

Koncentrácia NO_x v okolí elektrární Vojany EVO 1 a EVO 2

Pavel Slančo¹, Jozef Hančulák, Milan Bobro a Ján Brehuv

Concentration of NO_x in the vicinity of the power plants Vojany EVO 1 and EVO 2

The paper presents a calculation of the maximal concentration of nitrogen oxides in the vicinity of point sources (main chimneys) of power plants Vojany EVO1 and EVO2. The wind velocity $u_{10,M}$ (7), at which the concentration on a given place in the surrounding of the pollution source attains a maximal value, is calculated. The relation (8) for a calculation of the place with the maximal concentration for a given class of air stability (Table 1 and 2) and for a given wind velocity is derived. According to equation (3) and Table 3, a thermal capacity of EVO1 and EVO2 is calculated, considering a flat country in the vicinity of the sources ($x_3 = 0$ in relation (1)). Subsequently, it is also considered that the wind direction has the direction joining the source and the place of concentration calculation ($x_2 = 0$). The calculations of concentration are performed for the 5th class of air stability. As to this class, favourable conditions for the pollutants dispersion are there. Thus, the maximum concentration is in a relatively small distance from the source with a sharp concentration maximum. As to other classes of the air stability (Table 1 and 2), the maximum concentration is located in larger distances from the source, i.e. about 10 km, as it is considered in Table 4 and 5.

The theoretical calculation of NO_x concentration in the vicinity of the sources, EVO1 and EVO2, shows (Table 4 and 5) that it does not exceed the allowable limit of 150 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Key words: point source, dispersion, ground concentration, wind direction, effective level of source

Úvod

Hlavnými zdrojmi lokálneho znečistenia ovzdušia sú emisie z miestnej energetiky, priemyslu, stavebníctva, domáceho vykurovania, likvidácie odpadov a automobilovej dopravy. Typické sú plynné škodliviny CO, SO₂, NO, NO₂, uhlíkovodíky a tuhé častice. Hlavným kritériom pri posudzovaní miestnej úrovne znečistenia je porovnanie nameraných koncentrácií s hygienickými limitmi – limitnými hodnotami koncentrácií.

Schopnosť znečisťujúcich látok rozptýľovať sa kolmo na smer priemerného vetra sa veľmi mení. Niekedy sú znečisťujúce látky unášané na veľké vzdialenosti len s obmedzeným rozptylom, inokedy sa šíria rýchlo od zdroja do strán a vo vertikálnom smere. Prvý prípad zodpovedá slabej, druhý relatívne silnej intenzite difúzie. Empirické aj teoretické štúdie ukazujú, že intenzita turbulentnej difúzie v atmosfére závisí najviac od rýchlosti vetra a teplotnej stability ovzdušia.

Meteorologické procesy teda v rozhodujúcej miere ovplyvňujú prenos a rozptyl emisií všetkého druhu v atmosfére. Základným parametrom atmosférických prímiesí je vietor, jeho smer a rýchlosť. Druhým rozhodujúcim meteorologickým parametrom je vertikálne teplotné zvrstvenie (vertikálny teplotný gradient), charakterizované rozdielmi teplôt medzi zemským povrchom a vyššími hladinami ovzdušia. Dôležitým ukazovateľom veľkosti znečistenia sú parametre zdroja znečistenia – bodového, lineárneho alebo plošného.

Predkladaný príspevok poskytuje výpočet odhadu maximálneho možného znečistenia ovzdušia plynnými látkami v okolí dvoch hlavných komínov (bodových zdrojov) elektrárne Vojany.

