} \cdot 21.2\text{m} \cdot 15.8\text{m}} \exp\left[-\frac{50^2}{2 \cdot 21.2^2}\right] \exp\left[-\frac{100^2}{2 \cdot 15.8^2}\right] \Rightarrow$$

$$c(200\text{m}, 50\text{m}, 0\text{m}) = 1.188 \cdot 10^{-2} \text{gm}^{-3} \cdot 0.062 \cdot 2.003 \cdot 10^{-9} = 1.48 \cdot 10^{-6} \mu\text{g m}^{-3}$$

## Άσκηση 5.2

Σχεδιάζεται να κτιστεί νοσοκομείο ύψους  $z=20\text{ m}$  σε αγροτική περιοχή και σε απόσταση  $2\text{ km}$  από σταθμό παραγωγής ενέργειας που εκπέμπει  $\text{SO}_2$  με ρυθμό  $Q=30\text{ g/s}$ . Το μικρότερο δυνατό ενεργό ύψος του θυσάνου που εκπέμπεται από το σταθμό παραγωγής είναι  $H=50\text{ m}$ . Να βρεθούν οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις που μπορεί να εμφανιστούν στο νοσοκομείο σε περίπτωση:

i) Αστάθειας:  $u=1\text{ m/s}$ ,  $\sigma_y=402\text{ m}$ ,  $\sigma_z=400\text{ m}$

ii) Ουδέτερη κατάσταση:  $u=3\text{ m/s}$ ,  $\sigma_y=146\text{ m}$ ,  $\sigma_z=105\text{ m}$

iii) Ευστάθειας:  $u=2\text{ m/s}$ ,  $\sigma_y=73\text{ m}$ ,  $\sigma_z=20\text{ m}$

Θα δίνετε αδειοδότηση για τη δημιουργία του νοσοκομείου?

Όριο επιφυλακής για  $\text{SO}_2 = 350\text{ }\mu\text{g/m}^3$

### ΛΥΣΗ

Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στο σημείο του νοσοκομείου θα εμφανίζονται όταν το νοσοκομείο βρίσκεται στη διεύθυνση του ανέμου και λόγω της κανονικής κατανομής των συγκεντρώσεων των ρύπων στο ύψος  $z=20\text{ m}$  (ύψος του νοσοκομείου)

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

$$c(x,0,z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (1)$$

1) *Αστάθεια:  $u=1 \text{ m/s}$ ,  $\sigma_y=402 \text{ m}$ ,  $\sigma_z=400 \text{ m}$*

$$(1) \rightarrow c(2000\text{m}, 0, 20\text{m}) = \frac{30 \text{gs}^{-1}}{2\pi \cdot 1 \text{ms}^{-1} \cdot 402\text{m} \cdot 400\text{m}} \exp\left[-\frac{(50\text{m} - 20\text{m})^2}{2(400\text{m})^2}\right]$$

$$= 2.969 \cdot 10^{-5} \cdot 0.997 \text{gm}^{-3} \Rightarrow c(2000\text{m}, 0, 20\text{m}) \cong 29.6 \mu\text{g m}^{-3}$$

2) *Ουδέτερη:  $u=3 \text{ m/s}$ ,  $\sigma_y=146 \text{ m}$ ,  $\sigma_z=105 \text{ m}$*

$$(1) \rightarrow c(2000\text{m}, 0, 20\text{m}) = \frac{30 \text{gs}^{-1}}{2\pi \cdot 3 \text{ms}^{-1} \cdot 146\text{m} \cdot 105\text{m}} \exp\left[-\frac{(50\text{m} - 20\text{m})^2}{2(105\text{m})^2}\right]$$

$$= 1.038 \cdot 10^{-4} \cdot 0.96 \text{gm}^{-3} \Rightarrow c(2000\text{m}, 0, 20\text{m}) \cong 99.7 \mu\text{g m}^{-3}$$

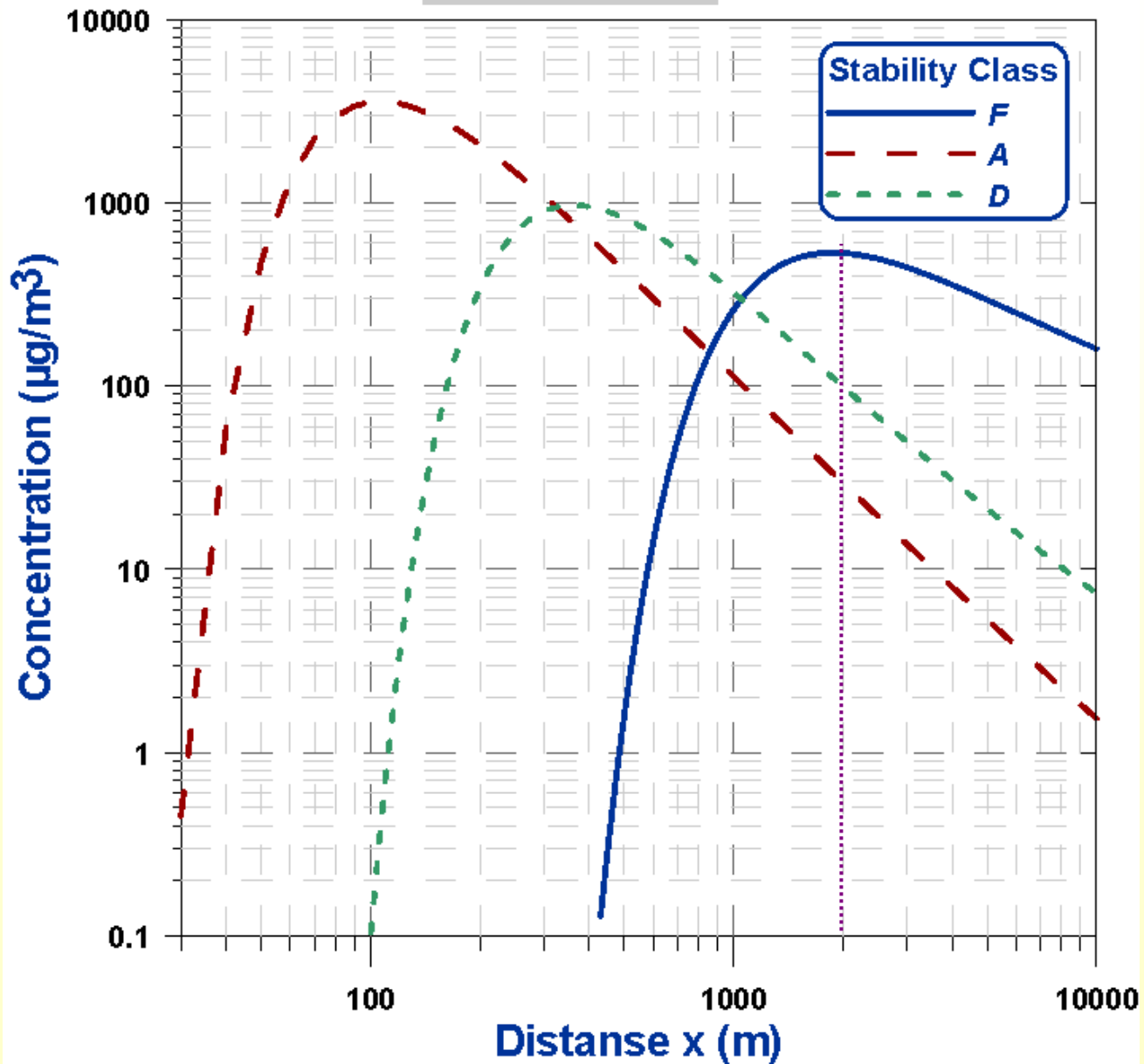
3) *Ευστάθεια:  $u=2 \text{ m/s}$ ,  $\sigma_y=73 \text{ m}$ ,  $\sigma_z=20 \text{ m}$*

$$(1) \rightarrow c(2000\text{m}, 0, 20\text{m}) = \frac{30 \text{gs}^{-1}}{2\pi \cdot 2 \text{ms}^{-1} \cdot 73\text{m} \cdot 20\text{m}} \exp\left[-\frac{(50\text{m} - 20\text{m})^2}{2(20\text{m})^2}\right]$$

$$= 1.635 \cdot 10^{-3} \cdot 0.325 \text{gm}^{-3} \Rightarrow c(2000\text{m}, 0, 20\text{m}) \cong 530.9 \mu\text{g m}^{-3}$$

*Στην περίπτωση ευστάθειας οι συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες από το όριο επιφυλακής. Επομένως δεν πρέπει να κτιστεί το νοσοκομείο.*

No reflection



### Άσκηση 5.3

Να λυθεί η άσκηση 5.2, αλλά να ληφθεί υπόψη η ανάκλαση των ρύπων από το έδαφος

- Τι παρατηρείτε;
- Σε περίπτωση μιας περιβαλλοντικής μελέτης για την επίδραση του σταθμού παραγωγής ενέργειας ποια προσέγγιση θα ήταν προτιμητέα να χρησιμοποιηθεί;
- Αν χρησιμοποιήσετε τη σχέση που δίνει συγκεντρώσεις αλλά λαμβάνει υπόψη και τις ανακλάσεις από την κορυφή του οριακού στρώματος, τι αναμένετε να είναι οι συγκεντρώσεις; Για περίπτωση μέρας ή νύχτας θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί;

$$c(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(H+z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

$$c(x,0,z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \left\{ \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(H+z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (2)$$

1) *Αστάθεια:  $u=1$  m/s,  $\sigma_y=402$  m,  $\sigma_z=400$  m*

$$(2) \rightarrow c(2000m, 0, 20m) = \frac{30gs^{-1}}{2\pi \cdot 1ms^{-1} \cdot 402m \cdot 400m} \left\{ \exp\left[-\frac{(50m-20m)^2}{2(400m)^2}\right] + \exp\left[-\frac{(50m+20m)^2}{2(400m)^2}\right] \right\}$$

$$= 2.969 \cdot 10^{-5} \cdot (0.997 + 0.985) gm^{-3} \Rightarrow c(2000m, 0, 20m) \cong 58.85 \mu g m^{-3}$$

2) *Ουδέτερη:  $u=3$  m/s,  $\sigma_y=146$  m,  $\sigma_z=105$  m*

$$(2) \rightarrow c(2000m, 0, 20m) = \frac{30gs^{-1}}{2\pi \cdot 3ms^{-1} \cdot 146m \cdot 105m} \left\{ \exp\left[-\frac{(50m-20m)^2}{2(105m)^2}\right] + \exp\left[-\frac{(50m+20m)^2}{2(105m)^2}\right] \right\}$$

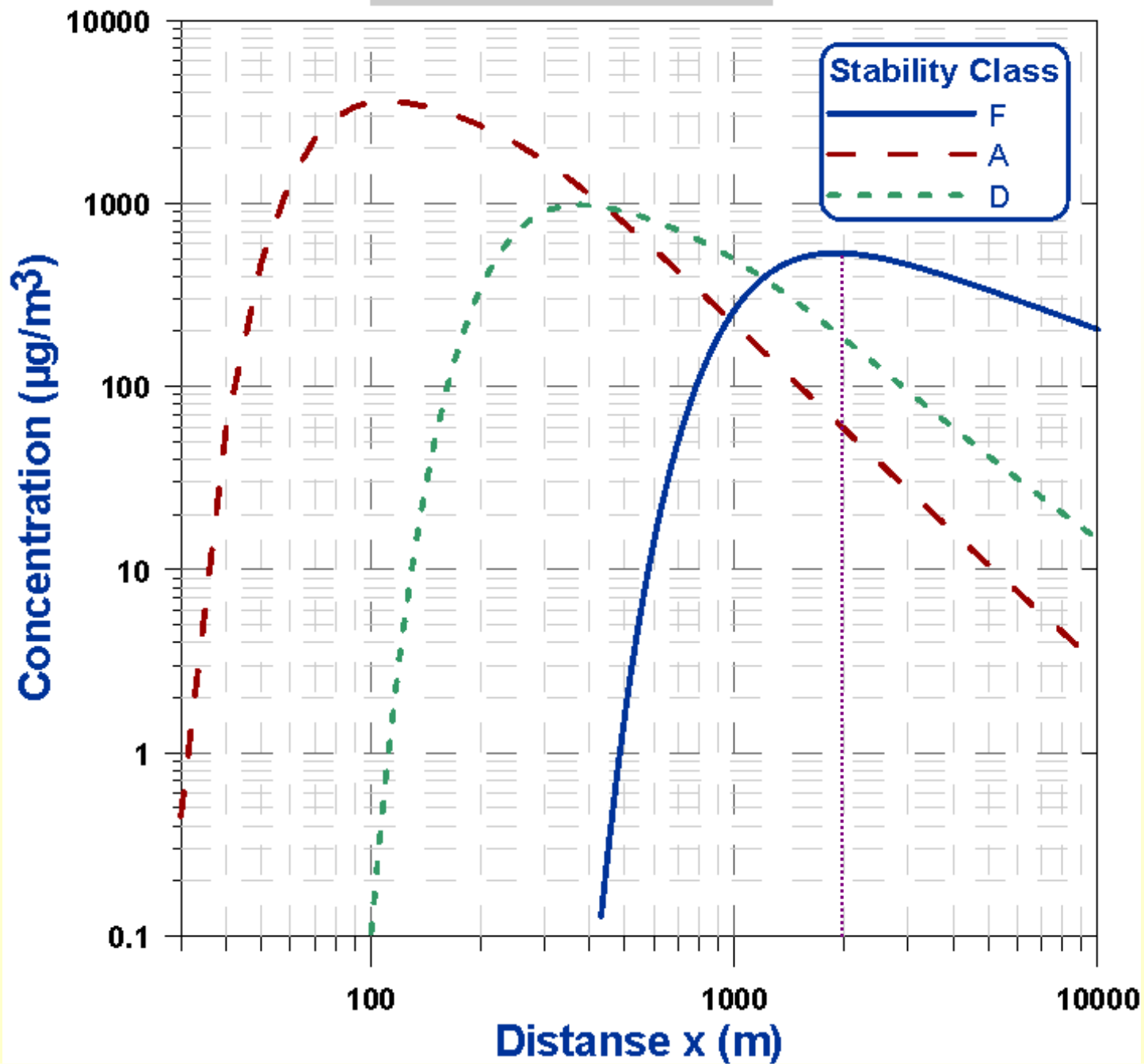
$$= 1.038 \cdot 10^{-4} \cdot (0.960 + 0.801) gm^{-3} \Rightarrow c(2000m, 0, 20m) \cong 182.79 \mu g m^{-3}$$

