

АНАЛИЗА И ПРОРАЧУН ПОТРЕБНИХ ПАРАМЕТАРА ВАЗДУХА ЗА ВЕНТИЛАЦИЈУ И КЛИМАТИЗАЦИЈУ ПРОСТОРИЈА ОДРЕЂЕНЕ НАМЕНЕ

ANALYSIS AND CALCULATION OF THE NEEDED AIR PARAMETERS FOR SPECIAL PURPOSE ROOMS VENTILATION AND AIR CONDITIONING

*Др Шефик М. Бајмак, дийл. инж.,
мр Владан Ивановић, дийл. инж.,
Реља Аковић, дийл. инж., Машински факултет, Приштина*

У хемијској, прехранбеној, фармацеутичкој и другим индустријама, долази до загађења ваздуха. Ако се временом количина насталих штетних компоненти не мења, у питању је статичан извор, а ако се њена количина током времена мења, онда је то динамичан извор штетних компоненти. У раду је приказана методологија одређивања количине вентилационог ваздуха за оба случаја.

In chemical, agricultural, pharmaceutical and other industries, the air pollution occurs very often. If the quantity of generated polluted components is not changed in time, the static source is at stake; and if this quantity is changeable during the time, then the dynamical source of pollution components is at stake.

The methodology of determination of ventilation air quantity for both cases is reviewed in this paper in detail.

Кључне речи: ваздух; вентилација; климатизација; просторија; концентрација
Key words: air; ventilation; air conditioning; room; concentration

1. Настајање влаге и штетних компоненти у просторијама

Допунска количина спољњег и рециркулационог ваздуха је неопходна да би се омогућила неопходна покретљивост ваздуха унутар просторије. Већа количина спољњег ваздуха може бити неопходна у објектима са знатним топлотним изворима, у одсуству расхладних постројења. Потребне за спољним ваздухом зависе и од карактера активности човека.

Извори настајања влаге у производним просторијама су: људи, испаравања воде са отворених водених и влажних површина и материјала, неке хемијске реакције (на пример, сагоревање), сушење материјала, паре које продиру кроз незаптивене делове апарата и цевовода, или влаге са инфилтрираним спољним ваздухом, ако је његов садржај влаге већи од садржаја влаге ваздуха у просторији.

Издвајање влаге од присутних људи зависи од температуре околног ваздуха и од тежине рада. Количина влаге која испарава са отворених и влажних повр-

шина, одређује се по познатим изразима из литературе [1]. Технолошки процеси у производним просторијама стварају штетне гасове, паре и прашине, а CO₂ при дисању људи. Количина CO₂ од једног човека зависи од врсте послова које он изводи. У табели 1 налазе се подаци о количини настале топлоте, влаге и CO₂ од одраслих особа, у зависности од врсте рада и температуре ваздуха у просторији [4].

Штетни гасови и паре настају из хемијских реакција: при испаравању течности у отвореним резервоарима, који садрже хемијске материје; при продору штетних материја кроз незаптивене елементе опреме и комуникације; у време хаварије, кад у просторију продиру штетне компоненте и сл.

Када у реакцију ступа хемијски чист материјал, количина настале штетне компоненте може се одредити и аналитичким путем.

Табела 1. Насћајање топлоте, влаге и CO₂ од одраслих људи [4]

Показатељи	Температура ваздуха у просторији [°C]					
	10	15	20	25	30	35
У стању мировања						
топлота, W						
осетна	140	163	87,2	68	40,7	11,6
латентна	23	29	28,8	35	52,3	81,4
укупна	163	145	116	93	93	93
влага, 10 g/s	8,3	8,3	11,1	13,9	20,8	32
CO ₂ , 10 g/s	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
При лакој раду						
топлота, W						
осетна	151	122	98,8	63,5	40,8	5,8
латентна	29	35	52,2	31,5	104,5	139,5
укупна	180	157	151	145	145	145,3
влага, 10 g/s	11,1	15,3	20,8	32	41,7	55,6
CO ₂ , 10 g/s	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
При средњој раду						
топлота, W						
осетна	143	134,5	105	70	40,8	5,8
латентна	52,5	75,6	99	128	157,2	192,2
укупна	195,5	210	204	198	198	198
влага, 10 g/s	19,5	30,6	39	51,6	64	78
CO ₂ , 10 g/s	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7
При тешкој раду						
топлота, W						
осетна	198	163	128	93	52,5	11,6
латентна	93	128	163	198	238	279,4
укупна	291	291	291	291	291	291
влага, 10 g/s	37,5	51,5	66,8	82	98,8	115,4
CO ₂ , 10 g/s	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5

2. Прорачун потребне количине ваздуха за вентилацију просторија са непроменљивим (статичним) изворима штетних материја

У разматрању потребне количине вентилационог ваздуха треба имати у виду просторију у коју се доводи спољни ваздух и где од људи или из технолошких процеса настају загађивање ваздуха и повишење температуре односно влажности ваздуха у просторији. Концентрација штетних компоненти непрекидно расте, а са растом концентрације расту и температура и влажност.

