

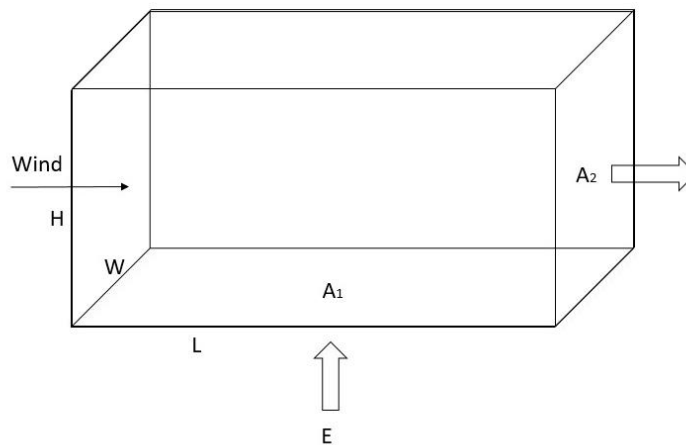
# בקרת זיהום אוויר

## תרגיל 2

עדית בלחסן 032583940

1.

- a. Sketch a scheme of the problem assuming a simple box model (SISO)



- b. Write the mass balance equation for the control volume

משוואה ופיתרון כללי (כאשר  $q$  קצב פליטה לשטח):

$$V \cdot \frac{dc(t)}{dt} = q \cdot A_1 - u \cdot A_2 \cdot c(t)$$

$$\text{given } q \cdot A_1 = E$$

$$\text{mark } \alpha = u \cdot A_2$$

$$\int \frac{V \cdot dc(t)}{E - \alpha \cdot c(t)} dc = \int dt$$

$$\frac{-V}{\alpha} \cdot \ln(E - \alpha \cdot c(t)) + C_1 = t + C_2$$

$$c(t) = C^* \cdot \exp\left(\frac{-\alpha \cdot t}{V}\right) + \frac{E}{\alpha}$$

בהנחה שבשעה 6 בבוקר (נניח  $t=0$  בשעה זו) מתאפס כל פעם הריכוז, נוכל לחשב את הקבוע  $C^*$ :

$$c(t=0) = C^* + \frac{E}{\alpha} = 0$$

$$C^* = -\frac{E}{\alpha}$$

$$c(t) = -\frac{E}{\alpha} \cdot \exp\left(\frac{-\alpha \cdot t}{V}\right) + \frac{E}{\alpha}$$

- c. Calculate the concentration of benzene as a function of time (from 6 am until next day 6 am) for emissions that occur

(1) throughout the whole day

נציב את הערכים במשוואה:

$$V = H \cdot W \cdot L = 5.25 \cdot 10^9 \text{ m}^3$$

$$u = 2 \text{ m/s} = 7200 \text{ m/h}$$

$$A_2 = H \cdot W = 150 \cdot 5000 \text{ m}^2$$

$$\alpha = u \cdot A_2 = 5.4 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\alpha/V = 1.029 \text{ h}^{-1}$$

$$E = 1000 \text{ T/year} = 114 \text{ kg/h} = 114 \cdot 10^9 \mu\text{g/h}$$

$$E/\alpha = 21.11 \mu\text{g/m}^3$$

$$c(t) = -21.11 \cdot \exp(-1.029 \cdot t) + 21.11$$

(2) only in the rush hours (2 hours in the morning, 7-9 am and 2 hours in the afternoon 5-7 pm).

ניקח את המשוואה המקורית כאשר עכשיו קצב הפליטה תלוי בזמן:

$$V \cdot \frac{dc(t)}{dt} = E^* - \alpha \cdot c(t)$$

$$E^*(t) = \begin{cases} 684 \cdot 10^9 \frac{\mu g}{h} & t = \{1 - 3, 10 - 12\} \\ 0 & t = \{0 - 1, 3 - 10, 12 - 24\} \end{cases}$$

הפתרון הכללי עבור קצב פליטות  $E^*=0$  או קצב פליטות שונה מאפס הוא (בהתאמה):

$$c(t) = C_1 \cdot \exp\left(\frac{-\alpha \cdot t}{V}\right)$$

$$c(t) = C_2 \cdot \exp\left(\frac{-\alpha \cdot t}{V}\right) + \frac{E^*}{\alpha}$$

נעדיכן את הערכים הרלוונטיים (כאשר קיימת פליטה):

$$E^* = 114 \cdot 10^9 \cdot 6 = 684 \cdot 10^9 \mu g/h$$

$$E^*/\alpha = 126.67 \mu g/m^3$$

נמצא את הקבועים הרלוונטיים  $C_1$  ו- $C_2$  עבור כל מקטע זמן לפי המפורט לעיל:

מכיוון שבשעה 6 בבוקר לא נפלטו מזהמים ואלו התחילו רק ב-7, נתחיל את  $t=0$  ב-7 בבוקר.