3) *Ευστάθεια:  $u=2$  m/s,  $\sigma_y=73$  m,  $\sigma_z=20$  m*

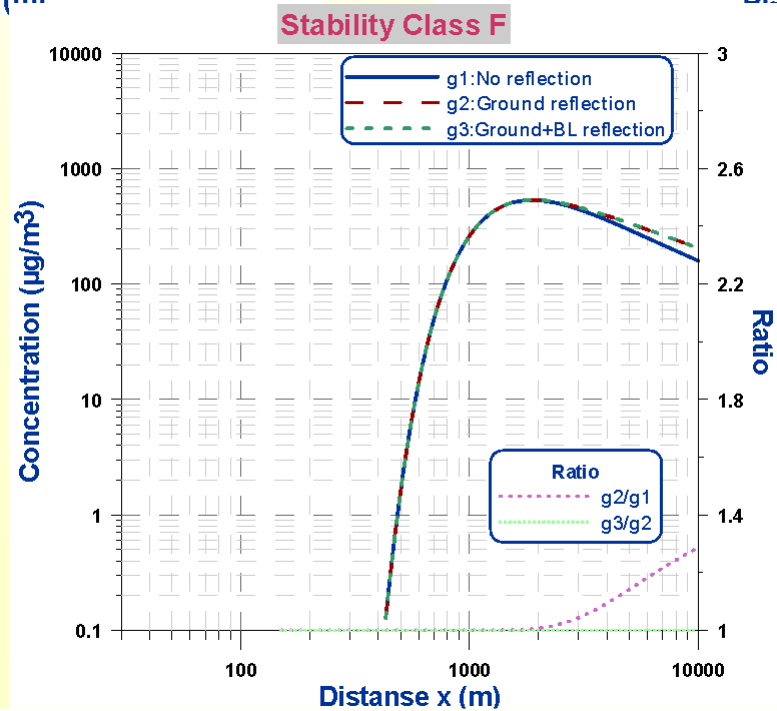
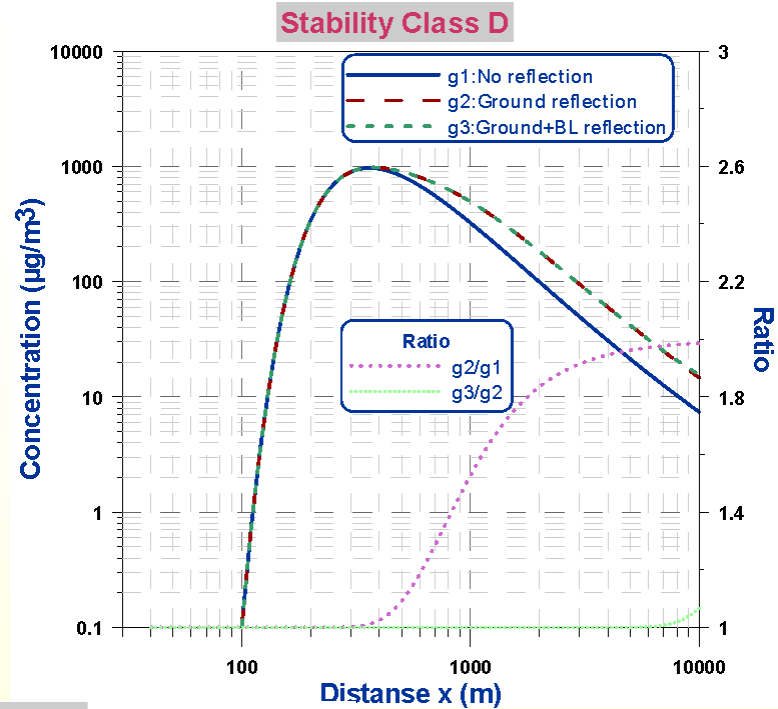
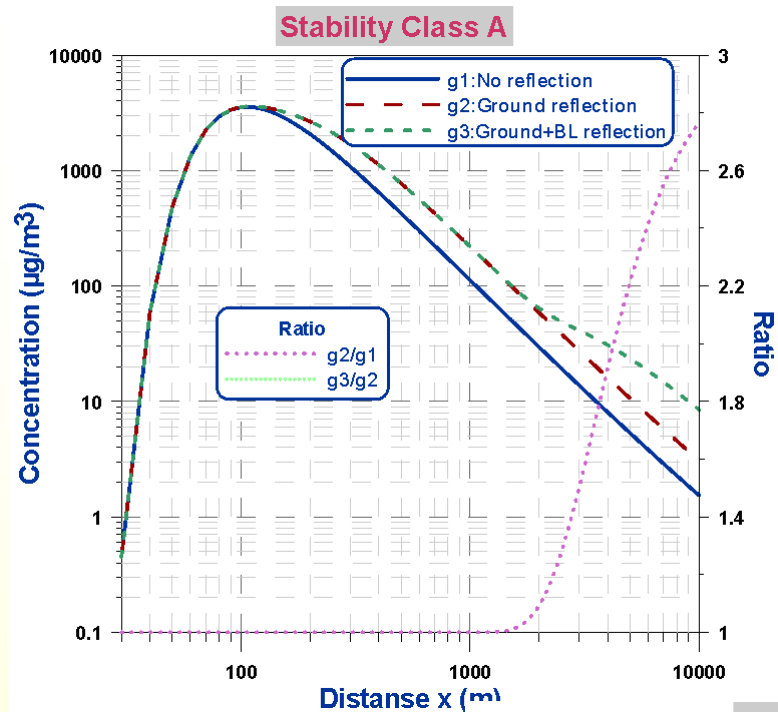
$$(2) \rightarrow c(2000m, 0, 20m) = \frac{30gs^{-1}}{2\pi \cdot 2ms^{-1} \cdot 73m \cdot 20m} \left\{ \exp\left[-\frac{(50m-20m)^2}{2(20m)^2}\right] + \exp\left[-\frac{(50m+20m)^2}{2(20m)^2}\right] \right\}$$

$$= 1.635 \cdot 10^{-3} \cdot (0.325 + 0.002) gm^{-3} \Rightarrow c(2000m, 0, 20m) \cong 534.65 \mu g m^{-3}$$

# Ground reflection







## Άσκηση 5.4

α) Αν σταθμός παραγωγής ενέργειας εκπέμπει  $SO_2$  με ρυθμό  $Q=50\text{g/s}$  και με ενεργό ύψος  $70\text{ m}$  να βρεθεί η μέγιστη συγκέντρωση και η απόσταση που εμφανίζεται για τις κλάσεις ευστάθειας B, C, D, E.

β) Σε ποιες περιπτώσεις οι συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες από το όριο επιφυλακής για το  $SO_2$  που είναι  $135\text{ ppb}$  (μέσες ωριαίες τιμές);

Δίνεται ότι η ταχύτητα ανέμου  $u$  στο ύψος της καμινάδας για τις κλάσεις ευστάθειας είναι

B:  $u=2\text{ m/s}$ , C:  $u=3\text{ m/s}$ , D:  $u=5\text{ m/s}$ , E:  $u=4\text{ m/s}$

Πίεση αέρα:  $P=1013\text{ mb}$ , Θερμοκρασία αέρα:  $\theta=25\text{ }^\circ\text{C}$ , Μοριακό Βάρος  $SO_2$ :  $MB=64$

## ΛΥΣΗ

Για την επίλυση του α' ερωτήματος χρησιμοποιείται το νομόγραμμα του κεφαλαίου 5 σύμφωνα με τη μεθοδολογία που παρουσιάζεται στην αντίστοιχη παράγραφο. Ο κάθετος άξονας του νομογράμματος παριστάνει το μέγεθος  $c_{max}u/Q=a$

a) 
$$\frac{c_{\max} \cdot u}{Q} = a \Leftrightarrow c_{\max} = \frac{a \cdot Q}{u}$$

i) **B:**  $u=2$  m/s

$x_{\max} = 0.5$  km = 500 m

$a=3 \cdot 10^{-5}$  m<sup>-2</sup>

$$c_{\max} = \frac{3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-2} 50 \cdot 10^6 \text{ } \mu\text{g s}^{-1}}{2 \text{ m s}^{-1}} \Leftrightarrow c_{\max} = 750 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$$

ii) **C:**  $u=3$  m/s

$x_{\max} = 0.8$  km = 800 m

$a=2.8 \cdot 10^{-5}$  m<sup>-2</sup>

$$c_{\max} = \frac{2.8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-2} 50 \cdot 10^6 \text{ } \mu\text{g s}^{-1}}{3 \text{ m s}^{-1}} \Leftrightarrow c_{\max} = 466.7 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$$

iii) **D: u=5 m/s**

**$x_{\max} = 1.8 \text{ km} = 1800 \text{ m}$**

**$a=1.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-2}$**

$$c_{\max} = \frac{1.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-2} 50 \cdot 10^6 \mu\text{g s}^{-1}}{5 \text{ m s}^{-1}} \Leftrightarrow c_{\max} = 190 \mu\text{g m}^{-3}$$

iv) **E: u=4 m/s**

**$x_{\max} = 3 \text{ km} = 3000 \text{ m}$**

**$a=1.4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-2}$**

$$c_{\max} = \frac{1.4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-2} 50 \cdot 10^6 \mu\text{g s}^{-1}}{4 \text{ m s}^{-1}} \Leftrightarrow c_{\max} = 175 \mu\text{g m}^{-3}$$

b) *Αν οι μονάδες πίεσης είναι σε mbar μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παρακάτω σχέση για την εύρεση της συγκέντρωσης κ.β.*

$$C^v = 135 \text{ ppb} = 0.135 \text{ ppm} \quad C^m = C^v \frac{100 P \cdot MB}{8.314 T}$$

$P = 1013 \text{ mbar}$

$T = 273 + 15 = 298 \text{ K}$

$MB_{\text{SO}_2} = 64$

$$C^m = 0.135 \frac{100 \cdot 1013 \cdot 64}{8.314 \cdot 298} \Leftrightarrow C^m = 353.3 \mu\text{g m}^{-3}$$

**Στην περίπτωση των κλάσεων ευστάθειας B και C οι συγκεντρώσεις ξεπερνούν το όριο επιφυλακής.**

## Άσκηση 5.5

Σταθμός παραγωγής ενέργειας σχεδιάζεται να εγκατασταθεί σε απόσταση 1 km από κατοικημένη περιοχή.

*α) Αν ο ρυθμός εκπομπής  $SO_2$  από τη μονάδα είναι  $Q=40$  g/s, για ποια ενεργά ύψη εκπομπής εμφανίζεται η μέγιστη ωριαία συγκέντρωση στην κατοικημένη περιοχή για τις διάφορες κλάσεις ευστάθειας; Ποιες είναι οι μέγιστες συγκεντρώσεις σε κάθε περίπτωση;*

*β) Αν πραγματοποιούσατε την περιβαλλοντική μελέτη για την εγκατάσταση του σταθμού, θα προτεινάτε τελικά να γίνει η εγκατάσταση ή όχι και γιατί;*

*Δίνεται ότι η ταχύτητα του ανέμου στο ενεργό ύψος εκπομπής της καμινάδας για τις διάφορες κλάσεις ευστάθειας είναι:*

*A: 1,5 m/s, B: 2,5 m/s, C: 4 m/s, D: 7 m/s, E= 8 m/s, F= 5 m/s*

*Όριο επιφυλακής (μέση ωριαία τιμή) για το  $SO_2$ : 350  $\mu\text{g}/\text{m}^3$*

## ΛΥΣΗ

Για την επίλυση του α' ερωτήματος χρησιμοποιείται το νομόγραμμα του κεφαλαίου 5 σύμφωνα με τη μεθοδολογία που παρουσιάζεται στην αντίστοιχη παράγραφο. Ο κάθετος άξονας του νομογράμματος παριστάνει το μέγεθος

$$c_{max}u/Q=a$$

a)

$$\frac{c_{\max} \cdot u}{Q} = a \Leftrightarrow c_{\max} = \frac{a \cdot Q}{u}$$

i) **A:**  $u=1.5$  m/s

$x_{\max} = 1$  km  $\rightarrow$  **H = 500 m**

$a=1.9 \cdot 10^{-6}$  m<sup>-2</sup>

$$c_{\max} = \frac{1.9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2} 40 \cdot 10^6 \text{ } \mu\text{g s}^{-1}}{1.5 \text{ m s}^{-1}} \Leftrightarrow c_{\max} = 50.7 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$$

ii) **B:**  $u=2.5$  m/s

$x_{\max} = 1$  km  $\rightarrow$  **H = 150 m**

$a=7.0 \cdot 10^{-6}$  m<sup>-2</sup>

$$c_{\max} = \frac{7.0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2} 40 \cdot 10^6 \text{ } \mu\text{g s}^{-1}}{2.5 \text{ m s}^{-1}} \Leftrightarrow c_{\max} = 112 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$$

iii) **C:**  $u=4.0$  m/s

$x_{\max} = 1$  km  $\rightarrow$  **H = 90 m**

$a=1.9 \cdot 10^{-5}$  m<sup>-2</sup>

$$c_{\max} = \frac{1.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-2} 40 \cdot 10^6 \text{ } \mu\text{g s}^{-1}}{4 \text{ m s}^{-1}} \Leftrightarrow c_{\max} = 190 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$$

iv) **D:**  $u=7$  m/s

$x_{\max} = 1$  km  $\rightarrow$  **H = 50 m**

$$a=4.2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-2} \quad c_{\max} = \frac{4.2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-2} 40 \cdot 10^6 \mu\text{g s}^{-1}}{7 \text{ m s}^{-1}} \Leftrightarrow c_{\max} = 240 \mu\text{g m}^{-3}$$

v) **E:**  $u=8$  m/s

$x_{\max} = 1$  km  $\rightarrow$  **H = 30 m**

$$a=1.1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-2} \quad c_{\max} = \frac{1.1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-2} 40 \cdot 10^6 \mu\text{g s}^{-1}}{8 \text{ m s}^{-1}} \Leftrightarrow c_{\max} = 550 \mu\text{g m}^{-3}$$

iii) **F:**  $u=5$  m/s

$x_{\max} = 1$  km  $\rightarrow$  **H = 22 m**

$$a=2.0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-2} \quad c_{\max} = \frac{2.0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-2} 40 \cdot 10^6 \mu\text{g s}^{-1}}{5 \text{ m s}^{-1}} \Leftrightarrow c_{\max} = 1600 \mu\text{g m}^{-3}$$