На слици 1 приказана је условна шема вентилације затворене просторије у времену dt [2]. Количина штетних компоненти у затвореној просторији постепено расте, почевши од њеног садржаја у спољњем ваздуху, до коначне концентрације добијене под утицајем људи у просторији или штетних компоненти из технолошког процеса.

За интервал времена dt , општи садржај штетне компоненте износи $(\dot{V}_{sv}k_0 + K) dt$. За то време из просторије се одводе штетне компоненте, односно ваздух у количини $(\dot{V}_{sv}k)dt$. То значи да у просторији у интервалу времена dt количина штетних компоненти износи:

$$(\dot{V}_{sv} k_0 + K) dt - \dot{V}_{sv} k dt \quad (1)$$

Једначина (1), изражавајући концентрацију dk по јединици запремине просторије, има облик:

$$dk \dot{V}_z = (\dot{V}_{sv} k_0 + K) dt - \dot{V}_{sv} k dt \quad (2)$$

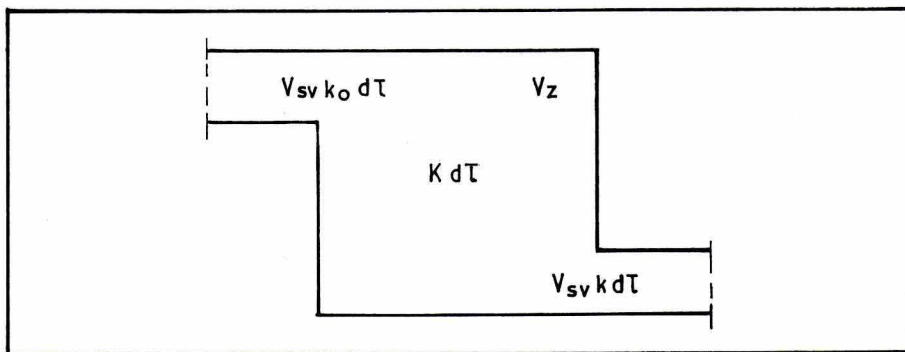
односно:

$$dk/dt + \dot{V}_{sv} k/V_z = (\dot{V}_{sv}k_0 + k) / \dot{V}_z \quad (3)$$

Једначина (3) има облик линеарне диференцијалне једначине првог реда и има интеграл општег облика:

$$k = \exp \left(- \int (\dot{V}_{sv}/V_z) dt \right) \left[C + \int ((\dot{V}_{sv} k_0 + k)/V_z) \exp \left(\int (\dot{V}_{sv}/V_z) dt \right) dt \right] \quad (4)$$

Ако усвојимо да је $\dot{V}_{sv}/V_z = n$ број измена ваздуха у просторији и интегрисањем једначине (4), при чему су гранични услови за $\tau = 0$, $k = k_i$, концентрација штетних компоненти у времену једнака је изразу:



Слика 1. Условна шема просторије

$$k = (k_0 + K/V_{sv}) (1 - \exp(-n\tau)) + k_i \exp(-n\tau) \quad (5)$$

Према изразу (5), могући су следећи случајеви који се срећу у пракси:

1) Спољни ваздух не садржи штетне компоненте ($k_i = 0$) и у просторији не бораве људи, односно нема технолошких загађивача ($K = 0$), па једначина (5) добија облик:

$$k = k_i \exp(-n\tau) \quad (6)$$

2) Ако је почетна концентрација ваздуха у просторији једнака нули ($k_i = 0$) и у просторији не бораве људи, односно нема технолошких загађивача ($K = 0$), једначина (5) добија облик:

$$k = k_0 (1 - \exp(-n\tau)) \quad (7)$$

3) Ако је почетна концентрација ваздуха у просторији једнака нули ($k_i = 0$), а у просторији бораве људи, односно има технолошких загађивача ($K = 0$), једначина (5) има облик:

