

Slovenský plynárenský a naftový zväz, Bratislava
Slovenský plynárenský podnik, Bratislava
Vysoká škola dopravy a spojov, Žilina

1. medzinárodná konferencia
SLOVENSKÉ PLYNÁRENSTVO A ŽIVOTNÉ PROSTREDIE
WORKSHOP '95 - ŽILINA, SLOVENSKO
Dom techniky 28.-29. 11. 1995

Garanti konferencie:

Prezident konferencie: Ing. Arpád Dcmko, generálny riaditeľ SPP š.p.

Viceprezident konferencie Ing. Ján Rajzinger, riaditeľ divízie SLOVTRANSGAZ
pod záštitou ministra životného prostredia Slovenskej republiky Ing. Jána Zlochu

Zostavovateľ: RNDr. Štefan Poláčik, CSc.

Redakčná rada: Ing. Pavol Jilly, Doc. RNDr. Tatiana Liptáková, CSc., RNDr. Štefan Poláčik, CSc.,
Anton Rechterík

Recenzenti: Ing. Juraj Halás, Prof. RNDr. Jozef Krcho, DrSc., RNDr. Eva Mičietová, Ing. Viera
Peřková Ing. Pavol Rolko, CSc., prom. fyz. Jozef Vranka

Označené príspevky boli recenzované.

Tlač: Edičné stredisko VŠDS v Žiline, 1995

ISBN 80-967475-0-9

**Matematické modelovanie dopadu činnosti kompresorových
staníc na znečistenie ovzdušia**

Mathematical modelling of the compressor stations impact on air pollution

Ferdinand Hesek

Geofyzikálny ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 842 28 Bratislava

Štefan Poláčik - Juraj Halás - Pavel Rolko,

SPP š.p. Divízia SLOVTRANSGAZ Vihorlatská 8, 949 01 Nitra

1. Úvod

Kompresorová stanica je zdrojom energie, potrebnej na udržanie plynovodnej sústavy v prevádzke. Na slovenskej časti plynovodu sa nachádzajú 4 kompresorové stanice: Veľké Kapušany, Jabloňov nad Turňou, Zlievce a Ivánka pri Nitre. Všetky 4 kompresorové stanice sú prakticky vybavením totožné. Z nášho hľadiska je dôležité, že dostatočný tlak na každej stanici vytvára 22 kompresorov. Kompresory sú

poháňané energiou, ktorá sa získava spaľovaním plynu. Hlavnými produktmi, ktoré vznikajú pri spaľovaní zemného plynu sú oxidy dusíka NO_x , oxid uhoľnatý CO , uhľovodíky C_xH_y a oxid siričitý SO_2 . Vzhľadom na to, že pri spaľovaní plynu vzniká vysoká teplota, pri ktorej dochádza k oxidácii atmosférického dusíka, sú oxidy dusíka najvýznamnejším produktom spaľovania plynu, ktoré dosť vážne ohrozuje kvalitu ovzdušia. V absolútnom množstve, približne na rovnakej emisnej úrovni je produktom spaľovania plynu oxid uhoľnatý, ktorý sa vytvára oxidáciou uhlíka ako významnej zložky metánu. Oxid uhoľnatý však vzhľadom na relatívne nízku toxicitu v porovnaní s oxidmi dusíka má zanedbateľný negatívny vplyv na kvalitu ovzdušia. Ďalšie produkty spaľovania plynu uhľovodíky a oxid siričitý majú však tak nízke emisné faktory, že ich emisia kompresorovými stanicami na vzhľadom na relatívne nízke množstvo spáleného plynu, je zanedbateľná.

V danom referáte sa budeme zaoberať odhadom príspevku jednej z kompresorových staníc - Ivánky pri Nitre k znečisteniu atmosféry. Budeme sa zaoberať znečistením ovzdušia dvomi hlavnými produktmi spaľovania plynu - oxidmi dusíka s oxidom uhoľnatým.