**b)** Η εγκατάσταση του σταθμού δεν πρέπει να γίνει γιατί στις περιπτώσεις των κλάσεων ευστάθειας E & F οι συγκεντρώσεις ξεπερνούν το όριο επιφυλακής. Βέβαια μια σωστή κι εφικτή επιλογή του ύψους της καμινάδας θα μπορούσε να επιτρέψει την εγκατάσταση του σταθμού

## Άσκηση 5.6

Άνεμος ταχύτητας  $u_{ref}=5 \text{ m/s}$  σε ύψος  $z_{ref}=5 \text{ m}$  φυσά κάθετα σε ένα δημόσιο δρόμο όπου έχουμε εκπομπή CO με ρυθμό εκπομπής ανά μονάδα μήκους  $Q_l=1 \text{ gm}^{-1}\text{s}^{-1}$ . Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες είναι ουδέτερες. Αν θεωρηθεί ότι το ενεργό ύψος εκπομπής είναι  $H=2 \text{ m}$  κι ότι ισχύει ο νόμος μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου για αυτό το ύψος με εκθέτη  $p=0.15$

**α)** ποια είναι η επιφανειακή συγκέντρωση σε απόσταση από το δημόσιο δρόμο i)  $x=100 \text{ m}$  και ii)  $x=200 \text{ m}$  αν χρησιμοποιηθεί η σχέση που προκύπτει από την ολοκλήρωση της εξίσωσης Gauss ;

$$\sigma_z(100 \text{ m})=5.6 \text{ m}, \sigma_z(200 \text{ m})=10.5 \text{ m}$$

**β)** Για την ίδια περιοχή και για τις ίδιες συνθήκες ευστάθειας, ταχύτητας και ρυθμού εκπομπής βρέθηκε με χρήση της θεωρίας βαθμωτής μεταφοράς ότι  $c(100 \text{ m}, 0, 0)=3.97 \times 10^4 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  και  $c(200 \text{ m}, 0, 0)=2.11 \times 10^4 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ . (Άσκηση 4.1)  
Πόση είναι η μεταβολή σε κάθε περίπτωση μεταξύ των δύο διαφορετικών τρόπων εύρεσης της συγκέντρωσης;

Δίνεται

$$\sigma_z(x) = 0.06x (1 + 0.0015x)^{-1/2}$$



## ΛΥΣΗ

*a) Εξίσωση Gauss για άπειρη γραμμική πηγή κάθετη στη διεύθυνση του ανέμου*

$$c(x, y, 0) = \frac{2Q_l}{(2\pi)^{1/2} \sigma_z u} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (1)$$

*Ταχύτητα u στο ύψος H*

$$u = u_{ref} \left(\frac{H}{z_{ref}}\right) = 5 \left(\frac{2}{5}\right)^{0.15} \Rightarrow u \cong 4.4 \text{ m/s} \quad (2)$$

*i) x=100 m*

$$\sigma_z(100 \text{ m}) = 0.06 \cdot 100 (1 + 0.0015 \cdot 100)^{-1/2} \Rightarrow \sigma_z(100 \text{ m}) \cong 5.6 \text{ m} \quad (3)$$

$$(1), (2), (3) \Rightarrow c(100 \text{ m}, 0, 0) = \frac{2 \cdot 1 \cdot 10^6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}}{(2 \cdot 3.14)^{1/2} \cdot 5.6 \text{ m} \cdot 4.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} \exp\left[-\frac{(2 \text{ m})^2}{2(5.6 \text{ m})^2}\right] \Rightarrow$$

$$c(100 \text{ m}, 0, 0) \cong 3.04 \cdot 10^4 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

**ii)  $x=200\text{ m}$**

$$\sigma_z(100\text{ m}) = 0.06 \cdot 200 (1 + 0.0015 \cdot 200)^{-1/2} \Rightarrow \sigma_z(200\text{ m}) \cong 10.5\text{ m} \quad (4)$$

$$(1), (2), (4) \Rightarrow c(200\text{ m}, 0, 0) = \frac{2 \cdot 1 \cdot 10^6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}}{(2 \cdot 3.14)^{1/2} \cdot 10.5\text{ m} \cdot 4.4\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} \exp\left[-\frac{(2\text{ m})^2}{2(10.5\text{ m})^2}\right] \Rightarrow$$

$$c(200\text{ m}, 0, 0) \cong 1.7 \cdot 10^4 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

**$\beta$ ) Μεταβολή συγκεντρώσεων  $\Delta c\%$**

$$\Delta c \% = \frac{c_2 - c_1}{c_1} \cdot 100 \quad (5)$$

**i)  $x=100\text{ m}$**

$$(5) \Rightarrow \Delta c \% = \frac{3.04 \cdot 10^4 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 3.97 \cdot 10^4 \mu\text{g}/\text{m}^3}{3.97 \cdot 10^4 \mu\text{g}/\text{m}^3} \cdot 100 \Rightarrow \Delta c \% = -23.4\%$$

**ii)  $x=200\text{ m}$**

$$(5) \Rightarrow \Delta c \% = \frac{1.70 \cdot 10^4 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 2.11 \cdot 10^4 \mu\text{g}/\text{m}^3}{2.11 \cdot 10^4 \mu\text{g}/\text{m}^3} \cdot 100 \Rightarrow \Delta c \% = -19.4\%$$

## Άσκηση 5.7

Αέριος ρύπος εκπέμπεται από σημειακή πηγή με ρυθμό  $Q=100 \text{ g/s}$ , σε ενεργό ύψος  $H=80 \text{ m}$ . Η ταχύτητα του ανέμου είναι  $u=5 \text{ ms}^{-1}$  στο ύψος της καμινάδας και το ύψος ανάμειξης στην περιοχή είναι  $z_i=250 \text{ m}$ .

**a)** Να βρεθεί η συγκέντρωση του αέριου ρύπου στη διεύθυνση του ανέμου σε απόσταση  $2 \text{ km}$  από την πηγή και σε ύψος  $30 \text{ m}$  από το έδαφος, θεωρώντας:

**i)** την εξίσωση του Gauss που δε λαμβάνει υπόψη τις ανακλάσεις.

**ii)** την εξίσωση του Gauss που λαμβάνει υπόψη μόνο την ανάκλαση από το έδαφος.

**iii)** την εξίσωση του Gauss που λαμβάνει υπόψη ανάκλαση τόσο από το έδαφος, όσο και από τη βάση της υπερυψωμένης αναστροφής που καθορίζει το ύψος ανάμειξης ( $1^{\text{ης}}$  τάξης)

**β)** Ποια είναι η ποσοστιαία μεταβολή των συγκεντρώσεων που υπολογίζονται στις περιπτώσεις ii) και iii) σε σχέση με αυτή που υπολογίζεται στην περίπτωση i);

$$\sigma_y (2000 \text{ m})=240 \text{ m}, \sigma_z (2000 \text{ m})=220 \text{ m}$$

$$i. c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \cdot \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

$$c(x, 0, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \Rightarrow$$

$$c(2000\text{m}, 0, 30\text{m}) = \frac{100 \cdot 10^6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}}{2 \cdot 3.14 \cdot 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 240\text{m} \cdot 220\text{m}} \exp\left[-\frac{(80-30)^2}{2 \cdot 220^2}\right] \Rightarrow$$

$$c(2000\text{m}, 0, 30\text{m}) \cong 58.7 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$ii. c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(H+z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

$$c(x, 0, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(H+z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

$$c(2000\text{m}, 0, 30\text{m}) = \frac{100 \cdot 10^6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}}{2 \cdot 3.14 \cdot 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 240\text{m} \cdot 220\text{m}} \left\{ \exp\left[-\frac{(80-30)^2}{2 \cdot 220^2}\right] + \exp\left[-\frac{(80+30)^2}{2 \cdot 220^2}\right] \right\} \Rightarrow$$

$$c(2000\text{m}, 0, 30\text{m}) \cong 111.95 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$$

iii.

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(H+z)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \sum_{N=1}^j \left( \exp\left[-\frac{(z-H-2Nz_i)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H-2Nz_i)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z-H+2Nz_i)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H+2Nz_i)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right) \right\}$$

$N=1$

$$c(x, 0, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \left\{ \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(H+z)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \left( \exp\left[-\frac{(z-H-2z_i)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H-2z_i)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z-H+2z_i)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H+2z_i)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right) \right\} \Rightarrow$$

$$c(2000\text{m}, 0, 30\text{m}) = \frac{100 \cdot 10^6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}}{2 \cdot 3.14 \cdot 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 240\text{m} \cdot 220\text{m}} \left\{ \begin{array}{l} \exp\left[-\frac{(80-30)^2}{2 \cdot 220^2}\right] + \exp\left[-\frac{(80+30)^2}{2 \cdot 220^2}\right] + \\ + \exp\left[-\frac{(30-80-2 \cdot 250)^2}{2 \cdot 220^2}\right] + \exp\left[-\frac{(30+80-2 \cdot 250)^2}{2 \cdot 220^2}\right] + \\ + \exp\left[-\frac{(30-80+2 \cdot 250)^2}{2 \cdot 220^2}\right] + \exp\left[-\frac{(30+80+2 \cdot 250)^2}{2 \cdot 220^2}\right] \end{array} \right\}$$

$$c(2000\text{m}, 0, 30\text{m}) = 135 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$$

***β) Μεταβολή συγκεντρώσεων Δc%***

***ii - i***

$$\Delta c \% = \frac{c_{ii} - c_i}{c_i} \cdot 100 = \frac{111.95 - 58.7}{58.7} \cdot 100 \Rightarrow \Delta c \% = 90.7\%$$

***iii - i***

$$\Delta c \% = \frac{c_{iii} - c_i}{c_i} \cdot 100 = \frac{135.9 - 58.7}{58.7} \cdot 100 \Rightarrow \Delta c \% = 131.5\%$$

□ *Κεφαλαίο 6 - Ασκήσεις*

**Άσκηση 6.1:** Υπολογίστε την τελική ανύψωση θυσάνου που εκπέμπεται από μία καμινάδα ύψους 30 m και διαμέτρου 1 m με ταχύτητα 20 m/s και θερμοκρασία 400 K, όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 20°C και η ταχύτητα ανέμου στην κορυφή της καμινάδας είναι 3 m/s. Ποιο είναι το ύψος του θυσάνου σε απόσταση 200 m από την καμινάδα?

### **Δεδομένα**

$$h=30 \text{ m}$$

$$d=1 \text{ m}$$

$$v_s=20 \text{ m/s}$$

$$T_s=400 \text{ K}$$

$$T=20^\circ\text{C}=293 \text{ K}$$

$$u=3 \text{ m/s}$$

$$g=9.81 \text{ m/s}^2$$

Θερμική ή ανύψωση ορμής θυσάνου?

Σύγκριση  $\Delta T$  &  $(\Delta T)_c$

Κατώρευμα ?

Σύγκριση  $v_s$  &  $u$

Συνθήκες ευστάθειας ?

Αστάθεια, Ευστάθεια, Ουδέτερη ατμόσφαιρα

Σταδιακή ανύψωση θυσάνου?



*Παράμετρος καμινάδας*  $F=gv_s d^2(T_s-T)/4T_s =13.12 \text{ m}^4/\text{s}^3$

### *Συνθήκες ευστάθειας*

*Έλεγχος ταχύτητας ανέμου*  $\rightarrow u=3 \text{ m/s}$

- Αστάθεια αν είναι ημέρα
- Ουδέτερη ατμόσφαιρα αν υπάρχει πλήρη νεφοκάλυψη (ημέρα/νύχτα)
- Ευστάθεια αν είναι νύχτα

### *Θερμική ή ανύψωση ορμής θυσάνου*

Εμπειρικός κανόνας: Αν  $T_s > T+15 \text{ K} \rightarrow$  *θερμική ανύψωση*

Πιο ακριβής έλεγχος: *Σύγκριση  $\Delta T$  και  $(\Delta T)_c$  (κρίσιμη διαφορά θερμοκρασίας)*

$$\Delta T = T_s - T = 400\text{K} - 293\text{K} = 107\text{K}$$

• *Ασταθείς συνθήκες ή ουδέτερη ατμόσφαιρα*

$$(\Delta T)_c = 0.0297 v_s^{1/3} T_s / d^{2/3} = 0.297 \cdot 20^{1/3} \cdot 400 / 1^{2/3} = 32.2 \text{ K}$$

$\Delta T > (\Delta T)_c \rightarrow$  *θερμική ανύψωση*

• *Ευσταθείς συνθήκες*

$$(\Delta T)_c = 0.019582 v_s T_s s^{1/2}$$

• *Κλάση ευστάθειας E*  $\rightarrow \partial T / \partial z + \Gamma \cong 0.02 \text{ K m}^{-1}$

$$s = 9.81 \cdot 0.02 / 293 = 6.696 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-2}$$

$$(\Delta T)_c = 0.019582 \cdot 20 \cdot 400 \cdot (6.696 \cdot 10^{-4})^{1/2} = 4.1 \text{ K}$$

$\Delta T > (\Delta T)_c \rightarrow$  *θερμική ανύψωση*

*Κλάση ευστάθειας F*  $\rightarrow \partial T / \partial z + \Gamma \cong 0.035 \text{ K m}^{-1}$

$$s = 9.81 \cdot 0.035 / 293 = 1.172 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-2}$$

$$(\Delta T)_c = 0.019582 \cdot 20 \cdot 400 \cdot (1.172 \cdot 10^{-3})^{1/2} = 5.4 \text{ K}$$