**עבור השעות 7 עד 9 בבוקר** אם כך נקבל:

$$c(t) = -126.67 * \exp(-1.029 \cdot t) + 126.67$$

ניקח את הריכוז בשעה 9 בבוקר ( $c=110.5 \mu g/m^3$ ) כתנאי התחלה למשוואה עבור פליטה אפס **בין השעות 9 בבוקר ל-17:00** ונקבל (בהנחה של  $t=0$  ב-9 בבוקר):

$$c(t) = 110.5 \cdot \exp(-1.029 \cdot t)$$

ניקח את הריכוז בשעה 17:00 לפי המשוואה הנ"ל ( $c = 0.03 \mu g/m^3$ ) כתנאי התחלה למשוואה עבור פליטה קבועה **בין השעות 17:00-19:00** (בהנחה של  $t=0$  ב-17:00):

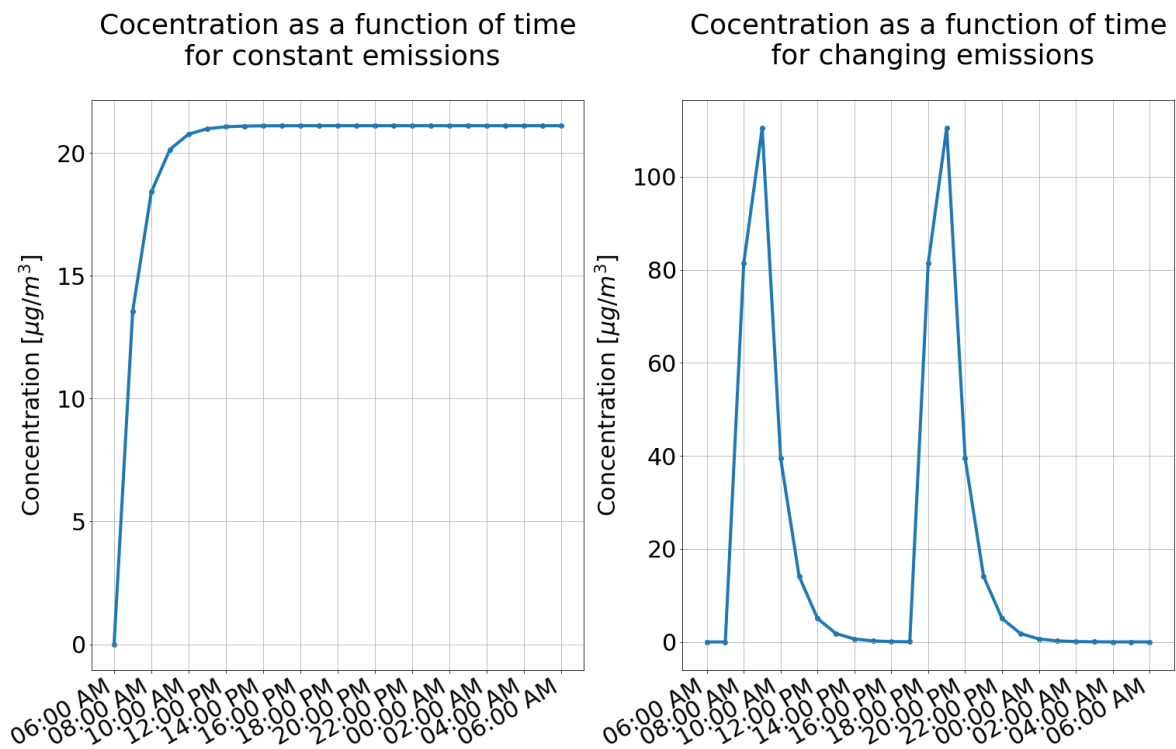
$$c(t) = -126.64 * \exp(-1.029 \cdot t) + 126.67$$

