

Vplyv parametrov exhalačného zdroja a poveternostných podmienok na koncentráciu plynných a tuhých látok v ovzduší

Pavel Slančo¹, Milan Bobro¹, Jozef Hančul'ák¹ & Erika Geldová¹

Influence of exhalation source parameters and weather conditions on the concentration of gaseous and solid substances in atmosphere

From the general equation for the calculation of noxious material concentration in the atmosphere (Slančo, 1999) it is possible to determine the curve of the ground concentration of gaseous and solid materials with the size $\leq 0,1 \mu\text{m}$ in the wind direction (1). The shape of the concentration curve is influenced by the parameters of a point source (the power of source Q , the speed of exhalation spewing w , the diameter of the source crown d , the thermal efficiency of source G) and atmospheric conditions (wind speed, group of air stability).

In equation (1) means:

- Q – source power
- $\alpha_2, \alpha_3, \beta_2, \beta_3$ – coefficients connected with standard deviations
- σ_2, σ_3 in axis direction x_2, x_3 according to (2) and they depend on concrete conditions of dispersion
- h – effective level of source (4, 5)
- \bar{u} – average wind speed between the elevation level of the wind speed measurement and the effective level h .

In the paper, effect of these parameters and the wind speed on the size of maximum concentration of noxious material and the distance of place of maximum concentration (3), or from the bottom the source is studied.

The distance of place of maximum concentration from the bottom of source:

- with the change of source power is not changing
- with the crease of wind speed is moving to the source
- with the decrease of effective level is approaching the source.

The size of maximum concentration of noxious material at the distance x_{TM} (3)

- with the increase of source power is increasing
- with the increase of effective level is decreasing (at the same group of air stability)
- with the increase of \bar{u} is decreasing (the effective level at the constant source parameters and the same group of air stability is decreasing).

Key words: point source, dispersion, ground concentration, wind direction, gravity speed of element, meteorological conditions, turbulent speed convection, diffusive coefficients, parameters of dispersion, effective level of source.

Úvod

Zo všeobecnej rovnice pre výpočet koncentrácie škodliviny v ovzduší (Ermak, 1977, Slančo a kol., 1999) je možné určiť krivku prízemnej koncentrácie plynných a tuhých látok s rozmerom $\leq 0,1 \mu\text{m}$ v smere vetra. Na tvar koncentračnej krivky majú vplyv parametre zdroja (mohutnosť zdroja Q , rýchlosť vypúšťania exhalátu w , priemer koruny zdroja d , tepelná výdatnosť zdroja G), poveternostné podmienky (rýchlosť vetra, trieda stability ovzdušia) a efektívna výška zdroja h .

Teoretická časť

Ak zvolíme začiatok pravouhlého súradnicového systému x_1, x_2, x_3 v päte bodového zdroja (komína) tak, že smer osi x_1 je smer prúdenia vetra a smer osi x_3 má smer výšky zdroja, možno (Slančo a kol., 1999) vyjadriť priebeh prízemnej koncentrácie exhalátu v smere prúdenia vetra rovnicou

$$C = \frac{Q}{\pi \alpha_2 \alpha_3 \bar{u} x_1^{\beta_2 + \beta_3}} \exp\left(\frac{-h^2}{2\alpha_3^2 x_1^{2\beta_3}}\right), \quad (1)$$

kde h je efektívna výška bodového zdroja, \bar{u} je priemerná rýchlosť vetra medzi výškovou hladinou merania rýchlosti vetra u_{10} (hladina vo výške 10 m nad okolitým terénom) a hladinou efektívnej výšky h , $\alpha_2, \alpha_3, \beta_2, \beta_3$ sú koeficienty súvisiace so štandardnými odchýlkami σ_2, σ_3 v smere súradnicových osí x_2, x_3

$$\sigma_2 = \alpha_2 x_1^{\beta_2}, \quad \sigma_3 = \alpha_3 x_1^{\beta_3}, \quad (2)$$

¹ RNDr. Pavel Slančo, Ing. Jozef Hančul'ák, RNDr. Milan Bobro, PhD. & Mgr. Erika Geldová, Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice (Recenzované v roku 2000)

ktoré závisia od triedy stability ovzdušia (Bubník, 1981). V práci (Tadmor, 1969) je uvedené analytické vyjadrenie štandardných odchýlok σ_2 , σ_3 pre rôzne triedy stability ovzdušia. Rovnica (1) neplatí pre bezvetrie a malé rýchlosti vetra (Ermak, 1977).