$\Delta T > (\Delta T)_c \rightarrow$  *θερμική ανύψωση*

*Κατώρευμα*

$v_s / u > 1.5$        $20/3 = 6.67 > 1.5 \rightarrow$  *Μη ύπαρξη κατωρέυματος*

$$h' = h = 30 \text{ m}$$

### *Συνθήκες αστάθειας ή ουδέτερης στρωμάτωσης*

$$F=13.12 \text{ m}^4\text{s}^{-3} < 55 \text{ m}^4\text{s}^{-3}$$

$$H = h' + 21.425 F^{3/4}/u=30+21.425*13.12^{3/4}/3=79.2 \text{ m}$$

$$x_f = 49 F^{5/8} = 49*13.12^{5/8} = 244.9 \text{ m}$$

### *Συνθήκες ευστάθειας*

$$u=3 \text{ m/s} > 1 \text{ m/s} \text{ *Κεκαμμένος θύσανος*}$$

$$H = h' + 2.6[F/(us)]^{1/3}, \quad x_f = 2.07 us^{-1/2}$$

$$s=g/T(\partial T/ \partial z+\Gamma)$$

$$\text{Κλάση ευστάθειας E} \rightarrow \partial T/ \partial z+\Gamma \cong 0.02 \text{ K m}^{-1}$$

$$s=9.81*0.02/293=6.696\cdot 10^{-4} \text{ s}^{-2}$$

$$H=78.6 \text{ m}, \quad x_f = 240.0 \text{ m}$$

$$\text{Κλάση ευστάθειας F} \rightarrow \partial T/ \partial z+\Gamma \cong 0.035 \text{ K m}^{-1}$$

$$s=9.81*0.035/293=1.172\cdot 10^{-3} \text{ s}^{-2}$$

$$H=70.3 \text{ m}, \quad x_f = 181.4 \text{ m}$$

**Σταδιακή ανύψωση** (Όλες οι συνθήκες ευστάθειας)

$$H(x) = h' + 1.6 F^{1/3} x^{2/3} u^{-1} \quad x < x_f$$

$$H(x)=H \rightarrow x_f = [(H - h')u / 1.6]^{3/2} F^{-1/2}$$

**Συνθήκες αστάθειας ή ουδέτερης στρωμάτωσης**

$$H = 79.2 \text{ m}, \quad x_f = 244.9 \text{ m}$$

**Συνθήκες ευστάθειας**

Κλάση ευστάθειας E

$$H = 78.6 \text{ m}, \quad x_f = 240.0 \text{ m}$$

Κλάση ευστάθειας F

$$H = 70.3 \text{ m}, \quad x_f = 181.4 \text{ m}$$

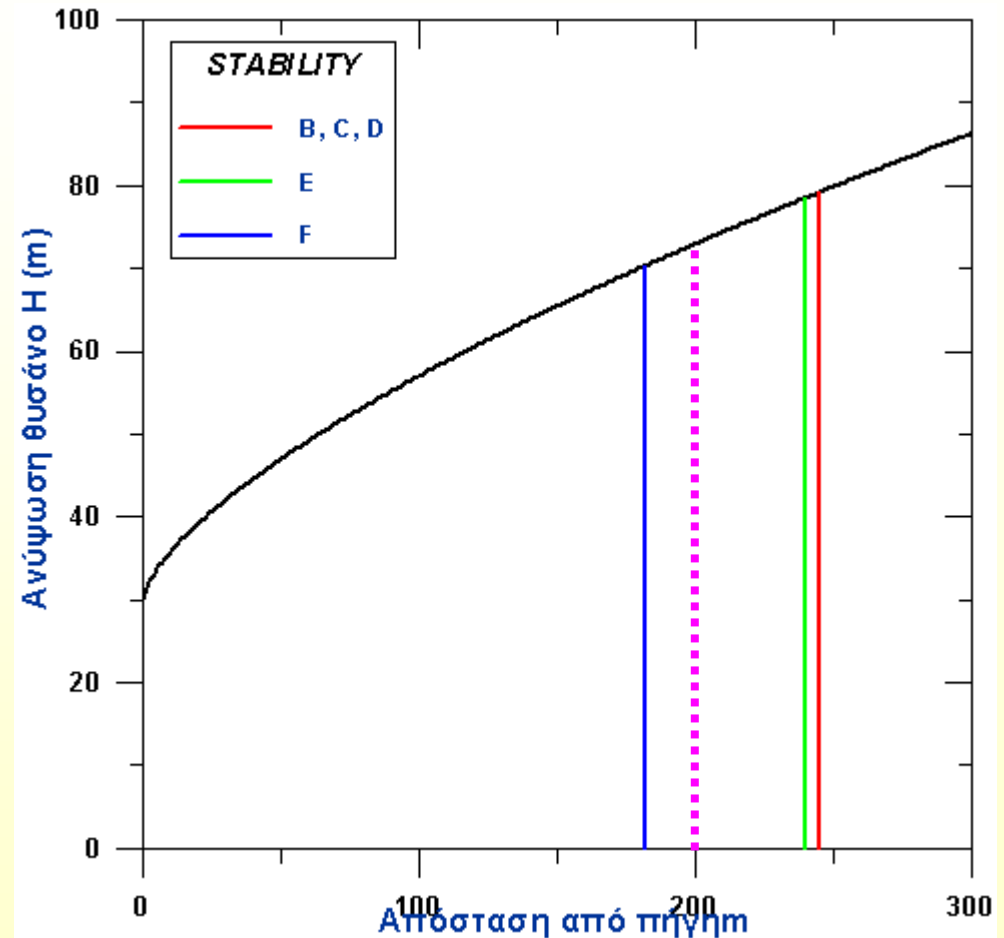
$x = 200 \text{ m} \rightarrow x < x_f$  για συνθήκες αστάθειας, ουδέτερης στρωμάτωσης & συνθήκες ευστάθειας E

$$H(200 \text{ m}) = h' + 1.6 F^{1/3} x^{2/3} u^{-1} = 73.02 \text{ m}$$

*Συνθήκες αστάθειας ή ουδέτερης στρωμάτωσης*  
 $x = 200 \text{ m} \rightarrow H = 73 \text{ m}$

*Συνθήκες ευστάθειας*  
Κλάση ευστάθειας E  
 $x = 200 \text{ m} \rightarrow H = 73 \text{ m}$

Κλάση ευστάθειας F  
 $x = 200 \text{ m} \rightarrow H = 70.3 \text{ m}$



## Άσκηση 6.2

Υπολογίστε την ανύψωση θυσάνου που εκπέμπεται από μία καμινάδα ύψους 30 m και διαμέτρου 1 m με ταχύτητα 20 m/s και θερμοκρασία 295 K, όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 20°C και η ταχύτητα ανέμου στην κορυφή της καμινάδας είναι 3 m/s. Σε ποια απόσταση φτάνει στο τελικό του ύψος ο θύσανος? Στην περίπτωση ευσταθών συνθηκών ποιο από τα δύο ύψη θα επιλέγατε για να υπολογίσετε τις συγκεντρώσεις στο έδαφος και γιατί?

Δίνεται

$$K.E. E: s=6.696 \cdot 10^{-4} s^{-2}, K.E. F: s=1.172 \cdot 10^{-3} s^{-2}$$

$$h=30 \text{ m}$$

$$d=1 \text{ m}$$

$$v_s=20 \text{ m/s}$$

$$T_s=295 \text{ K}$$

$$\theta=20 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow T=293 \text{ K}$$

$$u=3 \text{ m/s}$$

$$g=9.81 \text{ m/s}^2$$

$$K.E. E: s=6.696 \cdot 10^{-4} s^{-2}$$

$$K.E. F: s=1.172 \cdot 10^{-3} s^{-2}$$

*Παράμετρος καμινάδας*  $F = g v_s d^2 (T_s - T) / 4 T_s = 0.3325 \text{ m}^4/\text{s}^3$

*Συνθήκες ευστάθειας: Έλεγχος ταχύτητας ανέμου*  $\rightarrow u = 3 \text{ m/s}$

- Αστάθεια αν είναι ημέρα
- Ουδέτερη ατμόσφαιρα αν υπάρχει πλήρη νεφοκάλυψη (ημέρα/νύχτα)
- Ευστάθεια αν είναι νύχτα

*Θερμική ή ανύψωση ορμής θυσάνου*

*Σύγκριση  $\Delta T$  και  $(\Delta T)_c$  (κρίσιμη διαφορά θερμοκρασίας)*

$$\Delta T = T_s - T = 295 \text{ K} - 293 \text{ K} = 2 \text{ K}$$

*• Ασταθείς συνθήκες ή ουδέτερη ατμόσφαιρα*

$$(\Delta T)_c = 0.0297 v_s^{1/3} T_s / d^{2/3} = 0.0297 \cdot 20^{1/3} \cdot 295 / 1^{2/3} = 23.8 \text{ K}$$

$\Delta T < (\Delta T)_c \rightarrow$  *Ανύψωση λόγω ορμής*

*• Ευσταθείς συνθήκες*

*• Κλάση ευστάθειας E*

$$(\Delta T)_c = 0.019582 v_s T_s s^{1/2} = 0.019582 \cdot 20 \cdot 295 \cdot (6.696 \cdot 10^{-4})^{1/2} = 2.99 \text{ K}$$

$\Delta T < (\Delta T)_c \rightarrow$  *Ανύψωση λόγω ορμής*

*• Κλάση ευστάθειας F*

$$(\Delta T)_c = 0.019582 v_s T_s s^{1/2} = 0.019582 \cdot 20 \cdot 295 \cdot (1.172 \cdot 10^{-3})^{1/2} = 3.96 \text{ K}$$

$\Delta T < (\Delta T)_c \rightarrow$  *Ανύψωση λόγω ορμής*

Σε όλες τις κλάσεις ευστάθειας η ανύψωση του θυσάνου οφείλεται στην ορμή των αερίων

Ο θύσανος φτάνει στο τελικό του ύψος σε απόσταση  $x_f=0$  m από την πηγή.

Έλεγχος για κατώρευμα

$$v_s/u=20/3\approx 6.67 > 1.5 \rightarrow h' = h$$

Συνθήκες αστάθειας ή ουδέτερης στρωμάτωσης:

$$H = h' + 3dv_s/u=30+3\cdot 1\cdot 20/3 \rightarrow H=50 \text{ m}$$

Συνθήκες ευστάθειας:

$$H = h' + 1.5[v_s^2 d^2 T / (4T_s u)]^{1/3} s^{-1/6} \quad (\text{B})$$

Κλάση ευστάθειας E  $\rightarrow s=6.696\cdot 10^{-4} \text{ s}^{-2}$

$$H = h' + 1.5[v_s^2 d^2 T / (4T_s u)]^{1/3} s^{-1/6} = \\ = 30 + 1.5[20^2 \cdot 1^2 \cdot 293 / (4 \cdot 295 \cdot 3)]^{1/3} (6.696 \cdot 10^{-4})^{-1/6} \rightarrow H=46.3 \text{ m}$$

Κλάση ευστάθειας F  $\rightarrow s=1.172\cdot 10^{-3} \text{ s}^{-2}$

$$H = h' + 1.5[v_s^2 d^2 T / (4T_s u)]^{1/3} s^{-1/6} = \\ = 30 + 1.5[20^2 \cdot 1^2 \cdot 293 / (4 \cdot 295 \cdot 3)]^{1/3} (1.172 \cdot 10^{-3})^{-1/6} \rightarrow H=44.9 \text{ m}$$

Επιλογή



### Άσκηση 6.3

Ένας θύσανος καμινάδας ύψους  $100\text{ m}$  & διαμέτρου  $20\text{ m}$  έχει ταχύτητα  $5\text{ m/s}$  και θερμοκρασία  $300\text{ K}$ . Ο θύσανος υψώνεται σε ήρεμη ξηρή ατμόσφαιρα θερμοκρασίας  $295\text{ K}$  με  $\partial T/\partial z=0$ . Πόσο είναι το τελικό ύψος του θυσάνου αν η ταχύτητα του ανέμου είναι  $1.8\text{ m/s}$  σε ύψος  $10\text{ m}$ ?

Δίνεται  $p=0.35$

$$h=100 \text{ m}$$

$$d=20 \text{ m}$$

$$v_s=5 \text{ m/s}$$

$$T_s=300 \text{ K}$$

$$T=295 \text{ K}$$

$$\partial T/\partial z = 0$$

$$u_{ref}= 1.8 \text{ m/s}$$

$$z_{ref}= 10 \text{ m}$$

$$\Gamma=0.01 \text{ K/m}$$

Ήρεμη ξηρή ατμόσφαιρα  $\rightarrow$  *Ευστάθεια, ξηρή  
αδιαβατική θερμοβαθμίδα  $\Gamma$*

*Ταχύτητα  $u_s$  στο ύψος της καμινάδας*

$$u_s = u_{ref} \left( \frac{h_s}{z_{ref}} \right)^p$$

$$u_s = 1.8 (100/10)^{0.35} \text{ m/s} = 1.8 \cdot 2.23 \text{ m/s} \rightarrow u_s = 4 \text{ m/s}$$

$u = u_s > 1 \text{ m/s}$  *Κεκαμμένος θύσανος*

$v_s/u=5/4 \rightarrow v_s/u=1.25$  *Υπαρξη κατωρεύματος*

$$h' = h + 2d[(v_s/u) - 1.5] = 100\text{m} + 2 \cdot 20\text{m}(-0.25) = 100\text{m} - 10\text{m}$$

$$\rightarrow h' = 90 \text{ m}$$

*Είδος ανύψωσης*

$$s = g/T(\partial T/\partial z + \Gamma) = 9.81 \text{ ms}^{-2} \cdot 0.01 \text{ Km}^{-1}/295 \text{ K} \rightarrow s = 3.325 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-2}$$

$$\Delta T = T_s - T = 300 \text{ K} - 295 \text{ K} \rightarrow \Delta T = 5 \text{ K}$$

$$(\Delta T)_c = 0.019582 v_s T_s s^{1/2} = 0.019582 \cdot 5 \text{ m/s} \cdot 300 \text{ K} \cdot (3.325 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-2})^{1/2} \rightarrow$$

$$(\Delta T)_c = 0.54 \text{ K}$$

$\Delta T > (\Delta T)_c$  *Θερμική ανύψωση*

$$F = g v_s d^2 (T_s - T) / 4 T_s = 9.81 \cdot 5 \cdot (20)^2 \cdot (300 - 295) / (4 \cdot 300) \text{ m}^4/\text{s}^3 \rightarrow F = 81.75 \text{ m}^4/\text{s}^3$$

$$H = h' + 2.6[F/(u s)]^{1/3} = 90 + 2.6[81.75/(4 \cdot 3.325 \cdot 10^{-4})]^{1/3} = \rightarrow H = 192.6 \text{ m}$$

## Άσκηση 6.4

Στο υπόδειγμα του μοντέλου RAM η πρώτη σημειακή πηγή έχει ύψος 82.9 m και διάμετρο 3.5 m. Τα αέρια εξέρχονται με ταχύτητα 13.7 m/s και θερμοκρασία 513.1 K. Η κατάσταση της ατμόσφαιρας είναι ουδέτερη, και οι μέσες ωριαίες τιμές της θερμοκρασία περιβάλλοντος και της ταχύτητας του ανέμου είναι αντίστοιχα 269.82 K και 6.17 m/s για το διάστημα 00:00-01:00, και 271.48 K και 4.67 m/s για το διάστημα 01:00-02:00.

