

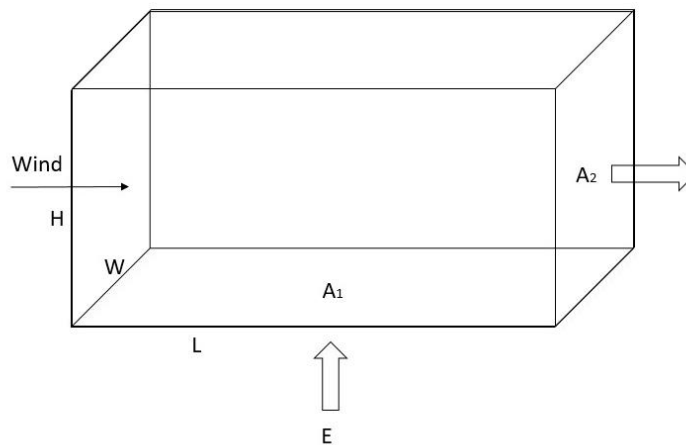
# בקרת זיהום אוויר

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):

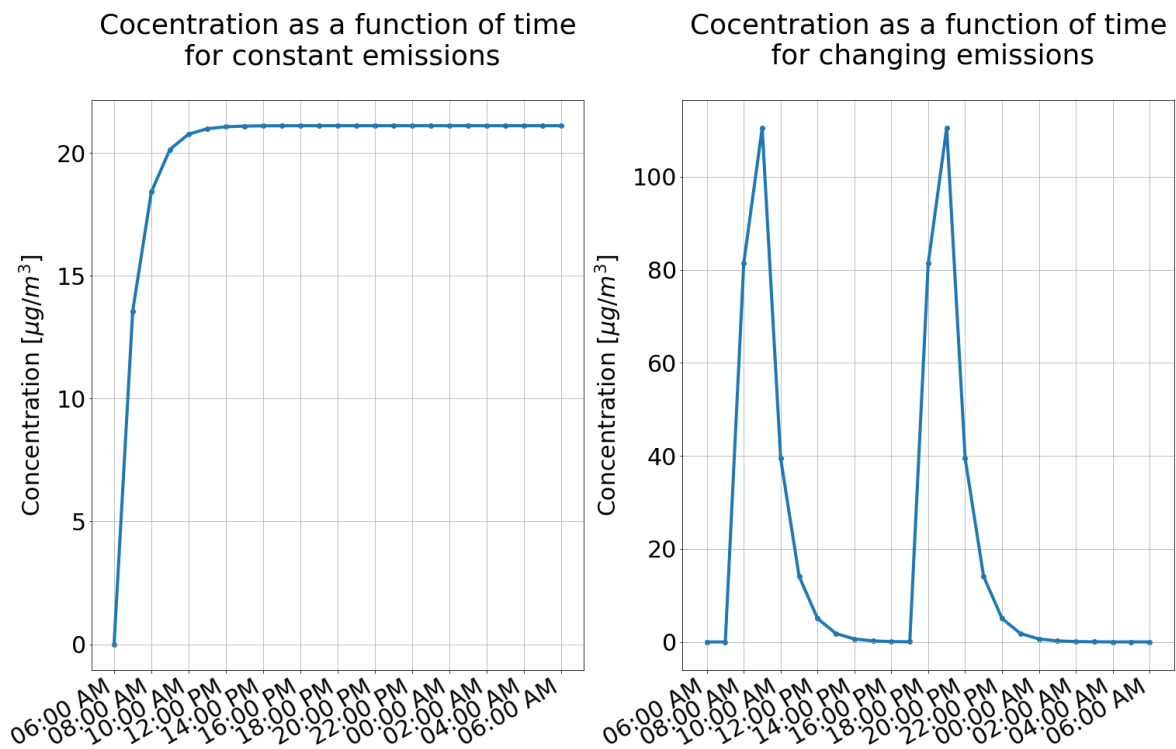
$$c(t) = -126.64 * \exp(-1.029 \cdot t) + 126.67$$

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?