$$k = (k_0 + K/\dot{V}_{sv}) (1 - \exp(-n\tau)) \quad (8)$$

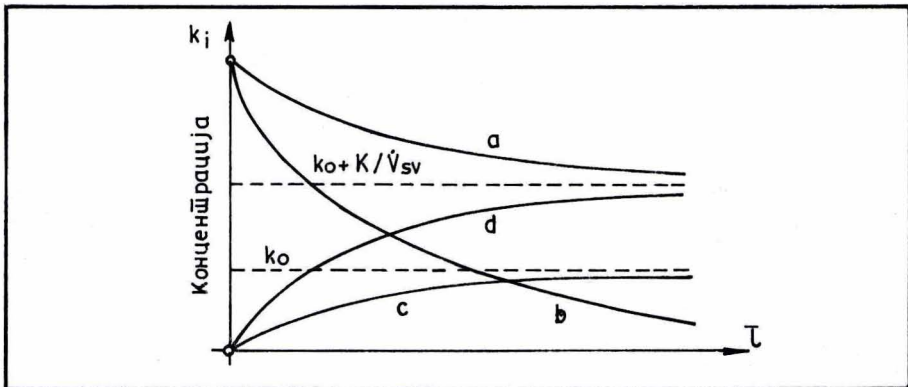
4) Количина штетних компоненти (K) насталих у просторији током времена се мења, тј. $K = K(\tau)$. Закон промене K у функцији времена може бити линеаран, експоненцијалан и сл. Овакви случајеви се најчешће срећу у разним технолошким процесима у хемијској, прехранбеној, фармацеутској и сличним индустријама.

Једначине 5 – 8 су графички представљене на слици 2.

Количина вентилационог ваздуха, полазећи од једначине (5) може се израчунати из израза:

$$V_{sv} = K (\exp(n\tau) - 1) / [\exp(n\tau)(k - k_0) + k_0 - k_i] \quad (9)$$

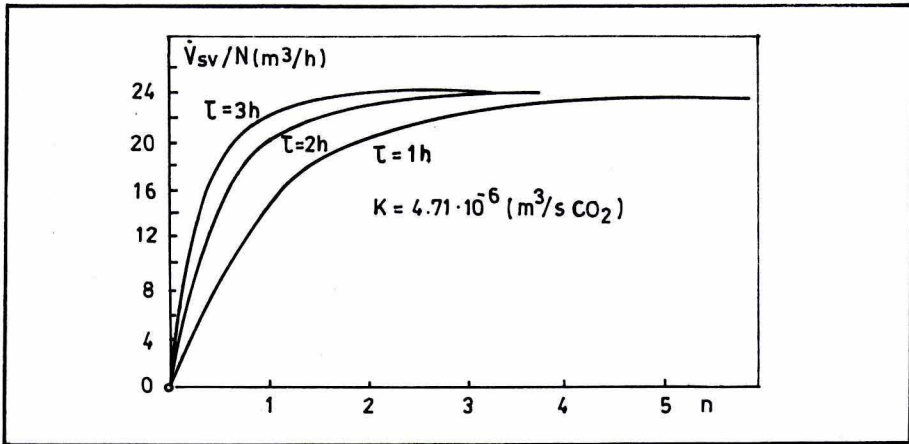
Ако у просторији борави N људи и сваки дисањем произведе $K_1 = 4,719 \cdot 10^{-6}$ (m^3/s) CO_2 , при чему је садржај CO_2 у свежем ваздуху $k_0 = 0,0003\%$, концентрација штетних компоненти у просторији не сме да пређе вредност у времену $\tau = 1$ сат од $k = 0,001\%$; количина свежег ваздуха за вентилацију просторије, у зависности од броја измена ваздуха (n), изражена је једначином:



Слика 2. Графичко представљање једначина; а) једначина (5); б) једначина (6); в) једначина (7); д) једначина (8)

$$(V_{sv}/N)_{\tau=1} = 6,73 \cdot 10^{-3} (1 - \exp(-n)) \quad (10)$$

која је и графички представљена на слици 3.



Слика 3. Количина свежег ваздуха по особи

3. Прорачун потребне количине ваздуха за вентилацију просторија са променљивим (динамичким) изворима настајања штетних материја

У индустрији (хемијској, прехранбеној, фармацеутској и сл.) чести су случајеви настајања штетних компоненти које зависе од времена настајања, тј. количина штетних компоненти мења се у функцији времена. Ток настајања штетних компоненти је приказан на слици 4.