2. Metodika výpočtu znečistenia ovzdušia

Pri výpočte hlavných charakteristík znečistenia ovzdušia bolo využitá celoštátna metodika výpočtu znečistenia ovzdušia zo stacionárnych zdrojov - dlhodobá verzia, ktorá bola schválená v r. 1994 a jej krátkodobá verzia, ktorá bude zavedená do konca r. 1995. Obidve verzie metód výpočtu znečistenia ovzdušia sú založené na báze medzinárodne uznávanej metodiky ISC2, ktorá bola vypracovaná americkými odborníkmi v r. 1992. Podrobnejšiu informáciu o princípoch metodiky môžeme nájsť v manuáli dlhodobej verzie metodiky [1] a v niektorých publikáciách [2, 3, 4, 5, 6]. V danom príspevku sa obmedzíme na základnú informáciu o matematickom modeli znečistenia ovzdušia, na ktorom je budovaná metodika.

Základom matematického modelu znečistenia ovzdušia je gaussovský vzťah, vyjadrujúci rozdelenie škodliviny v dymovej vlečke

$$C(x, y, z) = \frac{Q \cdot 10^6}{2\pi U_h \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{(H+z)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\},$$

kde C je koncentrácia škodliviny v bode x, y, z v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, Q je emisia zdroja v $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$, U_h je rýchlosť vetra v stavebnej výške komína v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, d_y a d_z sú štandardné odchýlky rozdeľovania škodliviny v dymovej vlečke, tzv. rozptylové parametre v m, H je efektívna výška komína v m.

Vzťah (1) má 3 parametre, ktoré môžu vplývať na hodnotu koncentrácie škodliviny:

- rýchlosť vetra U_h
- efektívnu výšku komína H
- rozptylové "sigma" parametre d_y a d_z

Všetky tri parametre modelu sú závislé od meteorologických podmienok, v prvom rade od intenzity premiešavania - turbulencie atmosféry. Z tohoto hľadiska je veľmi významný charakter povrchu, nad ktorým prebieha rozptyl škodliviny. V mestskom zastavanom prostredí bude pohyb turbulentný i v prípade ak je teplotné zvrstvenie atmosféry stabilné. Je to spôsobené drsnosťou povrchu, hlavne však záveternými a náveternými efektami zástavby. Je preto dôležité pri aplikácii modelu rozlišovať dva režimy rozptylu škodliviny:

- mestský, pre zastavaný povrch,
- vidiecky, pre rovný, nezastavaný povrch.

2.1. Rýchlosť vetra

Prepočet rýchlosti vetra z referenčnej hladiny Z_{ref} (spravidla 10 m) na výšku komína sa robí podľa vzťahu

$$U_h = U_{\text{ref}} \left(\frac{h}{Z_{\text{ref}}} \right)^p \quad (2)$$

Hodnota exponentu p je závislá od stability a od režimu rozptylu [4], [6].

2.2. Efektívna výška zdroja

Efektívnu výšku komína vypočítame podľa vzťahu

$$H = h + \Delta H, \quad (3)$$

kde h je stavebná výška komína, H je prevýšenie dymovej vlečky. Prevýšenie dymovej vlečky H počítame pomocou Briggsových vzťahov [9]. Parametre komína - priemer ústia komína D_s , výstupná rýchlosť V_s , teplota exhalátov T_s a teplota atmosféry T_a určujú, či hlavnou príčinou vzostupu dymovej vlečky je jej počiatočná hybnosť alebo vztlaková (Archimedová) sila z prehriatia škodliviny. Vcelku môžu nastať 4 rôzne situácie:

a.) vzostup spôsobuje vztlak za nestabilného a neutrálneho zvrstvenia

$$\Delta H = 21,425 F^{3/4} \cdot U_h^{-1} \quad \text{pre } F < 55 \text{ m}^4 \cdot \text{s}^{-3}, \quad (4)$$

$$\Delta H = 38,71 F^{3/5} \cdot U_h^{-1} \quad \text{pre } F > 55 \text{ m}^4 \cdot \text{s}^{-3}, \quad (5)$$

b.) vzostup spôsobuje vztlak za stabilného zvrstvenia

$$\Delta H = 2,6 F^{1/3} \cdot U_h^{-1/3} \cdot s^{-1/3}, \quad (6)$$

kde $s = 0,02 \text{ g} \cdot T_a^{-1}$ pre E kateg. stab.