שוב, ניקח את הריכוז בשעה 19:00 לפי המשוואה הנ"ל ( $c = 110.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) כתנאי התחלה עבור פליטה אפס בין השעות 19:00 ל-6 בבוקר למחרת (בהנחה של  $t=0$  ב-19:00):

$$c(t) = 110.5 \cdot \exp(-1.029 \cdot t)$$

(Integrate your calculated concentration over the whole day to make sure you do not violate any of the above assumptions!)

d. Plot your results. (1 h temporal resolution)



e. What is the “time constant” of the concentration changes? (h)

$$\text{Concentration change} = cc = (1 - e^{-1})\Delta c(\infty) = 0.63\Delta c(\infty)$$

Time constant  $\tau$  = the time of that change

עבור מצב 1 (יש פליטות), עבור קבוע כללי  $c^*$  (ו- $cc$  מתייחס ל-concentration change):

$$cc = c^* \cdot \exp(-1.029\tau) - c^*$$

$$\frac{1}{\frac{cc}{c^*} + 1} = \exp(1.029\tau)$$

$$\tau = \frac{1}{1.029} \left[ \ln\left(\frac{c^*}{cc + c^*}\right) \right]$$

עבור המקרה בשאלה 1, יש לנו רק שינוי אחד בריכוז ולכן אם נציב:

$$cc = 0.63 * 21.11 = 13.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$c^* = -21.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$\tau = 0.966 \text{ h}$$

עבור מצב 2 (אין פליטות), עבור  $c^*$  כללי:

$$\tau = \frac{1}{1.029} \left[ \ln\left(\frac{c^*}{cc}\right) \right]$$

עבור המקרה בשאלה 2,  $c$  - במצב בו הריכוז עולה בעקבות פליטות (מצב 1), הריכוז אינו מגיע לרוויה (של  $126.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), אלא למקסימום של  $110.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (נזניח את הריכוז ההתחלתי של 0.03):

$$cc = 0.63 * 110.5 = 69.615 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$c^* = 110.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$\tau = 0.966 \text{ h}$$

עבור המקרה בשאלה 2, c - במצב בו הריכוז יורד כאשר אין פליטות (מצב 2):

$$c_c = 110.5 - 0.63 \cdot 110.5 = 40.885 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$c^* = 110.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$\tau = 0.966 \text{ h}$$

f. Based on (d), which emission pattern fits the descriptions and assumptions of the problem.

לפי הגרפים, ניתן לראות כי פליטות שאינן קבועות בזמן הן אלו שמתאימות להנחות הבעיה מאחר והריכוז ב-6 בבוקר יורד לאפס.

2. What should be the maximum allowed emission of benzene in HBA such that the daily ambient air quality standard ( $3.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) is not violated?

עבור מקרה של פליטות קבועות, נדרוש שהריכוז אחרי 24 שעות (כי אני מניחה שכל יום ב-6 בבוקר הריכוז מתאפס).  
לכן:

$$c(t) = -\frac{E}{\alpha} \cdot \exp\left(\frac{-\alpha \cdot t}{V}\right) + \frac{E}{\alpha}$$

$$C(t=24) = -E_{\text{max}}/\alpha \cdot \exp(-\alpha \cdot 24/V) + E_{\text{max}}/\alpha = 3.9$$

$$E_{\text{max}} = 3.9 \cdot \alpha / (1 - \exp(-\alpha \cdot 24/V)) = 21.06 \cdot 10^9 \mu\text{g}/\text{h} \approx 185 \text{ T/year}$$

עבור מקרה של פליטות משתנות, נדרוש שהפיק שקורה אחרי שעתיים של פליטה לא יעבור את המקסימום ריכוז שמותר:

$$C(t=2) = -E_{\text{max}}/\alpha \cdot \exp(-\alpha \cdot 2/V) + E_{\text{max}}/\alpha = 3.9$$

$$E_{\text{max}} = 3.9 \cdot \alpha / (1 - \exp(-\alpha \cdot 2/V)) = 24.1 \cdot 10^9 \mu\text{g}/\text{h} \approx 35 \text{ T/year}$$

3. Repeat Q1 but now assume that airborne benzene participates in a first order reaction that consumes it. The reaction rate is  $10^5 \text{ min}^{-1}$ .