**1.** Ποιο ενεργό ύψος πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τους υπολογισμούς των συγκεντρώσεων σε αστική περιοχή για απόσταση i) 500 m και ii) 1000 m για την 1<sup>η</sup> ώρα και ποιο για τη 2<sup>η</sup> ?

Δίνεται ότι η ταχύτητα του ανέμου έχει μετρηθεί σε ύψος 10 m και ότι η περιοχή είναι αστική.

**2.** Πόσο μεταβλήθηκαν οι μέγιστες συγκεντρώσεις στο έδαφος στις 2 αποστάσεις αν θεωρηθεί ότι η διεύθυνση του ανέμου παρέμεινε σταθερή?

Δίνεται ότι  $\sigma_z(500\text{ m}) = 65\text{ m}$  &  $\sigma_z(1000\text{ m}) = 125\text{ m}$

## Άσκηση 6.4.1

A. 00:00-01.00

$$h=82.9 \text{ m}$$

$$d=3.5 \text{ m}$$

$$v_s=13.7 \text{ m/s}$$

$$T_s=513.1 \text{ K}$$

$$T=269.82 \text{ K}$$

$$u_{ref} = 6.17 \text{ m/s}$$

$$z_{ref} = 10 \text{ m/s}$$

Κ.Ε.: D

Αστική περιοχή

i)  $H(500 \text{ m}) = ?$

ii)  $H(1000 \text{ m}) = ?$

Ταχύτητα  $u_s$  στο ύψος της καμινάδας

$$u_s = u_{ref} \left( \frac{h_s}{z_{ref}} \right)^p$$

Αστική περιοχή, κλάση ευστάθειας D  $\rightarrow p = 0.25$

$$u_s = 6.17 (82.9/10)^{0.25} \text{ m/s} = 6.17 \cdot 1.7 \text{ m/s} \rightarrow u_s = 10.49 \text{ m/s}$$

$$u = u_s$$

Κατώρευμα

$$v_s/u < 1.5 \quad 13.7/10.49 = 1.306 < 1.5$$

$$h' = 82.9 \text{ m} + 2d[(v_s/u) - 1.5] =$$

$$= 82.9 \text{ m} + 2 \cdot 3.5 \text{ m} (-0.194) = 82.9 \text{ m} - 1.4 \text{ m} \rightarrow h' = 81.5 \text{ m}$$

Παράμετρος καμινάδας

$$F = g v_s d^2 (T_s - T) / 4 T_s = 9.81 \cdot 13.7 \cdot (3.5)^2 \cdot (513.1 - 269.82) / (4 \cdot 513.1) \text{ m}^4/\text{s}^3 \rightarrow F = 195.15 \text{ m}^4/\text{s}^3$$

$$\Delta T = T_s - T = 513.1 \text{ K} - 269.82 \text{ K} \rightarrow \Delta T = 243.28 \text{ K}$$

$$(\Delta T)_c = 0.00575 T_s / (v_s^2/d)^{1/3} = 0.00575 \cdot 513.1 / (13.7^2/3.5)^{1/3} \rightarrow$$

$$(\Delta T)_c = 11.13 \text{ K}$$

$\Delta T > (\Delta T)_c$  Θερμική ανύψωση

**Συνθήκες ευστάθειας: Ουδέτερη ατμόσφαιρα**

**Θερμική ανύψωση-Ουδέτερη ατμόσφαιρα &  $F \geq 55 \text{ m}^4/\text{s}^3$**

*$x_f$ : Απόσταση που φτάνει ο άξονας του θυσανου στο τελικό ύψος*

$$x_f = 119 F^{2/5} = 119 \cdot 195.15^{2/5} \rightarrow x_f = 981.1 \text{ m}$$

*i)  $H(500 \text{ m})$*

$x=500 \text{ m}$   $x < x_f \rightarrow$  Σταδιακή ανύψωση

Ενεργό ύψος για  $x=500 \text{ m}$

$$H(x) = h' + 1.6 F^{1/3} x^{2/3} u^{-1}$$

$$H(500 \text{ m}) = 81.5 + 1.6 \cdot 195.15^{1/3} \cdot (500)^{2/3} / 10.49 = 81.5 + 1.6 \cdot 5.8 \cdot 63 / 10.49 = \\ = 81.5 + 55.7 \rightarrow H(500 \text{ m}) = 137.2 \text{ m}$$

*ii)  $H(1000 \text{ m})$*

$x=1000 \text{ m}$

$x > x_f \rightarrow$  Θερμική ανύψωση-Ουδέτερη ατμόσφαιρα &  $F \geq 55 \text{ m}^4/\text{s}^3$

Ενεργό ύψος για  $x=1000 \text{ m}$

$$H = h' + 38.71 F^{3/5} u^{-1}$$

$$H(1000 \text{ m}) = 81.5 + 38.71 \cdot 195.15^{3/5} / 10.49 = 81.5 + 87.4 \rightarrow$$

$$H(1000 \text{ m}) = 168.9 \text{ m}$$

## Άσκηση 6.4.1

**B. 01:00-02:00**

$$h=82.9 \text{ m}$$

$$d=3.5 \text{ m}$$

$$v_s=13.7 \text{ m/s}$$

$$T_s=513.1 \text{ K}$$

$$T=271.48 \text{ K}$$

$$u_{ref} = 4.63 \text{ m/s}$$

$$z_{ref} = 10 \text{ m/s}$$

K.E.: D

Αστική περιοχή

i)  $H(500 \text{ m}) = ?$

ii)  $H(1000 \text{ m}) = ?$

Ταχύτητα  $u_s$  στο ύψος της καμινάδας

$$u_s = u_{ref} \left( \frac{h_s}{z_{ref}} \right)^p$$

Αστική περιοχή, κλάση ευστάθειας D  $\rightarrow p = 0.25$

$$u_s = 4.63 (82.9/10)^{0.25} \text{ m/s} = 4.63 \cdot 1.697 \text{ m/s} \rightarrow$$

$$u_s = 7.86 \text{ m/s}, u = u_s$$

Κατώρευμα

$$v_s/u < 1.5 \quad 13.7/7.86 = 1.74 > 1.5$$

$$h'=h \rightarrow h'=82.9 \text{ m}$$

Παράμετρος καμινάδας

$$F = g v_s d^2 (T_s - T) / 4 T_s = 9.81 \cdot 13.7 \cdot (3.5)^2 \cdot (513.1 - 271.48) / (4 \cdot 513.1) \\ \text{m}^4/\text{s}^3 \rightarrow F = 193.82 \text{ m}^4/\text{s}^3$$

$$\Delta T = T_s - T = 513.1 \text{ K} - 271.48 \text{ K} \rightarrow \Delta T = 241.62 \text{ K}$$

$$(\Delta T)_c = 0.00575 T_s / (v_s^2/d)^{1/3} = 0.00575 \cdot 513.1 / (13.7^2/3.5)^{1/3} \rightarrow$$

$$(\Delta T)_c = 11.13 \text{ K}$$

$\Delta T > (\Delta T)_c$  Θερμική ανύψωση

**Συνθήκες ευστάθειας: Ουδέτερη ατμόσφαιρα**

**Θερμική ανύψωση-Ουδέτερη ατμόσφαιρα &  $F \geq 55 \text{ m}^4/\text{s}^3$**

$x_f$ : Απόσταση που φτάνει ο άξονας του θυσανου στο τελικό ύψος

$$x_f = 119 F^{2/5} = 119 \cdot 193.82^{2/5} \rightarrow x_f = 978 \text{ km}$$

*i)  $H(500 \text{ m})$*

$x=500 \text{ m}$   $x < x_f \rightarrow$  Σταδιακή ανύψωση

Ενεργό ύψος για  $x=500 \text{ m}$

$$H(x) = h' + 1.6 F^{1/3} x^{2/3} u^{-1}$$

$$H(500 \text{ m}) = 82.9 + 1.6 \cdot 193.82^{1/3} \cdot (500)^{2/3} / 7.86 = 82.9 + 1.6 \cdot 5.79 \cdot 63 / 7.86 = \\ = 82.9 + 74.2 \rightarrow H(500 \text{ m}) = 157.1 \text{ m}$$

*ii)  $H(1000 \text{ m})$*

$x=1000 \text{ m}$

$x > x_f \rightarrow$  Θερμική ανύψωση-Ουδέτερη ατμόσφαιρα &  $F \geq 55 \text{ m}^4/\text{s}^3$

Ενεργό ύψος για  $x=1000 \text{ m}$

$$H = h' + 38.71 F^{3/5} u^{-1}$$

$$H(1000 \text{ m}) = 82.9 + 38.71 \cdot 193.82^{3/5} / 7.86 = 82.9 + 116.1 \rightarrow H(1000 \text{ m}) = 199 \text{ m}$$

### Άσκηση 6.4.2.

Μέγιστες συγκεντρώσεις στο έδαφος  $A(x,0,0)$

$$c(x,0,0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

$$c_1 = \frac{Q}{\pi u_1 \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{H_1^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (1)$$

$$c_2 = \frac{Q}{\pi u_2 \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{H_2^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (2)$$

$$\frac{(2)}{(1)} \Rightarrow \frac{c_2}{c_1} = \frac{u_1}{u_2} \exp\left[-\frac{H_2^2 - H_1^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (3)$$

i)  $x=500 \text{ m}$ ,  $\sigma_z = 65 \text{ m}$

A.  $u_1 = 10.49 \text{ m/s}$ ,  $H_1 = 137.2 \text{ m}$

B.  $u_2 = 7.86 \text{ m/s}$ ,  $H_2 = 157.1 \text{ m}$

$$(3) \Rightarrow \frac{c_2}{c_1} = \frac{10.49}{7.86} \exp\left[-\frac{157.1^2 - 137.2^2}{2 \cdot 65^2}\right] \Rightarrow$$

$$\frac{c_2}{c_1} = 1.33 \exp\left[-\frac{5856.57}{8450}\right] \Rightarrow \frac{c_2}{c_1} = 1.33 \exp[-0.693] \Rightarrow \frac{c_2}{c_1} = 0.665$$



ii)  $x=1000 \text{ m}$ ,  $\sigma_z = 125 \text{ m}$

**A.**  $u_1 = 10.49 \text{ m/s}$ ,  $H_1 = 168.9 \text{ m}$

**B.**  $u_2 = 7.86 \text{ m/s}$ ,  $H_1 = 199 \text{ m}$

$$(3) \Rightarrow \frac{c_2}{c_1} = \frac{10.49}{7.86} \exp \left[ -\frac{199^2 - 168.9^2}{2 \cdot 125^2} \right] \Rightarrow$$

$$\frac{c_2}{c_1} = 1.33 \exp \left[ -\frac{11073.79}{31250} \right] \Rightarrow \frac{c_2}{c_1} = 1.33 \exp[-0.354] \Rightarrow \frac{c_2}{c_1} = 0.933$$

□ *Κεφαλαίο 7 - Ασκήσεις*

## Άσκηση 7.1

Χημικά δραστικός αέριος ρύπος εκπέμπεται σε αστικό περιβάλλον από καμινάδα ύψους 50 m και διαμέτρου 2 m με ρυθμό 50 g/s, ταχύτητα 8 m/s και θερμοκρασία 400 K. Αν η ατμόσφαιρα είναι ουδέτερη, η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 290 K και η ταχύτητα του ανέμου 3 m/s σε ύψος 10 m, να βρεθούν οι μέγιστες συγκεντρώσεις του ρύπου στο έδαφος για αποστάσεις i) 100 m, ii) 1000 m & iii) 2000 m αν ο ρύπος έχει χρόνο ημιζωής 1 hr.