$s = 0,035 \text{ g} \cdot T_a^{-1}$ pre F kateg. stab.

c.) vzostup spôsobuje počiatočná hybnosť za nestabilného a neutrálneho zvrstvenia

$$\Delta H = 3 D_s \cdot V_s \cdot U_h^{-1}. \quad (7)$$

d.) vzostup spôsobuje počiatočná hybnosť za stabilného zvrstvenia

$$\Delta H = 0,945 \cdot T_a^{1/3} (V_s \cdot D_s)^{2/3} \cdot U_h^{-1/3} \cdot s^{-1/6} \cdot T_s^{-1/3}. \quad (8)$$

2.3. Rozptylové parametre σ_y , σ_z

Vzťahy pre σ_y a σ_z sa líšia pre mestský a vidiecky režim rozptylu.

Pre mestský režim sa využívajú Briggsove vzťahy, sú analytickým vyjadrením empirických údajov, ktoré získal Mc Elroy a Pooler. Pre vidiecky režim sa využívajú analytické vyjadrenia kriviek Pasquili-Gifforda [4], [6].

Rozptyl škodlivín je významnou mierou ovplyvňovaný záveternými efektami. V závetrí budov, približne do vzdialenosti 3 výšok budovy sa vytvára recirkulačná zóna, tzv. kavita. Hodnota koncentrácie škodliviny v oblasti kavity je rádovo vyššia, ako koncentrácia mimo kavity. Gaussovské modely nie sú prispôbené na výpočet koncentrácie škodlivín v oblasti kavity. Predpokladá sa, že budova má vplyv na rozptyl škodlivín zo zdrojov, efektívna výška ktorých je nižšia ako 2,5 násobok výšky budovy. Vzhľadom na parametre zdroja (stavebná výška = 18 m, priemer ústia komína $D_s = 2,2$ m, teplota spalín $t_s = 280$ °C, výstupná rýchlosť spalín $V_s = 15,8$ m.s⁻¹) efektívna výška zdroja sa pohybuje okolo 190 m, t.j. je vyššia ako 2.5 násobok výšky budovy ($H_B = 16$ m), t.j. záveterné efekty nebudú mať vplyv na rozptyl škodlivín vypúšťaných na kompresorových staniciach.

Veľmi významným faktorom, ovplyvňujúcim rozptyl škodlivín v atmosfére je orografia. Našťastie, tri kompresorové stanice sa nachádzajú prakticky nad rovným, popr. mierne zvlneným terénom pre ktoré sú gaussovské modely aplikovateľné. Jediná kompresorová stanica, Jabložov nad Turňou, sa nachádza v orograficky členitom prostredí, v ktorom je použitie gaussovských modelov ohraničené. Gaussovské modely možno v takýchto podmienkach využiť na výpočet znečistenia ovzdušia blízkeho okolia kompresorových staníc. Pri rozšírení výpočtovej plochy je potrebné využiť nestacionárne tzv. oblakové modely znečistenia ovzdušia [7], [8].

Vplyv orografie na rozptyl škodliviny sa deje hlavne tým, že orografia rozhodujúcim spôsobom vplýva na pole vetra. Dôležitejšie je poznať kam je dymová vlečka vetrom unášaná, ako presne počítať rozptyl dymovej vlečky. Preto pri tvorbe nestacionárneho modelu je najvýznamnejšou časťou práce vypracovanie spoľahlivého modelu pre výpočet poľa vetra. Pre výpočet poľa vetra sú údaje o digitálnom reliéfe nutnou podmienkou.