נפתור בצורה כללית:

$$V \cdot \frac{dc(t)}{dt} = E - \alpha \cdot c(t) - r \cdot V \cdot c(t)$$

$$\text{mark } \beta = \alpha + r \cdot V$$

$$\int \frac{V \cdot dc(t)}{E - \beta \cdot c(t)} = \int dt$$

$$\frac{-V}{\beta} \cdot \ln(E - \beta \cdot c(t)) + C_1 = t + C_2$$

$$c(t) = C^* \cdot \exp\left(-\frac{\beta \cdot t}{V}\right) + \frac{E}{\beta}$$

נחשב שוב את הקבוע לפי ההנחה כי ב6 בבוקר הריכוז אפס ונקבל פיתרון דומה לשאלה 1.

נציב את הערכים במשוואה:

$$r = 10^5 \text{ min}^{-1} = 6 \cdot 10^6 \text{ h}^{-1}$$

$$V = H \cdot W \cdot L = 5.25 \cdot 10^9 \text{ m}^3$$

$$u = 2 \text{ m/s} = 7200 \text{ m/h}$$

$$A_2 = H \cdot W = 150 \cdot 5000 \text{ m}^2$$

$$\alpha = u \cdot A_2 = 5.4 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\beta = \alpha + r \cdot V = 5.4 \cdot 10^9 + 6 \cdot 10^6 \cdot 5.25 \cdot 10^9 = 3.15 \cdot 10^{16} \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\beta/V = 6 \cdot 10^6 \text{ h}^{-1}$$

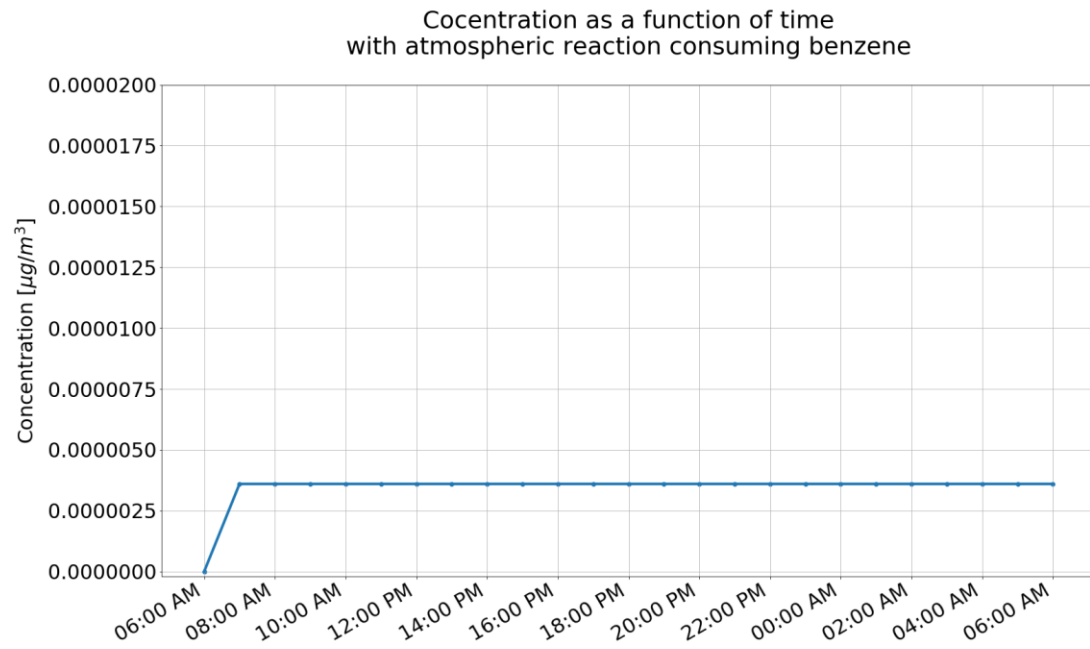
$$E = 1000 \text{ T/year} = 114 \text{ kg/h} = 114 \cdot 10^9 \mu\text{g/h}$$

$$E/\beta = 3.6 \cdot 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$$

ונקבל:

$$c(t) = -3.6 \cdot 10^{-6} \cdot \exp(-6 \cdot 10^6 \cdot t) + 3.6 \cdot 10^{-6}$$

נשרטט את התוצאות:



a. What is the effect of benzene atmospheric reaction on its ambient concentrations?

נראה שהאפקט של ריאקציה כזאת הוא חזק ביותר ובעצם משאיר את הריכוזים באוויר אפסיים.