Teoretické východisko

Ak zvolíme začiatok pravouhlého súradnicového systému x_1 , x_2 , x_3 v päte bodového zdroja tak, že kladný smer osi x_1 má smer prúdenia vzduchu (vetra) a smer osi x_3 má smer výšky komína, bude mať vzťah pre výpočet koncentrácie plynného exhalátu tvar (Slančo, 2000):

$$C = \frac{Q}{2\pi\alpha_2\alpha_3 u_H x_1^{\beta_2+\beta_3}} \exp\left[\frac{-x_2^2}{2\alpha_2^2 x_1^{2\beta_2}}\right] \left\{ \exp\left[\frac{-(x_3-h)^2}{2\alpha_3^2 x_1^{2\beta_3}}\right] + \exp\left[\frac{-(x_3+h)^2}{2\alpha_3^2 x_1^{2\beta_3}}\right] \right\}, \quad (1)$$

kde Q – hmotnostná výdatnosť (mohutnosť) zdroja [$\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$],

u_H – rýchlosť vetra vo výške komína [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

h – efektívna výška zdroja [m],

α_2 , α_3 , β_2 , β_3 koeficienty parametrov rozptylu (tab. 2).

¹ RNDr. Pavel Slančo, PhD., Ing. Jozef Hančulák, PhD., RNDr. Milan Bobro, PhD., Ing. Ján Brehuv, PhD., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice, slanco@saske.sk
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 15. 12. 2006)

Pre výpočet efektívnej výšky bodového zdroja h s tepelnou výdatnosťou zdroja $G > 20$ MW a stavebnou výškou komína väčšou ako 100 m sa často používa vzťah:

$$h = H + \frac{(1,5H - 50)G^{0,25}}{u_H}, \quad (2)$$

kde G je tepelná výdatnosť zdroja [MW].

Tepelná výdatnosť zdroja sa vypočíta (Bubník, 1981) na základe termodynamických poznatkov:

$$G = 10^{-3} V_g c_g T_g, \quad (3)$$

kde V_g – objemový prietok exhalácií vychádzajúcich z komína [$m^3 \cdot s^{-1}$] pri teplote 0 °C a tlaku 101,325 kPa,

c_g – merné teplo exhalácií. Pri spaľovacích procesoch s teplotou vyššou ako 80 °C je hodnota

$c_g = 1,371 \text{ kJ} \cdot m^{-3} \cdot ^\circ C^{-1}$,

T_g – teplota odchádzajúcich exhalácií [°C].

Objemový prietok exhalácií:

$$V_g = \frac{\pi}{4} w d^2, \quad (4)$$

kde w – výstupná rýchlosť exhalácií v korune komína [$m \cdot s^{-1}$],

d – vnútorný priemer koruny komína [m].

Rýchlosť vetra sa jednotne meria vo výške 10 m nad povrchom okolitého terénu. Vo výške koruny komína H sa rýchlosť vetra obvykle počíta (Bubník, 1981) podľa vzťahu:

$$u_H = u_{10} \left(\frac{H}{10} \right)^p, \quad (5)$$

kde exponent p závisí od triedy stability atmosféry. Jeho hodnoty sú pre rôzne kategórie stability ovzdušia (Bubník, 1981) uvedené v tab. 1.

Tab. 1. Hodnoty meteorologického parametra p pre rôzne triedy stability ovzdušia.
Tab. 1. Values of meteorological parameter p for various classes of air stability.

Triedy stability ovzdušia	Názov triedy	Vertikálny teplotný gradient γ [°C/100 m]	Meteorologický parameter p [-]
I	superstabilná	$\gamma < -1,6$	0,5
II	stabilná	$-1,6 \leq \gamma \leq -0,7$	0,4
III	izotermná	$-0,6 \leq \gamma \leq +0,5$	0,3
IV	normálna	$+0,6 \leq \gamma \leq +0,8$	0,25
V	konvektívna	$\gamma > +0,8$	0,18

Koeficienty α_2 , α_3 , β_2 , β_3 charakterizujú tzv. parametre rozptylu (štandardné odchýlky rozdelenia koncentrácie vo vzdialenosti x_1 od zdroja). Výsledkom väčšiny teoretických aj experimentálnych prác, vzťahujúcich sa k tomuto problému, sú vzťahy

$$\sigma_2 = \alpha_2 x_1^{\beta_2}, \quad \sigma_3 = \alpha_3 x_1^{\beta_3}, \quad (6)$$

pričom koeficienty α_2 , α_3 , β_2 , β_3 závisia na konkrétnych podmienkach rozptylu a získavajú sa experimentálne (Bubník, 1981) (tab. 2).