3. Výsledky výpočtu

V danom príspevku bola vyhodnotená distribúcia dlhodobé ho priemeru koncentrácie a okamžitej - krátkodobej (30 min.) hodnoty koncentrácie dvoch zložiek spaľovania plynu: NO_x a CO

- NO_x

Distribúcia dlhodobého priemeru koncentrácie NO_x je uvedená na obr. 1. Vypočítaná oblasť mala rozmer 10 x 10 km, s krokom 200 m (vzdialenosť 2 susedných bodov, v ktorých sa počítala koncentrácia škodliviny). Zdroj škodliviny sa nachádza v strede výpočtovej plochy. Najvyššia hodnota dlho dobého priemeru koncentrácie NO_x 13,4 ng.m⁻³ sa nachádza na juhovýchode od kompresorovej stanice, vo vzdialenosti 570 m od nej.

Negatívny vplyv na prírodu možno jednoduchšie posúdiť z hodnôt krátkodobej koncentrácie škodliviny. Na obr. 2 je uvedená distribúcia krátkodobých hodnôt koncentrácie NO_x pre neutrálnu

kategóriu stability západný smer vetra a rýchlosť vetra 2,9 m/s (priemerná rýchlosť vetra v danej lokalite). Je samozrejmé, že s klesajúcou rýchlosťou vetra budú narastať tiež hodnoty hodnôt krátkodobej koncentrácie NO_x . Najvyššie hodnoty krátkodobej koncentrácie NO_x sa pohybujú okolo hodnoty 64 fig.m^3 vo vzdialenosti približne 1 400 m od zdroja. Najvyššie hodnoty krátkodobej koncentrácie škodliviny sa však vyskytujú pri labilnom zvrstvení atmosféry. V dôsledku vysokej intenzity premiešavania sa dymová vlečka dostane na po vrch Zeme v blízkosti zdroja, kedy je ešte nerozptýlená, s vysokou koncentráciou škodliviny. Na obr. 3 je uvedená distribúcia krátkodobých hodnôt koncentrácie NO_x pri labilnom zvrstvení atmosféry - kategórie stability A, B a pri západnom smere vetra a rýchlosti vetra 2,9 m/s.

Najvyššie hodnoty sa pohybujú okolo hodnoty 207 ng.m^3 vo vzdialenosti 200 m od zdroja. Hodnota koncentrácie škodliviny však so vzdialenosťou prudko klesá, takže už približne vo vzdialenosti 2 km od zdroja sú hodnoty koncentrácie škodliviny veľmi nízke.

-CO

Ako bolo uvedené vyššie, emisia oxidu uhoľnatého je rádovo rovnaká ako emisia NO_x . Vzhľadom na to, že v danom výpočte neuvažujeme chemické transformácie škodliviny, môžeme predpokladať, že vypočítané charakteristiky znečistenia ovzdušia oxidom uhoľnatým, budú mať rovnakú štruktúru ako charakteristiky oxidov dusíka, s hodnotami približne 89 % hodnôt NO_x . Tak najvyššie hodnoty dlhodobej koncentrácie CO sa pohybujú okolo hodnoty $12,0 \text{ jxg.m}^3$. Najvyššie hodnoty krátkodobej koncentrácie CO pri neutrálnom zvrstvení sa pohybujú okolo 57 ng.m^3 a pri labilnom teplotnom zvrstvení okolo 184 fig.m^3 .