Полазећи од једначине (4), концентрација k за приказане промене настајања штетне материје K (слика 4, а-е), има облик:

$$k_a = k_o (1 - \exp(-n\tau)) + K_a/V_{sv} \quad (11)$$

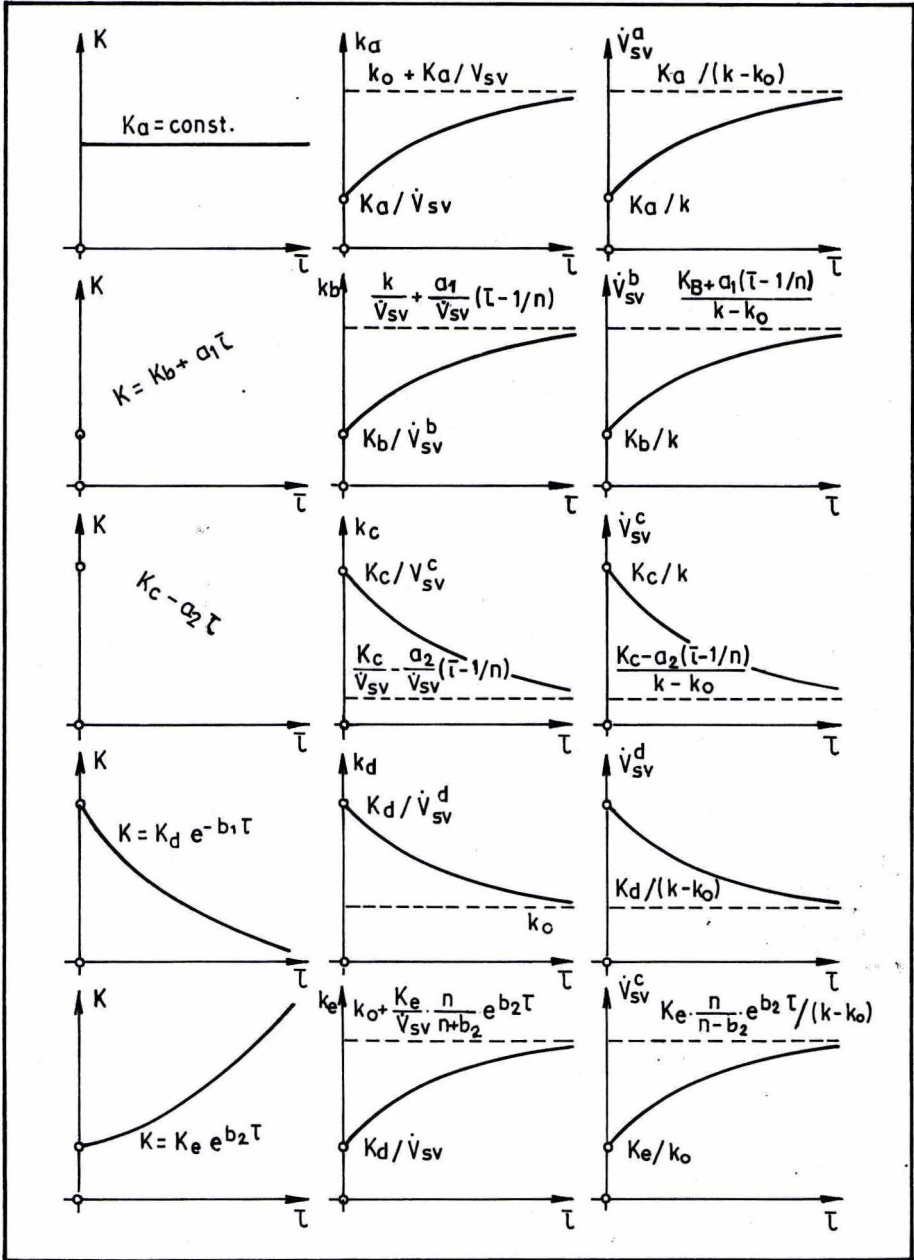
$$k_b = k_o (1 - \exp(-n\tau)) + K_b/V_{sv} + a_1 \exp(-n\tau) (1/n + t \exp(n\tau) - \exp(n\tau)/n) / V_{sv} \quad (12)$$

$$k_c = k_o (1 - \exp(-n\tau)) + K_c/V_{sv} + a_2 \exp(-n\tau) (1/n + \exp(n\tau) (\tau - 1/n)) / V_{sv} \quad (13)$$

$$k_d = K_d \exp(-n\tau) / V_{sv} + K_{dn} (\exp(-b_1\tau) - \exp(-n\tau)) / V_{sv} (n - b_1) + k_o (1 - \exp(-n\tau)) \quad (14)$$

$$k_e = k_o (1 - \exp(-n\tau)) + K_e [\exp(-n\tau) + n (\exp(b_2\tau) - \exp(-n\tau)) / (b_2 + n)] / V_{sv} \quad (15)$$