\* Δίνεται ότι η ανύψωση του θυσάνου είναι θερμική

\*\* Να θεωρηθεί η εξίσωση Gauss με ανάκλαση από το έδαφος

\*\*\*Κλάση ευστάθειας D (αστική περιοχή):

$$\sigma_y = 0.16 x (1+0.0004x)^{-1/2}, \quad \sigma_z = 0.14 x (1+0.0003x)^{-1/2}$$

$$p=0.25$$

$$h=50 \text{ m}$$

$$d=2 \text{ m}$$

$$Q=50 \text{ g/s}$$

$$v_s=8 \text{ m/s}$$

$$T_s=400 \text{ K}$$

$$u_{ref}=3 \text{ m/s}$$

$$z_{ref}=10 \text{ m}$$

$$T_{1/2}=1 \text{ hr}=3600 \text{ s}$$

$$p=0.25$$

i.  $c(100 \text{ m}, 0, 0)=?$

ii.  $c(1000 \text{ m}, 0, 0)=?$

iii.  $c(2000 \text{ m}, 0, 0)=?$

Συγκεντρώσεις από ανυψωμένη σημειακή πηγή, σε επίπεδη περιοχή με ανάκλαση ρύπων από έδαφος και υπάρχει απομάκρυνση ρύπων

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(H+z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \cdot D$$

Μέγιστες συγκεντρώσεις στο έδαφος

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right] \cdot D \quad \mathbf{A}$$

Προσδιορισμός  $u$ ,  $D$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  &  $H$

**Ταχύτητα  $u$  στο ύψος καμινάδας  $h$**

$$u = u_{ref} \left( \frac{h}{z_{ref}} \right)^p \Rightarrow u = 3 \text{ m/s} \left( \frac{50 \text{ m}}{10 \text{ m}} \right)^{0.25} \Rightarrow u = 4.5 \text{ m/s}$$

**Ποσοστό μείωσης της συγκέντρωσης λόγω των χημικών μετασχηματισμών για i) 100 m, ii) 1000 m & iii) 2000 m**

$$D = \exp(-\psi x/u), \quad \psi = 0.693/T^{1/2} = 0.693/3600 \text{ s} \rightarrow \psi = 0.0002 \text{ s}^{-1}$$

i)  $x=100 \text{ m} \rightarrow D = \exp(-0.0002 \cdot 100/4.5) \rightarrow D = 0.996$

ii)  $x=1000 \text{ m} \rightarrow D = \exp(-0.0002 \cdot 1000/4.5) \rightarrow D = 0.958$

iii)  $x=2000 \text{ m} \rightarrow D = \exp(-0.0002 \cdot 2000/4.5) \rightarrow D = 0.918$

**Τυπική απόκλιση της εγκάρσιας και της κατακόρυφης κατανομής της συγκέντρωσης,  $\sigma_y$  και  $\sigma_z$  για i) 100 m, ii) 1000 m & iii) 2000 m**

$$\sigma_y = 0.16 x (1+0.0004x)^{-1/2} \quad \sigma_z = 0.14 x (1+0.0003x)^{-1/2}$$

i)  $x=100 \text{ m} \rightarrow \sigma_y = 15.7 \text{ m} \quad \sigma_z = 13.8 \text{ m}$

ii)  $x=1000 \text{ m} \rightarrow \sigma_y = 135.2 \text{ m} \quad \sigma_z = 122.8 \text{ m}$

iii)  $x=2000 \text{ m} \rightarrow \sigma_y = 238.5 \text{ m} \quad \sigma_z = 221.4 \text{ m}$

## Παράμετρος καμινάδας

$$F = g v_s d^2 (T_s - T) / 4 T_s = 21.6 \text{ m}^4/\text{s}^3 \quad F < 55 \text{ m}^4/\text{s}^3$$

## Έλεγχος για την ύπαρξη κατωρεύματος

$$v_s / u = 8 / 4.5 = 1.78 > 1.5 \rightarrow h' = h = 50 \text{ m}$$

## Ενεργό ύψος εκπομπής

$$H = h' + 21.425 F^{3/4} / u \rightarrow H = 50 \text{ m} + 47.8 \text{ m} \rightarrow H = 97.8 \text{ m}$$

$$x_f = 49 F^{5/8} = 49 * 21.6^{5/8} = 334 \text{ m}$$

i)  $x = 100 \text{ m}$  υπολογισμός ενεργού ύψους από **σταδιακή ανύψωση** ( $x < x_f$ )

$$H(100 \text{ m}) = h' + 1.6 F^{1/3} x^{2/3} u^{-1} = 50 \text{ m} + 21.4 \text{ m} = 71.4 \text{ m}$$

$$(A) \rightarrow c(100 \text{ m}, 0, 0) = 0.0251 \cdot 0.996 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 0.025 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

ii)  $x = 1000 \text{ m} \rightarrow H = 97.8 \text{ m}$

$$(A) \rightarrow c(1000 \text{ m}, 0, 0) = 155.132 \cdot 0.958 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 148.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

iii)  $x = 2000 \text{ m} \rightarrow H = 97.8 \text{ m}$

$$(A) \rightarrow c(2000 \text{ m}, 0, 0) = 60.753 \cdot 0.918 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 55.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

## Άσκηση 7.2

Σωματίδια διαμέτρου  $2.5 \mu\text{m}$  εκπέμπονται σε αστικό περιβάλλον από καμινάδα ύψους  $50 \text{ m}$  και διαμέτρου  $2 \text{ m}$  με ρυθμό  $50 \text{ g/s}$ , ταχύτητα  $8 \text{ m/s}$  και θερμοκρασία  $400 \text{ K}$ . Αν η ατμόσφαιρα είναι ουδέτερη, η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι  $290 \text{ K}$  και η ταχύτητα του ανέμου  $3 \text{ m/s}$  σε ύψος  $10 \text{ m}$ , να βρεθούν οι μέγιστες συγκεντρώσεις των σωματιδίων στο έδαφος για αποστάσεις i)  $100 \text{ m}$ , ii)  $1000 \text{ m}$  & iii)  $2000 \text{ m}$  αν ο ρύπος έχει ταχύτητα καθίζησης  $v_g = 10 \text{ cm/s}$ .

\* Δίνεται ότι η ανύψωση του θυσάνου είναι θερμική

\*\* Να θεωρηθεί η εξίσωση Gauss με ανάκλαση από το έδαφος

\*\*\*Κλάση ευστάθειας  $D$  (αστική περιοχή):

$$\sigma_y = 0.16 x (1 + 0.0004x)^{-1/2}, \quad \sigma_z = 0.14 x (1 + 0.0003x)^{-1/2}$$

$$p = 0.25$$

$$h=50 \text{ m}$$

$$d=2 \text{ m}$$

$$Q=50 \text{ g/s}$$

$$v_s=8 \text{ m/s}$$

$$T_s=400 \text{ K}$$

$$u_{ref}=3 \text{ m/s}$$

$$z_{ref}=10 \text{ m}$$

$$v_g=10 \text{ cm/s}=0.1 \text{ m/s}$$

$$p=0.25$$

i.  $c(100 \text{ m}, 0, 0)=?$

ii.  $c(1000 \text{ m}, 0, 0)=?$

iii.  $c(2000 \text{ m}, 0, 0)=?$

Συγκεντρώσεις από ανυψωμένη σημειακή πηγή, σε επίπεδη περιοχή με ανάκλαση ρύπων από έδαφος και υπάρχει απομάκρυνση ρύπων

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(H+z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \cdot D$$

Μέγιστες συγκεντρώσεις στο έδαφος

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right] \cdot D \quad \mathbf{A}$$

Τα χαρακτηριστικά της πηγής ( $Q, h, d, v_s, T_s$ ), όπως και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες ( $K, E, D, u_{ref}, z_{ref}, p$ ) είναι ίδια με της άσκησης 7.1. Διαφέρει μόνο το είδος των ρύπων και επομένως, διαφέρει ο χρόνος ημιζωής και η μείωση  $D$



Από την άσκηση 7.1 έχουμε

**Ταχύτητα  $u$  στο ύψος καμινάδας  $h$   $u = 4.5 \text{ m/s}$**

**Τυπική απόκλιση  $\sigma_y$  και  $\sigma_z$**

- i)  $x=100 \text{ m} \rightarrow \sigma_y = 15.7 \text{ m} \quad \sigma_z = 13.8 \text{ m}$
- ii)  $x=1000 \text{ m} \rightarrow \sigma_y = 135.2 \text{ m} \quad \sigma_z = 122.8 \text{ m}$
- iii)  $x=2000 \text{ m} \rightarrow \sigma_y = 238.5 \text{ m} \quad \sigma_z = 221.4 \text{ m}$

**Παράμετρος καμινάδας  $F = 21.6 \text{ m}^4/\text{s}^3 \quad F < 55 \text{ m}^4/\text{s}^3$**

**Μη ύπαρξη κατωρέματος**

**Ενεργό ύψος εκπομπής για  $x \geq 334 \text{ m} \quad H = 97.8 \text{ m}$**

**Ενεργό ύψος εκπομπής για  $x = 100 \text{ m} \quad H = 71.4 \text{ m}$**

**Μέγιστες συγκεντρώσεις στο έδαφος χωρίς μηχανισμό απομάκρυνσης**

- i)  $x=100 \text{ m} \rightarrow c(100\text{m}, 0, 0) = 0.0251 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ii)  $x=1000 \text{ m} \rightarrow c(1000\text{m}, 0, 0) = 155.132 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- iii)  $x=1000 \text{ m} \rightarrow c(2000\text{m}, 0, 0) = 60.753 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Αν  $5 \text{ cm/s} \leq v_g \leq 100 \text{ cm/s}$  ισχύει  $c=c_0/2$  σε απόσταση  $s_{1/2} = H u_s / v_g$

$$\text{Χρόνος ημιζωής } T_{1/2} = \frac{H \cdot u_s}{v_g^2}$$

*Μείωση της συγκέντρωσης λόγω καθίζησης*

$$D = \exp\left[-\ln 2 \frac{x}{H} \left(\frac{v_g}{u_s}\right)^2\right] = \exp\left[-0.693 \left(\frac{0.1}{4.5}\right)^2 \frac{x}{H}\right] \Rightarrow D = \exp\left(-3.42 \cdot 10^{-4} \frac{x}{H}\right)$$

**Μέγιστες συγκεντρώσεις στο έδαφος i) 100 m, ii) 1000 m & iii) 2000 m**

**i) x=100 m H(100 m) = 71.4 m**

$$(A) \rightarrow c'(100m,0,0) = c(100m,0,0) \cdot D(100m) = 0.0251 \mu\text{g} / \text{m}^3 \cdot \exp\left(-3.42 \cdot 10^{-4} \frac{100}{71.4}\right) \Rightarrow$$

$$c'(100m,0,0) = 0.0251 \mu\text{g} / \text{m}^3 \cdot 0.9995 = 0.025 \mu\text{g} / \text{m}^3$$

**ii) x=1000 m H=97.8 m**

$$(A) \rightarrow c'(1000m,0,0) = c(1000m,0,0) \cdot D(1000m) = 155.132 \mu\text{g} / \text{m}^3 \cdot \exp\left(-3.42 \cdot 10^{-4} \frac{1000}{97.8}\right) \Rightarrow$$

$$c'(1000m,0,0) = 155.132 \mu\text{g} / \text{m}^3 \cdot 0.997 = 154.59 \mu\text{g} / \text{m}^3$$

**iii) x=2000 m → H=97.8 m**

$$(A) \rightarrow c'(2000m,0,0) = c(2000m,0,0) \cdot D(2000m) = 60.753 \mu\text{g} / \text{m}^3 \cdot \exp\left(-3.42 \cdot 10^{-4} \frac{2000}{97.8}\right) \Rightarrow$$

$$c'(2000m,0,0) = 60.753 \mu\text{g} / \text{m}^3 \cdot 0.993 = 60.33 \mu\text{g} / \text{m}^3$$

### Άσκηση 7.3

Αέριος ρύπος με παράγοντα απόπλυσης  $4.5 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  εκπέμπεται σε αγροτική περιοχή από καμινάδα ύψους 60 m και διαμέτρου 4.5 m με ρυθμό 40 g/s και ταχύτητα 6 m/s. Η ατμόσφαιρα είναι σε ουδέτερη κατάσταση με βροχόπτωση, η ταχύτητα του ανέμου είναι 4 m/s σε ύψος 10 m. Αν θεωρηθεί και η ανάκλαση από το έδαφος και ότι η ανύψωση του θυσάνου είναι θερμική, να βρεθούν οι μέγιστες συγκεντρώσεις του ρύπου στο έδαφος για αποστάσεις i) 500 m & ii) 2000 m.

Δίνονται:

Παράμετρος καμινάδας  $F=90 \text{ m}^4 \cdot \text{s}^{-3}$

$$\sigma_y(x)=0.08x(1+0.0001x)^{-1/2} \Rightarrow \sigma_y(500 \text{ m})= 39 \text{ m}, \sigma_y(2000 \text{ m})= 146 \text{ m}$$

$$\sigma_z(x)=0.06x(1+0.00015x)^{-1/2} \Rightarrow \sigma_z(500 \text{ m})= 29 \text{ m}, \sigma_z(2000 \text{ m})= 105 \text{ m}$$

Εκθέτης  $p$ : 0.15

$$A=4.5 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

$$h=60 \text{ m}$$

$$d=4.5 \text{ m}$$

$$Q=40 \text{ g/s}$$

$$v_s=6 \text{ m/s}$$

$$u_{ref}=4 \text{ m/s}$$

$$z_{ref}=10 \text{ m}$$

Θερμική ανύψωση

$$F=90 \text{ m}^4\text{s}^{-3}$$

$$\sigma_y(500 \text{ m})=39 \text{ m}$$

$$\sigma_z(500 \text{ m})=29 \text{ m}$$

$$\sigma_y(2000 \text{ m})=146 \text{ m}$$

$$\sigma_z(2000 \text{ m})=105 \text{ m}$$

$$p=0.15$$

$$i. c(500 \text{ m}, 0, 0) = ?$$

$$ii. c(2000 \text{ m}, 0, 0) = ?$$

## Εξίσωση Gauss

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(H+z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

Μέγιστες συγκεντρώσεις στο έδαφος  $\rightarrow y=0, z=0$

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

Βροχή  $\rightarrow$  Υγρή απόθεση

Μέγιστες συγκεντρώσεις στο έδαφος

$$c(x, y, z) = D(x) \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

$$D(x) = e^{-\frac{\psi x}{u}} \quad \psi = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \quad C(t) = C_0 e^{-t\Lambda}$$

*Χρόνος ημιζωής  $T_{1/2}$*

$$C(t) = C_0 e^{-t\Lambda} \Rightarrow \frac{C_0}{2} = C_0 e^{-T_{1/2}\Lambda} \Leftrightarrow \frac{1}{2} = e^{-T_{1/2}\Lambda} \Leftrightarrow \ln \frac{1}{2} = -T_{1/2}\Lambda \Leftrightarrow T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\Lambda}$$