Tab. 2. Analytické vyjadrenie parametrov rozptylu $\sigma_2(x_1)$ a $\sigma_3(x_1)$ (Bubník, 1981).

Tab. 2. Analytical expression of dispersion parameters $\sigma_2(x_1)$ and $\sigma_3(x_1)$ (Bubník, 1981).

Trieda stability	$\sigma_2(x_1)$	$\sigma_3(x_1)$
I	$0,0454 x_1^{0,9031}$	$0,510 x_1^{0,42}$
II	$0,0722 x_1^{0,9031}$	$0,450 x_1^{0,5}$
III	$0,1046 x_1^{0,9031}$	$0,540 x_1^{0,54}$
IV	$0,1474 x_1^{0,9031}$	$0,371 x_1^{0,64}$
V	$0,2089 x_1^{0,9031}$	$0,107 x_1^{0,92}$

Odhad maximálnej koncentrácie plyných látok v okolí bodového zdroja možno urobiť nasledujúcim spôsobom: Predpokladajme stály smer vetra v smere súradnice x_1 a jeho konštantnú rýchlosť. Nech je súradnica $x_3 = 0$ (nulové prevýšenie miesta výpočtu koncentrácie oproti päte komína) aj $x_2 = 0$ (miesto výpočtu koncentrácie je v smere vetra). Potom môžeme pre každú triedu stability (tab. 1, 2) nájsť rýchlosť vetra $u_{10,M}$, pri ktorej dosiahne koncentrácia plynnej látky v bode $[x_1, 0, 0]$ maximum a túto porovnať s najvyššou prípustnou koncentráciou plyných látok ($150 \mu g \cdot m^{-3}$), resp. s nameranými hodnotami koncentrácie na danom mieste. Hodnotu $u_{10,M}$ (pre každú triedu stability a miesto so súradnicami $[x_1, 0, 0]$) je možné nájsť výpočtom extrému rovnice (1), ak je koncentrácia len funkciou rýchlosti u_{10} :

$$u_{10,M} = \frac{2(1,5H - 50)G^{0,25} 10^p}{H^p (\sqrt{H^2 + 4\alpha_3^2 x_1^{2\beta_3}} - H)} \quad (7)$$

Miesto maximálnej koncentrácie pri stálych parametroch zdroja a konštantných meteorologických podmienkach [3] bude vo vzdialenosti:

$$x_{1,M} = \exp \left\{ \frac{\ln(h^2 \beta_3) - \ln[\alpha_3^2 (\beta_2 + \beta_3)]}{2\beta_3} \right\} \quad (8)$$

a hodnotu maximálnej novej koncentrácie vypočítame podľa rovnice (1), v ktorej $x_2 = 0$ a $x_1 = x_{1,M}$ (tab. 5).

Praktický výpočet koncentrácie plynných látok

Parametre bodových zdrojov znečistenia boli nasledovné:

Tab. 3. Parametre bodových zdrojov znečistenia.
Tab. 3. Parameters of the point sources of pollution.

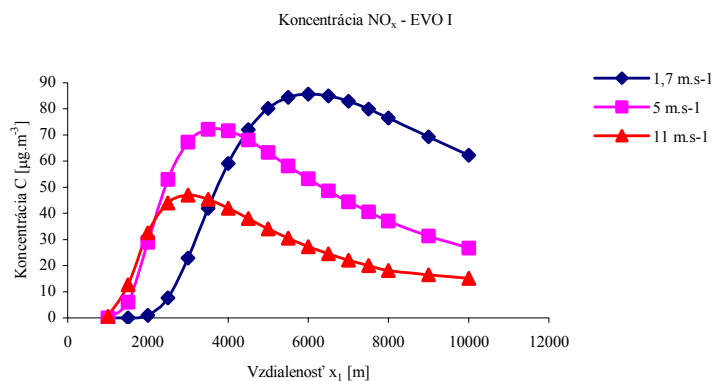
Elektrárň Vojany I (EVO I)	Elektrárň Vojany II (EVO II)
Bodový zdroj znečistenia: komín KO 1	Bodový zdroj znečistenia: komín KO 3
Spaľované palivo: čierne uhlie	Spaľované palivo: zemný plyn, mazut
Teplota spalín: cca 143,5 °C	Teplota spalín: cca 165 °C
Rýchlosť spalín vystupujúcich z komína: cca 10,0 m.s ⁻¹	Rýchlosť spalín vystupujúcich z komína: cca 12,5 m.s ⁻¹
Priemer ústia komína: 7 m	Priemer ústia komína: 7,8 m
Stavebná výška komína: 200 m	Stavebná výška komína: 171 m
Hmotnostné toky [g.s ⁻¹] SO ₂ – 269,93 NO _x – 368,70, CO – 36,25	Hmotnostné toky [g.s ⁻¹] SO ₂ – 0,04 pre KO 3: NO _x – 5,87 CO – 1,91