Vyšetríme vplyv mohutnosti zdroja, efektívnej výšky a priemernej rýchlosti vetra na veľkosť maximálnej koncentrácie, resp. na vzdialenosť miesta maximálnej koncentrácie od päty zdroja.

Vplyv mohutnosti zdroja

Z rovnice (1) je zrejmé, že s nárastom, resp. poklesom mohutnosti zdroja Q sa mení len hodnota koncentrácie v jednotlivých bodoch koncentračnej krivky. Maximum koncentrácie sa bude nachádzať (Slančo a kol., 1999) vo vzdialenosti

$$x_{1M} = \exp \left[\frac{1}{2\beta_3} \ln \frac{\beta_3 h^2}{\alpha_3^2 (\beta_2 + \beta_3)} \right] \quad (3)$$

v smere vetra, z čoho vyplýva, že so zmenou mohutnosti zdroja sa miesto maximálnej koncentrácie nemení (mení sa len jej veľkosť).

Vplyv efektívnej výšky

Pre výpočet efektívnej výšky (Bubník, 1981) sa pre zdroje s tepelnou výdatnosťou $G < 20$ MW používa vzťah

$$h = H + \frac{1,5wd + 9,8G}{u_H} \quad (4)$$

a pre zdroje s $G \geq 20$ MW je

$$h = H + \frac{(1,5H - 50)G^{0,25}}{u_H}, \quad (5)$$

kde H je skutočná výška komína [m], d je priemer koruny komína [m], G je tepelná výdatnosť zdroja [MW], w je rýchlosť vypúšťania exhalátu zo zdroja [ms^{-1}] a u_H je rýchlosť vetra v korune komína [ms^{-1}].

Ak v rovniciach pre výpočet efektívnej výšky zdroja (4), (5) považujeme rýchlosť vetra v korune komína za konštantnú, potom zmena každého z parametrov zdroja H , w , d , G (pri ostatných troch parametroch zdroja konštantných) spôsobuje nárast, resp. pokles efektívnej výšky. S nárastom efektívnej výšky h narastá podľa rovnice (3) aj vzdialenosť miesta maximálnej koncentrácie od zdroja x_{1M} (s poklesom h sa x_{1M} približuje k zdroju). Pri tejto úvahe zostávajú meteorologické podmienky konštantné (tento predpoklad použijeme aj v ďalších úvahách).

Skúmame vplyv efektívnej výšky komína na veľkosť maximálnej koncentrácie. Ak do rovnice (1) dosadíme vzťah (3), dostaneme hodnotu maximálnej koncentrácie, nachádzajúcej sa vo vzdialenosti x_{1M} .

Označme

$$C_M = \frac{Q}{\pi\alpha_2\alpha_3\bar{u}}, \quad \varphi(h) = \frac{1}{2\beta_3} \ln \frac{\beta_3 h^2}{\alpha_3^2 (\beta_2 + \beta_3)}. \quad (6)$$

Hodnotu maximálnej koncentrácie možno potom vyjadriť ako funkciu efektívnej výšky

$$C_{\max} = C_M \exp \left\{ - \left[\frac{h^2}{2\alpha_3^2 \exp(2\beta_3 \varphi)} + (\beta_2 + \beta_3) \varphi \right] \right\}. \quad (7)$$

Rovnicu (7) možno zjednodušene zapísať v tvare

$$C_{\max} = C_M \exp(-A), \quad (8)$$

kde A predstavuje výraz v hranatej zátvorke z rovnice (7).