*Συντελεστής μείωσης  $\psi$*

$$\psi = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \Rightarrow \psi = \frac{\ln 2}{\frac{\ln 2}{\Lambda}} \Leftrightarrow \psi = \Lambda$$

*Ποσοστό μείωσης  $D(x)$*

$$D(x) = e^{-\Lambda \frac{x}{u}}$$

*Ταχύτητα  $u$  στο ύψος καμινάδας  $h$*

$$u = u_{\text{ref}} \left( \frac{h}{z_{\text{ref}}} \right)^p \Rightarrow u = 4 \text{ m/s} \left( \frac{60 \text{ m}}{10 \text{ m}} \right)^{0.15} \Rightarrow u = 5.2 \text{ m/s}$$

*Έλεγχος για την ύπαρξη κατωρεύματος*

$$\frac{v_s}{u} = \frac{6}{5.2} = 1.15 < 1.5 \quad h' \neq h$$

$$h' = h + 2d \left( \frac{v_s}{u} - 1.5 \right) = 60 + 2 \cdot 4.5 (1.15 - 1.5) \Rightarrow h' = 56.8 \text{ m}$$

*Ουδέτερη ατμόσφαιρα, Θερμική ανύψωση,  $F \geq 55 \text{m}^4 \text{s}^{-3}$*

*Ενεργό ύψος  $H$*

$$H = h' + 38.71 \frac{F^{3/5}}{u} = 56.8 + 38.71 \frac{90^{3/5}}{5.2} \Rightarrow H = 167.5 \text{m}$$

*Απόσταση  $x_f$*   $x_f = 119F^{2/5} \Rightarrow x_f \cong 720 \text{m}$

*i)  $H(500 \text{ m})$*

$x=500 \text{ m}$   $x < x_f \rightarrow$  *Σταδιακή ανύψωση*

$$H(x) = h' + 1.6 F^{1/3} x^{2/3} u^{-1}$$

$$H(500 \text{ m}) = 56.8 + 1.6 \cdot 90^{1/3} \cdot (500)^{2/3} / 5.2 = 56.8 + 86.9 \rightarrow H(500 \text{ m}) = 143.7 \text{ m}$$

$$(3) \Rightarrow D(500 \text{ m}) = e^{-4.5 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1} \frac{500 \text{ m}}{5.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}} = 0.958 \rightarrow D(500 \text{ m}) = 0.958$$

$$(A) \Rightarrow c(500 \text{ m}, 0, 0) = 0.958 \frac{40 \cdot 10^6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}}{3.14 \cdot 5.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 39 \text{ m} \cdot 29 \text{ m}} \exp\left(-\frac{143.7^2}{2 \cdot 29^2}\right) \Rightarrow$$

$$c(500 \text{ m}, 0, 0) = 0.01 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$$

*ii) H(2000 m)*

$$x=2000 \text{ m } x > x_f \rightarrow H(2000 \text{ m})= H \rightarrow H(2000 \text{ m}) = 167.5 \text{ m}$$

$$(3) \Rightarrow D(2000\text{m}) = e^{-4.5 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1} \frac{2000\text{m}}{5.2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}}} = 0.841 \rightarrow D(2000 \text{ m})=0.841$$

$$(A) \Rightarrow c(2000\text{m},0,0) = 0.841 \frac{40 \cdot 10^6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}}{3.14 \cdot 5.2\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 146\text{m} \cdot 105\text{m}} \exp\left(-\frac{167.5^2}{2 \cdot 105^2}\right) \Rightarrow$$

$$c(2000\text{m},0,0) = 37.6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$$

## Άσκηση 7.4

Καμινάδα ύψους  $h_s=80\text{ m}$  & διαμέτρου  $d=2\text{ m}$  εκπέμπει αδρανή αέριο ρύπο με ρυθμό  $Q=60\text{ g/s}$ . Τα εξερχόμενα αέρια έχουν ταχύτητα  $v_s=12\text{ m/s}$  και θερμοκρασία  $T_s=400\text{ K}$ . Αν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι  $\theta=25\text{ }^\circ\text{C}$  και η ταχύτητα ανέμου  $u_{ref}=3\text{ m/s}$  σε ύψος  $z_{ref}=10\text{ m}$  και η ανύψωση του θυσάνου οφείλεται στην άνωση

α) Να βρεθούν οι μέγιστες συγκεντρώσεις στο έδαφος και οι αποστάσεις που εμφανίζονται για τις κλάσεις ευστάθειας B, D & F.

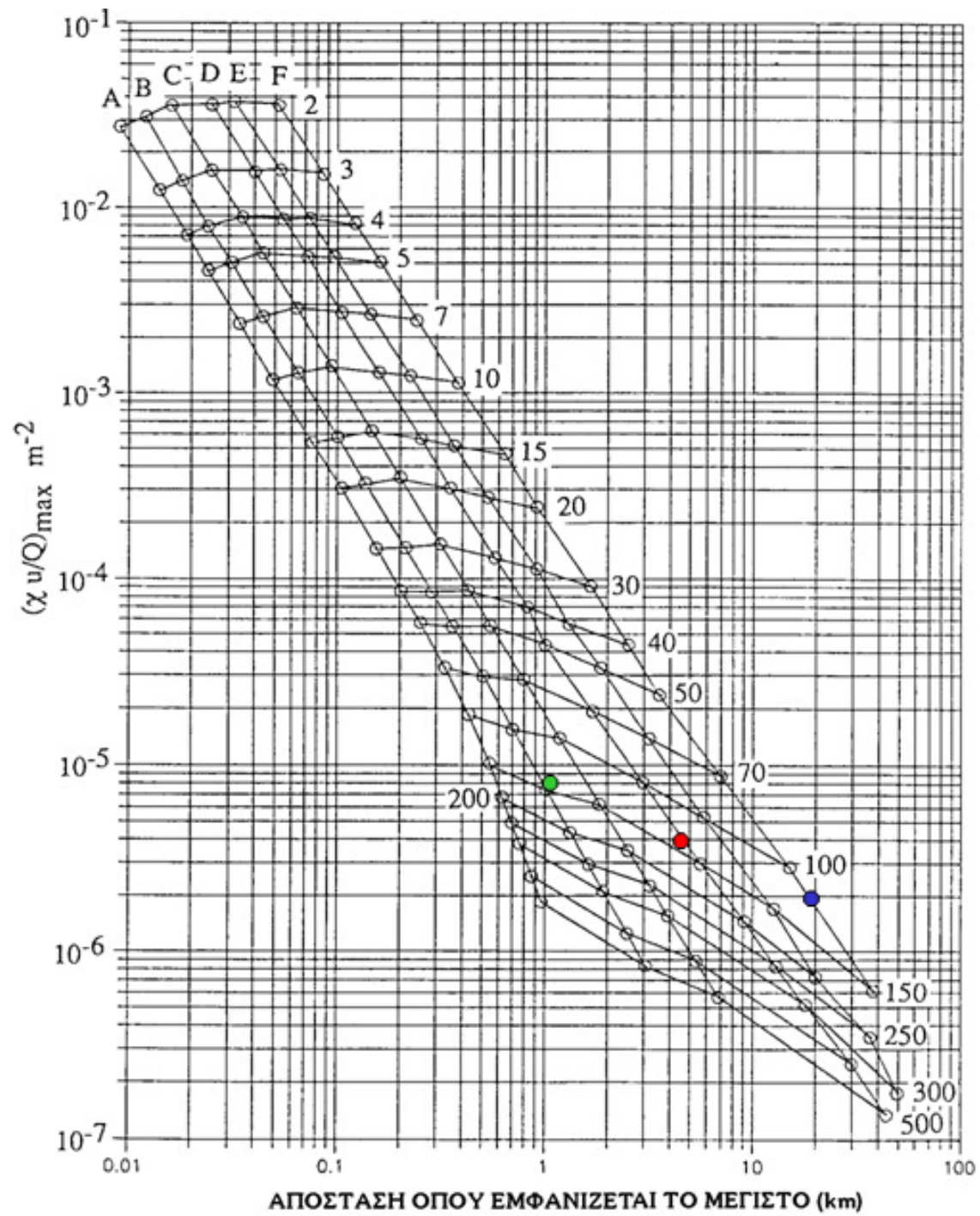
β) Αν ο ρύπος που εκπέμπει η καμινάδα είναι  $\text{SO}_2$  και η ατμοσφαιρική πίεση είναι  $p=1020\text{ mbar}$  να βρεθεί αν σε κάποια από τις παραπάνω περιπτώσεις έχουμε υπέρβαση του ορίου επιφυλακής που είναι  $135\text{ ppb}$

Δίνονται:

$$g=9.81\text{ m/s}^2, \partial T/\partial z+\Gamma \approx 0.035\text{ K m}^{-1} \text{ για K.E.}=F, MB(\text{SO}_2)=64$$

$$\text{Εκθέτης } p=0.15 \text{ για K.E.}=B, p=0.25 \text{ για K.E.}=D, p=0.60 \text{ για K.E.}=F$$





$$h = 80 \text{ m}$$

$$d = 2 \text{ m}$$

$$Q = 60 \text{ g/s}$$

$$v_s = 12 \text{ m/s}$$

$$T_s = 400 \text{ K}$$

$$\theta = 25^\circ \text{C} \rightarrow T = 298 \text{ K}$$

$$u_{ref} = 3 \text{ m/s}$$

$$z_{ref} = 10 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$B: p = 0.15$$

$$D: p = 0.25$$

$$F: p = 0.60$$

$$\alpha) c_{max} = ?, x_{max} = ?$$

$$\beta) \text{ υπέρβαση ΟΕ ?}$$

**α)**

*Παράμετρος καμινάδας*

$$F = g v_s d^2 (T_s - T) / 4 T_s =$$

$$= 9.81 \cdot 20 \cdot 2^2 \cdot (400 - 298) / (4 \cdot 400) \text{ m}^4/\text{s}^3 \rightarrow$$

$$F = 30 \text{ m}^4/\text{s}^3$$

*Ταχύτητα u στο ύψος της καμινάδας*

$$u = u_{ref} \left( \frac{h}{z_{ref}} \right)^p \quad (A)$$

*Έλεγχος για κατώρευμα*

$$\frac{v_s}{u}$$

### Κλάση ευστάθειας B (αστάθεια)

$$p=0.15$$

$$(A) \rightarrow u = 3 (80/10)^{0.15} \text{ m/s} \rightarrow u = 4.1 \text{ m/s}$$

*Κατώρευμα*

$$v_s/u = 12 / 4.1 = 2.9 > 1.5 \rightarrow h' = h = 80 \text{ m}$$

$$\text{Θερμική ανύψωση και } F = 30 \text{ m}^4/\text{s}^3 < 55 \text{ m}^4/\text{s}^3$$

*Ενεργό ύψος εκπομπής*

$$H = h' + 21.425 \cdot F^{3/4}/u = 80 + 21.425 \cdot 30^{3/4}/4.1 \rightarrow H = 147 \text{ m}$$

*Χρήση νομογράμματος*

Για ενεργό ύψος εκπομπής  $H = 147 \text{ m}$  &  $u = 4.1 \text{ m/s}$

$$x_{max} = 1 \text{ km} \quad a = 8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2}$$

$$c_{max} = a Q/u = 8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2} \cdot 60 \cdot 10^6 \mu\text{g s}^{-1} / 4.1 \text{ m s}^{-1} \rightarrow c_{max} = 117.1 \mu\text{g m}^{-2}$$

### Κλάση ευστάθειας D (ουδέτερη ατμόσφαιρα)

$$p=0.25$$

$$(A) \rightarrow u = 3 (80/10)^{0.25} \text{ m/s} \rightarrow u = 5 \text{ m/s}$$

*Κατώρευμα*

$$v_s/u = 12 / 5 = 2.4 > 1.5 \rightarrow h' = h = 80 \text{ m}$$

**Θερμική ανύψωση και  $F = 30 \text{ m}^4/\text{s}^3 < 55 \text{ m}^4/\text{s}^3$**

**Ενεργό ύψος εκπομπής**

$$H = h' + 21.425 \cdot F^{3/4} / u = 80 + 21.425 \cdot 30^{3/4} / 5 \rightarrow H = 135 \text{ m}$$

**Χρήση νομογράμματος**

Για ενεργό ύψος εκπομπής  **$H = 135 \text{ m}$  &  $u = 5 \text{ m/s}$**

$$x_{max} = 5 \text{ km} \quad a = 4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2}$$

$$c_{max} = a Q / u = 4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2} \cdot 60 \cdot 10^6 \mu\text{g s}^{-1} / 5 \text{ m s}^{-1} \rightarrow c_{max} = 48 \mu\text{g m}^{-2}$$

**Κλάση ευστάθειας F (ευστάθεια)**

$$p = 0.60$$

$$(A) \rightarrow u = 3 (80/10)^{0.60} \text{ m/s} \rightarrow u = 10.4 \text{ m/s}$$

**Κατώρευμα**

$$v_s / u = 12 / 10.4 = 1.15 < 1.5 \rightarrow h' \neq h$$

$$h' = h + 2d [(v_s / u) - 1.5] = 80 \text{ m} + 2 \cdot 2 \text{ m} (-0.35) = 80 \text{ m} - 1.4 \text{ m} \rightarrow h' = 78.6 \text{ m}$$

**Θερμική ανύψωση και κεκαμμένος θύσανος ( $u > 1 \text{ m/s}$ )**

**Ενεργό ύψος εκπομπής**

$$s = g / T (\partial T / \partial z + \Gamma) = 9.81 \text{ ms}^{-2} \cdot 0.035 \text{ Km}^{-1} / 298 \text{ K} \rightarrow s = 1.152 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-2}$$

$$H = h' + 2.6 \cdot (F / us)^{1/3} = 78.6 + 2.6 \cdot [30 / (10.4 \cdot 1.152 \cdot 10^{-3})]^{1/3} \rightarrow H = 113.8 \text{ m}$$

### Χρήση νομογράμματος

Για ενεργό ύψος εκπομπής  $H = 114 \text{ m}$  &

$u = 10.4 \text{ m/s}$

$x_{max} = 11 \text{ km}$        $a = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2}$