Teplná kapacita zdroja EVO I vypočítaná na základe rovníc (3), (4) a parametrov z tab. 3 je $G \cong 75,7$ MW, pre EVO II $G \cong 135$ MW. Z rovnice (1) je zrejmé, že s nárastom, resp. poklesom mohutnosti zdroja Q sa mení len veľkosť koncentrácie v bodoch koncentračnej krivky. Maximum koncentrácie sa bude nachádzať v smere vetra vo vzdialenosti určenej rovnicou (8). So zmenou mohutnosti zdroja sa teda miesto maximálnej koncentrácie nemení, mení sa len jej veľkosť. Najvyššia koncentrácia plynných látok, uvedených v tab.č.3, na určitom mieste v okolí zdroja, bude v prípade EVO I pre NO_x = 368,70 g.s⁻¹, v prípade EVO II pre NO_x = 5,87 g.s⁻¹. Hodnota koncentrácie v oboch prípadoch neprekračuje povolenú normu 150 µg.m⁻³ (tab.č.4). Koncentrácie NO_x v okolí oboch zdrojov sú určené pre tri triedy rýchlosti vetra ($u_{10} = 1,7$ m.s⁻¹, 5 m.s⁻¹ a 11 m.s⁻¹) a V. triedu stability ovzdušia (V. TS).

Tab. 4. Koncentrácia NO_x v okolí EVO I – V. trieda stability.
Tab. 4. Concentration of NO_x in the vicinity of EVO I – the 5 th class of stability.

x ₁ [m]	u ₁₀ [m.s ⁻¹]	C _{EVO I} [µg.m ⁻³]	C _{EVO II} [µg.m ⁻³]	u ₁₀ [m.s ⁻¹]	C _{EVO I} [µg.m ⁻³]	C _{EVO II} [µg.m ⁻³]	u ₁₀ [m.s ⁻¹]	C _{EVO I} [µg.m ⁻³]	C _{EVO II} [µg.m ⁻³]
1000	1,7	-	-	5	0,04	-	11	0,50	0,05
1500		-	-		5,96	0,27		12,64	0,48
2000		0,90	0,04		28,87	0,87		32,52	0,87
2500		7,65	0,26		53,02	1,30		44,00	1,00
3000		22,90	0,63		67,22	1,47		46,99	0,97
3500		41,90	1,01		72,23	1,47		45,40	0,89
4000		59,15	1,31		71,58	1,39		41,92	0,79
4500		72,00	1,50		68,04	1,28		37,93	0,69
5000		80,17	1,60		63,27	1,16		34,03	0,61
5500		84,41	1,63		58,18	1,05		30,45	0,54
6000		85,70	1,62		53,21	0,94		27,27	0,48
6500		84,95	1,57		48,56	0,85		24,49	0,42
7000		82,86	1,51		44,33	0,77		22,06	0,38
7500		79,94	1,44		40,52	0,70		19,95	0,34
8000		76,55	1,36		37,10	0,64		18,10	0,31
9000		69,28	1,21		31,34	0,53		16,49	0,25
10000		62,16	1,08		26,74	0,45		15,08	0,21