**במקרה והכוונה היא לפיק יומי:**

עבור המקרה ה-1 (פליטות קבועות, נדרוש שהריכוז אחרי 24 שעות לא יעבור את המקסימום המותר. 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 שתיים של פליטה לא יעבור את המקסימום ריכוז שמותר:

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

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

---< כלומר, במקרה של 1000 טון בשנה אנחנו חורגים משמעותית מהמקסימום המותר.

### במקרה והכוונה לממוצע יומי:

הערה - חשבתי על האופציה של הממוצע היומי ושזאת הייתה הכוונה רק אחרי שכבר הגשתי לך את הגרסא הראשונה, אז אני כותבת את הערכים שחושבו על דף ולא הוקלדו.

נדרוש שהממוצע היומי יהיה שווה ל-

$$C_{\text{average}} = 3.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

עבור המקרה הראשון נקבל תוצאה דומה:

$$E_{\text{max}} = 22.5 \cdot 10^9 \mu\text{g}/\text{h} \approx 198 \text{ T/year}$$

עבור המקרה השני:

$$E_{\text{max}} \approx 126 \cdot 10^9 \mu\text{g}/\text{h} \approx 183 \text{ T/year}$$

---< כלומר, גם בחישוב זה אנחנו חורגים משמעותית מהמקסימום המותר.

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

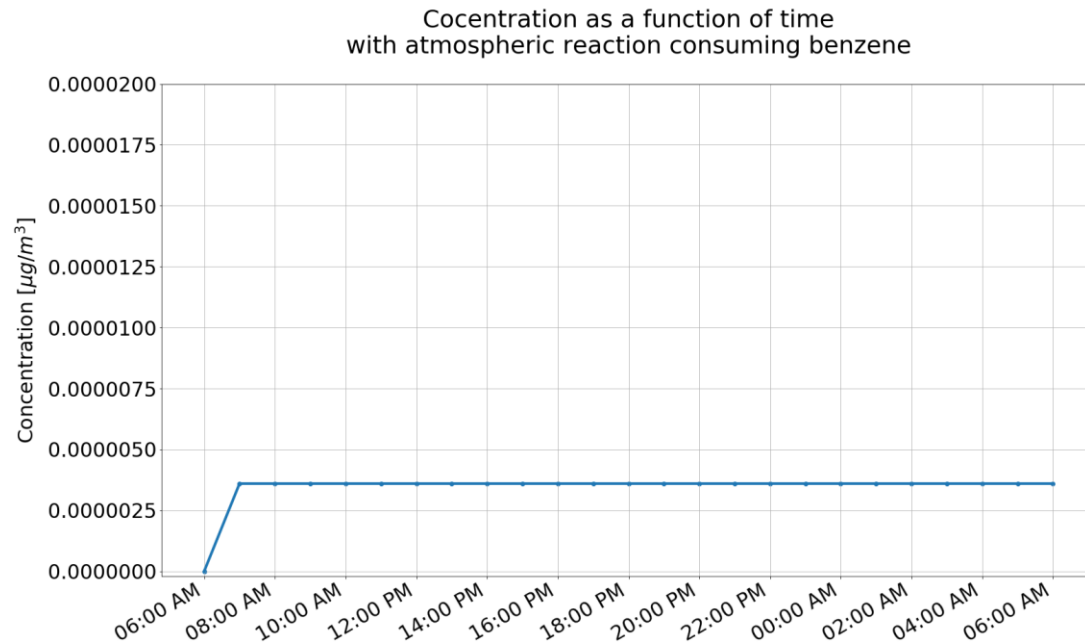
$$E/\beta = 3.6 \cdot 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$$

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. מצב של פליטה לא קבועה לאורך היום לא ישנה הרבה מאחר והאקספוננט גדול וגם  $E$  גדל, הביטוי  $\beta$  ענק, כך שנישאר בסדרי גודל אפסיים ולכן לא המשכתי לפתור. במקרה כזה, לא נחרוג מהסטנדרט היומי ונקיים פחות או יותר את התנאי שהריכוז אפס ב-6 בבוקר כי הוא סוג של אפס לאורך כל היום. כולי תקווה שאכן קיימות ריאקציות כאלה במציאות :