$c_{max} = a Q/u =$

$= 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2} \cdot 60 \cdot 10^6 \mu\text{g s}^{-1} / 10.4 \text{ m s}^{-1} \rightarrow$

$c_{max} = 11.5 \mu\text{g m}^{-2}$

**β)** ΟΕ  $\text{SO}_2 = 135 \text{ ppb}$

MB( $\text{SO}_2$ ) = 64

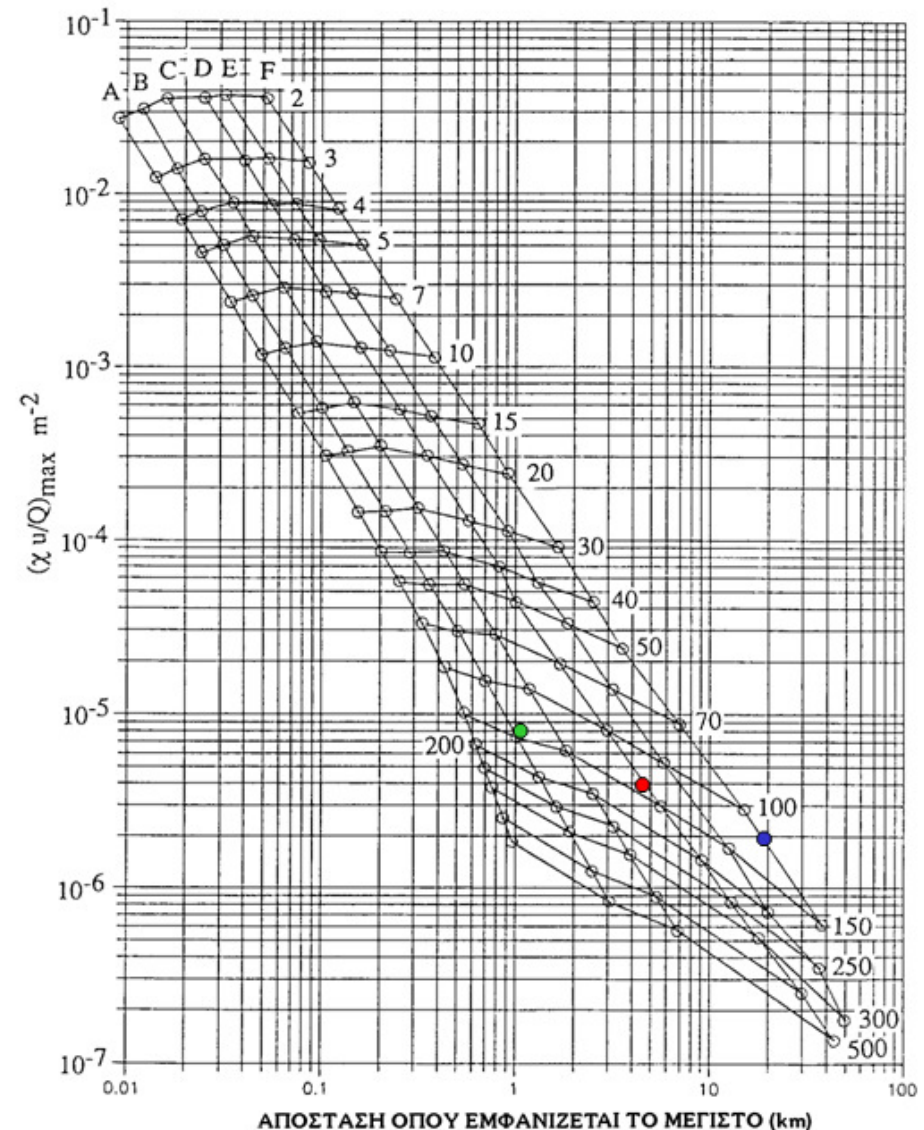
P = 1020 mbar

T = 298 K

$$C^m = \frac{C^v \cdot 100 \cdot P \cdot MB}{8.314 \cdot T} \Rightarrow$$

$$C^m = \frac{0.135 \cdot 100 \cdot 1020 \cdot 64}{8.314 \cdot 298} \mu\text{g} / \text{m}^3 \Rightarrow$$

$$C^m = 356 \mu\text{g} / \text{m}^3$$



Όριο Επιφυλακής μικρότερο από  $c_{max}$  για όλες τις κλάσεις ευστάθειας.  
Επομένως δεν υπάρχει υπέρβαση.

### Άσκηση 7.5

Καμινάδα εκπέμπει σωματίδια διαμέτρου  $0.1 \mu\text{m}$  ρύπο με ρυθμό  $Q=50 \text{ g/s}$  και ταχύτητα  $v_s=6 \text{ m/s}$ . Η καμινάδα έχει ύψος  $h=30 \text{ m}$  και διάμετρο  $d=4 \text{ m}$  και η παράμετρος καμινάδας είναι  $F=60 \text{ m}^4\text{s}^{-3}$ . Ο θύσανος ανυψώνεται λόγω της άνωσης, η ατμοσφαιρική κλάση ευστάθειας είναι  $B$  και η ταχύτητα ανέμου στο ύψος της καμινάδας είναι  $u=5 \text{ m/s}$ .

**α)** Να βρεθεί η μέγιστη συγκέντρωση στο έδαφος για απόσταση  $650 \text{ m}$  από την πηγή.

**β)** Αν η διεύθυνση του ανέμου μεταβληθεί κατά  $30^\circ$ , πόσο θα μεταβληθεί η συγκέντρωση στο προηγούμενο σημείο?

\*Να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση του Gauss που λαμβάνει υπόψη μόνο την ανάκλαση από το έδαφος

Δίνεται ότι για κλάση ευστάθειας  $B$  οι συντελεστές τυπικής απόκλισης δίνονται από τις σχέσεις:

$$\sigma_y = 0.32x(1+0.0004x)^{-1/2}, \quad \sigma_z = 0.24x(1+0.001x)^{-1/2}$$



$$d_{PAR} = 0.1 \mu\text{m}$$

$$Q = 50 \text{ g/s}$$

$$h = 30 \text{ m}$$

$$v_s = 6 \text{ m/s}$$

$$d = 4 \text{ m}$$

$$F = 60 \text{ m}^4\text{s}^{-3}$$

$$u = 5 \text{ m/s}$$

*K.E. B*

$$x = 650 \text{ m}$$

$$\Delta\phi = 30^\circ$$

$$\alpha) c(650, 0, 0) = ?$$

$$\beta) \Delta c = ?$$

$\alpha) d_{PAR} = 0.1 \mu\text{m} \rightarrow$  *Μη βαρυτική καθίζηση*

*Εξίσωση Gauss*

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(H+z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (A)$$

*Μέγιστη συγκέντρωση στο έδαφος  $\rightarrow y=0, z=0$*

$$c(x, 0, 0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (B)$$

*Κατώρευμα*

$$\frac{v_s}{u} = \frac{6}{5} = 1.2 < 1.5 \quad h' \neq h$$

$$h' = h + 2d \left( \frac{v_s}{u} - 1.5 \right) = 30 \text{ m} + 2 \cdot 4 (1.2 - 1.5) \text{ m} = 27.6 \text{ m}$$

*K.E. B, θερμική ανύψωση,  $F > 55 \text{ m}^4\text{s}^{-3}$*

$$H = h' + 38.71 \frac{F^{3/5}}{u} = 27.6 + 38.71 \frac{60^{3/5}}{5} \Rightarrow H = 117.9 \text{ m}$$

$$x_f = 119 F^{2/5} = 119 \cdot 60^{2/5} \Rightarrow x_f = 612.1 \text{ m}$$

$x > x_f \rightarrow$  *Ενεργό ύψος  $H=117.9 \text{ m}$*

Τυπική απόκλιση εγκάρσιας και κατακόρυφης κατανομής,  $\sigma_y$  και  $\sigma_z$  για  $x=650\text{ m}$

$$\sigma_y = 0.32 x (1+0.0004x)^{-1/2} \quad \sigma_z = 0.24 x (1+0.001x)^{-1/2}$$

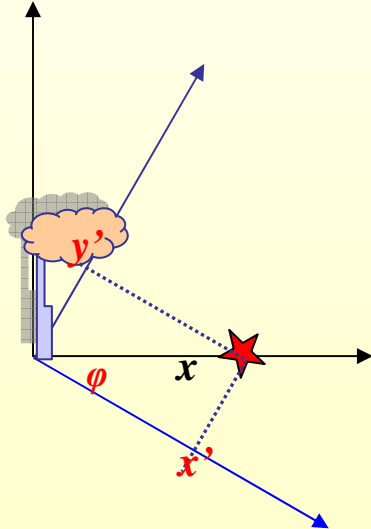
$$\sigma_y = 0.32 \cdot 650 (1+0.0004 \cdot 650)^{-1/2} \approx 131\text{ m}$$

$$\sigma_z = 0.24 \cdot 650 (1+0.001 \cdot 650)^{-1/2} \approx 57\text{ m}$$

$$(B) \Rightarrow c(650\text{m}, 0, 0) = \frac{50 \cdot 10^6 \mu\text{g s}^{-1}}{3.14 \cdot 5\text{ms}^{-1} \cdot 131\text{m} \cdot 57\text{m}} \exp\left(-\frac{117.9^2}{2 \cdot 57^2}\right) \Rightarrow$$

$$c(650\text{m}, 0, 0) = 50.2 \mu\text{g m}^{-3}$$

**β)**



$$\cos \varphi = \frac{x'}{x} \Leftrightarrow x' = x \cos \varphi = 650 \cos 30^\circ \Rightarrow x' = 562.9\text{ m}$$

$$\sin \varphi = \frac{y'}{x} \Leftrightarrow y' = x \sin \varphi = 650 \sin 30^\circ \Rightarrow y' = 325\text{ m}$$

$x < x_f \rightarrow$  Σταδιακή ανύψωση

Ενεργό ύψος για  $x=562.9\text{ m}$

$$H(x) = h' + 1.6 F^{1/3} x^{2/3} u^{-1}$$

$$H(562.9\text{ m}) = 27.6 + 1.6 \cdot 60^{1/3} \cdot (562.9)^{2/3} / 5 =$$

$$27.6 + 1.6 \cdot 3.9 \cdot 68.2 / 5 =$$

$$= 27.6 + 85.1 \rightarrow H(562.9\text{ m}) = 112.7\text{ m}$$



*Τυπική απόκλιση εγκάρσιας και κατακόρυφης κατανομής,  $\sigma_y$  και  $\sigma_z$  για  $x=562.9 m$*

$$\sigma_y = 0.32 x (1+0.0004x)^{-1/2} \quad \sigma_z = 0.24 x (1+0.001x)^{-1/2}$$

$$\sigma_y = 0.32 \cdot 562.9 (1+0.0004 \cdot 562.9)^{-1/2} \approx 120 m$$

$$\sigma_z = 0.24 \cdot 562.9 (1+0.001 \cdot 562.9)^{-1/2} \approx 55 m$$

$$(A) \Rightarrow c(x, y, 0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

$$c(562.9m, 325m, 0) = \frac{50 \cdot 10^6 \mu g s^{-1}}{3.14 \cdot 5ms^{-1} \cdot 120m \cdot 55m} \exp\left(-\frac{325^2}{2 \cdot 120^2}\right) \exp\left(-\frac{112.7^2}{2 \cdot 55^2}\right) \Rightarrow$$

$$c(562.9m, 325m, 0) = 1.5 \mu g m^{-3}$$

$$\Delta c = \frac{1.5 - 50.2}{50.2} \cdot 100 \Rightarrow \Delta c = -97.01\%$$

### Άσκηση 7.6

Αν τα σωματίδια της άσκησης 7.5 έχουν χρόνο ημιζωής  $T_{1/2}=20 \text{ min}$ , ποιες είναι οι συγκεντρώσεις για τις περιπτώσεις α) & β)? Πόση είναι η νέα μεταβολή των συγκεντρώσεων στο σημείο?

$$c'(x, y, z) = D(x) \cdot c(x, y, z)$$

$$D(x) = e^{-\psi \frac{x}{u}} \quad \psi = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

*Αποτελέσματα άσκησης 7.5*

α)  $x = 650m \Rightarrow c(650m, 0, 0) = 50.2 \mu\text{g m}^{-3}$

β)  $x = 562.9m, y = 325m \Rightarrow c(562.9m, 325m, 0) = 1.5 \mu\text{g m}^{-3}$

$$T_{1/2} = 20 \text{ min} = 1200 \text{ s}$$

$$\psi = \frac{\ln 2}{1200 \text{ s}} \Rightarrow \psi \cong 5.8 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

*i)  $x=650 \text{ m}$ ,  $y=0 \text{ m}$ ,  $z=0 \text{ m}$*

$$D(650 \text{ m}) = e^{5.8 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1} \frac{650 \text{ m}}{5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}} \Rightarrow D(650 \text{ m}) = 0.927$$

$$c'(650 \text{ m}, 0, 0) = D(650 \text{ m}) \cdot c(650 \text{ m}, 0, 0) = 0.927 \cdot 50.2 \mu\text{g m}^{-3} \Rightarrow$$

$$c'(650 \text{ m}, 0, 0) = 46.6 \mu\text{g / m}^3$$

*ii)  $x=562.9 \text{ m}$ ,  $y=325 \text{ m}$ ,  $z=0 \text{ m}$*

$$D(562.9 \text{ m}) = e^{5.8 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1} \frac{562.9 \text{ m}}{5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}} \Rightarrow D(562.9 \text{ m}) = 0.937$$

$$c'(562.9 \text{ m}, 325 \text{ m}, 0) = D(562.9 \text{ m}) \cdot c(562.9 \text{ m}, 325 \text{ m}, 0) = 0.937 \cdot 1.5 \mu\text{g m}^{-3} \Rightarrow$$

$$c'(562.9 \text{ m}, 325 \text{ m}, 0) = 1.4 \mu\text{g / m}^3$$

$$\Delta c = \frac{1.4 - 40.6}{40.6} \cdot 100 \Rightarrow \Delta c = -96.6 \%$$