V tab.5 je v prvom stĺpci uvedená vzdialenosť, v ktorej je vypočítaná hodnota koncentrácie pre V.TS (tab.1, resp. tab.2), v druhom je určená rýchlosť vetra podľa vzťahu (7), pri ktorej dosiahne koncentrácia v danej vzdialenosti (x₁) maximálnu hodnotu (pre V.TS), v treťom je uvedená hodnota tejto koncentrácie. Vo štvrtom stĺpci je určená vzdialenosť x_{1,M} (8), pri ktorej dosiahne koncentrácia NO_x maximum pri rýchlosti u_{10,M} (druhý stĺpec). V poslednom stĺpci tab.5 je hodnota koncentrácie C_{1,M} pri rýchlosti u_{10,M} vo vzdialenosti x_{1,M}.



Obr. 1. Závislosť koncentrácie NO_x od vzdialenosti – EVO1
 Fig. 1. Dependence of NO_x concentration on the distance – EVO1

Tab. 5. Maximálne hodnoty koncentrácie NO_x pre u_{10,M}, resp. x_{1, M}.
 Tab. 5. Maximal values of NO_x concentration for u_{10,M} and x_{1, M}.

x ₁ [m]	u _{10,M} [m.s ⁻¹]	C _{10,M} [µm.m ⁻³]	x _{1,M} [m]	C _{1,M} [µm.m ⁻³]
1000	28,33	0,82	2690	22,48
1500	14,47	12,65	2890	38,67
2000	9,23	33,89	3120	52,67
2500	6,63	53,15	3370	63,65
3000	5,12	66,97	3630	71,78
3500	4,15	75,90	3910	77,57
4000	3,48	81,25	4190	81,54
4500	2,99	84,14	4470	84,15
5000	2,62	85,37	4760	85,71
5500	2,33	85,50	5050	86,50
6000	2,10	84,88	5340	86,71
6500	1,91	83,80	5630	86,49
7000	1,75	82,43	5930	85,95
7500	1,62	80,83	6220	85,22
8000	1,50	79,20	6520	84,25
9000	1,32	75,65	7100	82,15
10000	1,17	72,27	7710	79,65

Záver

Výpočtom sa dá ukázať, že najvyššia koncentrácia NO_x bude vo vzdialenostiach do 10 km od obidvoch zdrojov v I. triede rýchlosti vetra (u₁₀ = 1,7 m.s⁻¹) a v V. triede stability ovzdušia (tab.1,2) Táto trieda je charakteristická (Slančo, 2000) značným poklesom teploty smerom od zemského povrchu. Existujú v nej priaznivé podmienky pre rozptyl a nepriaznivé pre transport exhalácií. K takémuto priebehu vertikálneho teplotného gradientu dochádza najčastejšie v jasných letných dňoch. Krivku koncentrácie (obr. 1) charakterizuje výrazné koncentračné maximum, ktoré je pri danej výške komína (H = 200 m) v relatívne malej vzdialenosti od zdroja. Maximálna hodnota koncentrácie s narastajúcou hodnotou u₁₀ klesá a miesto koncentračného maxima sa približuje k zdroju (tab. 4, obr. 1).

Z tab.4,5 vyplýva, že koncentrácia NO_x neprekračuje podľa teoretického výpočtu povolenú hranicu 150 µg.m⁻³. Nízke hodnoty koncentrácie v prípade EVO II súvisia s použitím spaľovacieho paliva (zemný plyn, mazut) – tab. 3.

Literatúra - References

- Bubník J.: Nová metodika výpočtu znečistení ovzduší. Lesní a vodní hospodářství – Ochrana ovzduší, 10, 1981,s.147-152.
- Slančo, P., Hančulák, J., Bobra, M., Geldová, E.: Teoretické aspekty šírenia tuhých a plyných látok z exhalačných zdrojov. Acta Montanistica Slovaca, č.3, 2000, s.313-317.
- Slančo, P., Bobro, M., Hančulák, J., Geldová, E.: Vplyv parametrov exhalačného zdroja a poveternostných podmienok na koncentráciu plyných a tuhých látok v ovzduší. Acta Montanistica Slovaca, č. 3, 2000, s.318-320.