Priebeh funkcie $C_{\max}(h)$ vyšetříme, keď vypočítame prvú deriváciu podľa h (koncentráciu považujeme v tomto prípade len za funkciu efektívnej výšky). Ak bude táto derivácia (pre $h \in < h_1; h_2 >$, $h_2 > h_1$) kladná, bude funkcia C_{\max} s rastúcou efektívnou výškou rásť, v opačnom prípade klesať.

Platí:

$$\frac{dC_{\max}}{dh} = C_M \exp(-A) \frac{d(-A)}{dh} \quad (9)$$

S použitím vzťahov (6), resp. (7) bude

$$\frac{d(-A)}{dh} = - \frac{(\beta_2 + \beta_3)}{\beta_3 h} \quad (10)$$

a rovnica (9) nadobudne tvar

$$\frac{dC_{\max}}{dh} = - C_M \frac{(\beta_2 + \beta_3)}{\beta_3 h} \exp(-A) \quad (11)$$

Pretože hodnoty koeficientov α_2 , α_3 , β_2 , β_3 sú kladné čísla (Tadmor, 1969), bude:

$$\frac{dC_{\max}}{dh} < 0 \quad (12)$$

S nárastom efektívnej výšky zdroja teda hodnota maximálnej koncentrácie vo vzdialenosti x_{1M} klesá.

Vplyv rýchlosti vetra

Z rovnice (6) je zrejmé, že hodnota C_M s narastajúcou hodnotou rýchlosti \bar{u} klesá (ak rastie u_{10} , rastie \bar{u} aj u_H). Zo vzťahov (4), (5) vyplýva pokles efektívnej výšky s nárastom u_H . Podľa (6) a (7) klesá s nárastom h aj člen $\exp(-A)$ v rovnici (8) – maximálna hodnota koncentrácie klesá. Vzdialenosť miesta maximálnej koncentrácie x_{1M} (rovnica (3)) od päty zdroja s narastajúcou rýchlosťou vetra vo výške 10 m u_{10} klesá (klesá efektívna výška zdroja h podľa rovníc (4) a (5)).

Záver

Vzdialenosť miesta maximálnej koncentrácie od päty zdroja sa so zmenou mohutnosti zdroja nemení. S nárastom mohutnosti zdroja narastá len veľkosť maximálnej koncentrácie vo vzdialenosti x_{1M} od päty zdroja. S nárastom rýchlosti vetra sa x_{1M} posúva smerom k zdroju, s poklesom efektívnej výšky sa približuje k zdroju.

Veľkosť maximálnej koncentrácie vo vzdialenosti x_{1M} s nárastom mohutnosti zdroja rastie, s nárastom efektívnej výšky klesá (pri rovnakej triede stability ovzdušia), pri zvyšovaní u_H klesá (klesá efektívna výška pri stálych parametroch zdroja a rovnakej triede stability ovzdušia).

Pretože meteorologické podmienky sú neovplyvniteľné, možno meniť vzdialenosť miesta maximálnej koncentrácie a jej veľkosť konštrukčnými parametrami zdroja.

Literatúra

- BUBNÍK, J. 1981. Nová metodika výpočtu znečistení ovzduší. *Lesní a vodní hospodářství - Ochrana ovzduší*, 10, 1981, s. 147-152.
- ERMAK, D.L. 1977. An analytical model for air pollutant transport and deposition from a point source. *Atmos. Environ.*, 11, 1977, p. 231-237.
- SLANČO, P., BOBRO, M., HANČULÁK, J. & GELDOVÁ, E. 1999. Teoretické aspekty šírenia tuhých látok z emisných zdrojov znečistenia. In: *VIII. Vedecké sympóziu s medzinárodnou účasťou o ekológii vo vybraných aglomeráciách Jelšavy - Lubenika a stredného Spiša*. Zbor. ref., Hrádok, 1999, s. 227-234.
- TADMOR, J. & GUR, Y. 1969. Analytical expressions for vertical and lateral dispersion coefficients in atmospheric diffusions. *Atmos. Environ.* 3, 1969, p. 96-102.