Количина вентилационог ваздуха може се приказати следећим једначинама:



Слика 4. Ток функције промене настајања штећне компоненте (K), концентрације (k) и количине вентилационог ваздуха (V_{sv})

$$\dot{V}_{sv}^a = K_a / [k_a - k_o (1 - \exp(-n\tau))] \quad (16)$$

$$\dot{V}_{sv}^b = [K_b + a_1 \exp(-n\tau) (1/n + \tau \exp(n\tau) - \exp(n\tau)/n)] / [k_b - k_o (1 - \exp(-n\tau))] \quad (17)$$

$$\dot{V}_{sv}^c = [K_c - a_2 \exp(-n\tau) (1/n + \tau \exp(n\tau) - \exp(n\tau)/n)] / [k_c - k_o (1 - \exp(-n\tau))] \quad (18)$$

$$\dot{V}_{sv}^d = [K_d \exp(-n\tau) + n (\exp(-b_1\tau) - \exp(-n\tau)) / (n - b_1)] / [k_d - k_o (1 - \exp(-n\tau))] \quad (19)$$

$$\dot{V}_{sv}^e = [K_e \exp(-n\tau) + n (\exp(-b_2\tau) - \exp(-n\tau)) / (n - b_2)] / [k_e - k_o (1 - \exp(-n\tau))] \quad (20)$$

Ток промена концентрације и количина вентилационог ваздуха у функцији τ и n је приказан на слици 4.

4. Закључак

Концентрација штетних компоненти и вентилационог ваздуха, умногоме зависе од запремине штетних компоненти у просторији (K), броја измена ваздуха (n), величине просторије (V_z), концентрације штетних компоненти у доведеном ваздуху (k_o) и почетне концентрације штетних компоненти у ваздуху просторије (k_i) у времену $\tau = 0$. Повећањем броја измена ваздуха количина вентилационог ваздуха по човеку у току једног сата расте. Тај пораст достиже константну вредност негде између $n = 3-4$. Повећањем броја измена n , однос (\dot{V}/N) добија константну вредност.

Продужењем времена τ за одстрањивање штетних компоненти, однос (\dot{V}/N) расте, али при вредности $n = 1-3$, овај однос добија константну вредност. У технолошким процесима, где је настајање штетних компоненти у функцији времена, $K = K(\tau)$, концентрација k и количина свежег ваздуха V_{sv} зависе од функције настајања штетних компоненти и коефицијената K , a , b и τ . Формула (1) може се искористити не само за одређивање неопходне количине спољњег ваздуха, већ и за решавање других задатака, везаних за прелазни (неуравнотежени) режим рада.

Формула (5) може бити представљена у облику:

$$X = [X_o + X(\tau)] [1 - \exp(-N\tau) + X_1 \exp(-N\tau)] \quad (21)$$

5. Ознаке

- a_1, a_2 – коефицијенти
- b_1, b_2 – коефицијенти
- k_i – почетна концентрација штетних компоненти у ваздуху просторије у тренутку времена $\tau = 0$, m^3/m^3
- k_x – концентрација штетних компоненти у ваздуху просторије у времену, m^3/m^3
- k_o – концентрација штетних компоненти у доведеном ваздуху, m^3/m^3
- \dot{V}_{sv} – запремина доведеног свежег ваздуха, m^3/s

- K – запремина насталих штетних компоненти у просторији, m^3/s
 Vz – запремина просторије по човеку, m^3
 n – број измена ваздуха
 X(t) – параметар ваздуха у просторији (нпр. температура, садржај воде или енталпија у времену)
 X₀ – вредност параметра свежег ваздуха
 X_i – почетна величина овог параметра у ваздуху просторије
 N – величина је сразмерна са временом релаксације разматраног процеса и зависи од производности система.

6. Литература

- [1] Богословскиј, В. Н.: *Опшћеније и вентилација*, Стројиздат, Москва, 1976.
 [2] Крум, Д., Б. Робертс: *Кондиционираније ваздуха и вентилација зданија*, Стројиздат, Москва, 1980.
 [3] Галијев, В. Н.: *Аеродинамика вентилацији*, Стојиздат, Москва, 1979.
 [4] Голубков, Б. Н., Т. М. Поманова, В. А. Гусев: *Проекћираније и експлуатација усћановок кондициониранија ваздуха и опшћенија*, Москва, Енергоатомиздат, 1988.