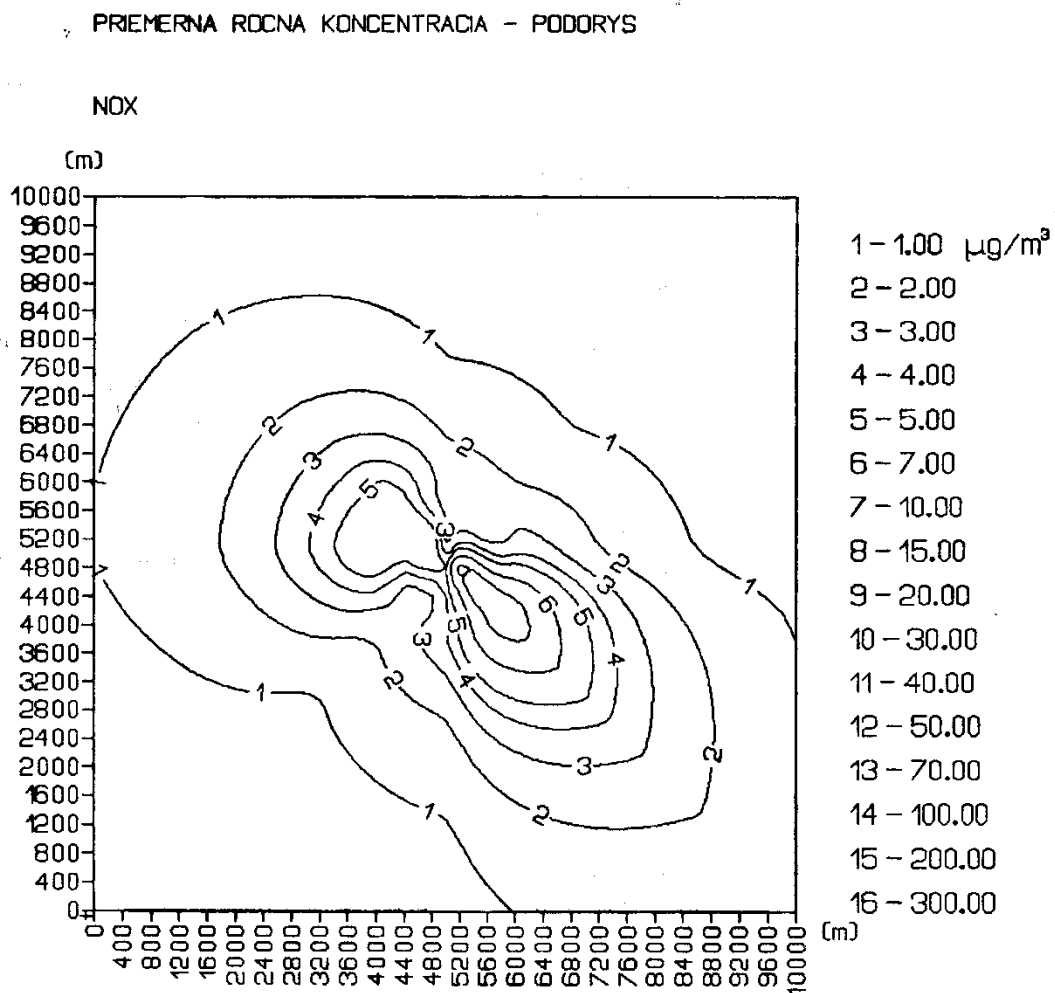
4. Záver

Vyššie uvedené charakteristiky znečistenia ovzdušia v okolí kompresorovej stanice v Ivánke pri Nitre sú len orientačné. Ich spresnenie a doplnenie sa uskutoční v rámci projektu "Rozptylové štúdie a návrh optimálneho monitorovania imisíí na kompresorových staniciach tranzitného plynovodu", ktorý sa v súčasnej dobe pripravuje.

Literatúra

- [1] Metodika pre výpočet znečistenia ovzdušia zo stacionárnych zdrojov - dlhodobá verzia, Bratislava, GFÚ SAV, 1994.
- [2] HESEK, F.: Project of principles of air pollution calculation method from stationary sources in Slovakia, Contributions of the Geophysical Institute of the SAS, Ser. Meteor., 15, 1995, 68-84.
- [3] HESEK, F.: Short-term air pollution modelling, Contribution of the Geophysical Institute of the SAS, Ser. Meteor., 16, v tlači.
- [4] HESEK, F.: Inovácia metodiky na výpočet znečistenia ovzdušia zo stacionárnych zdrojov na Slovensku, Meteorologické zprávy, 48, 1995, 70-76.
- [5] HESEK, F.: Minimálna výška komína, Meteorologické zprávy, v tlači.
- [6] User's guide for the Industrial Source Complex (ISC2) Dispersion Models, Vol. I., US EPA, Research Triangle Park, 1992

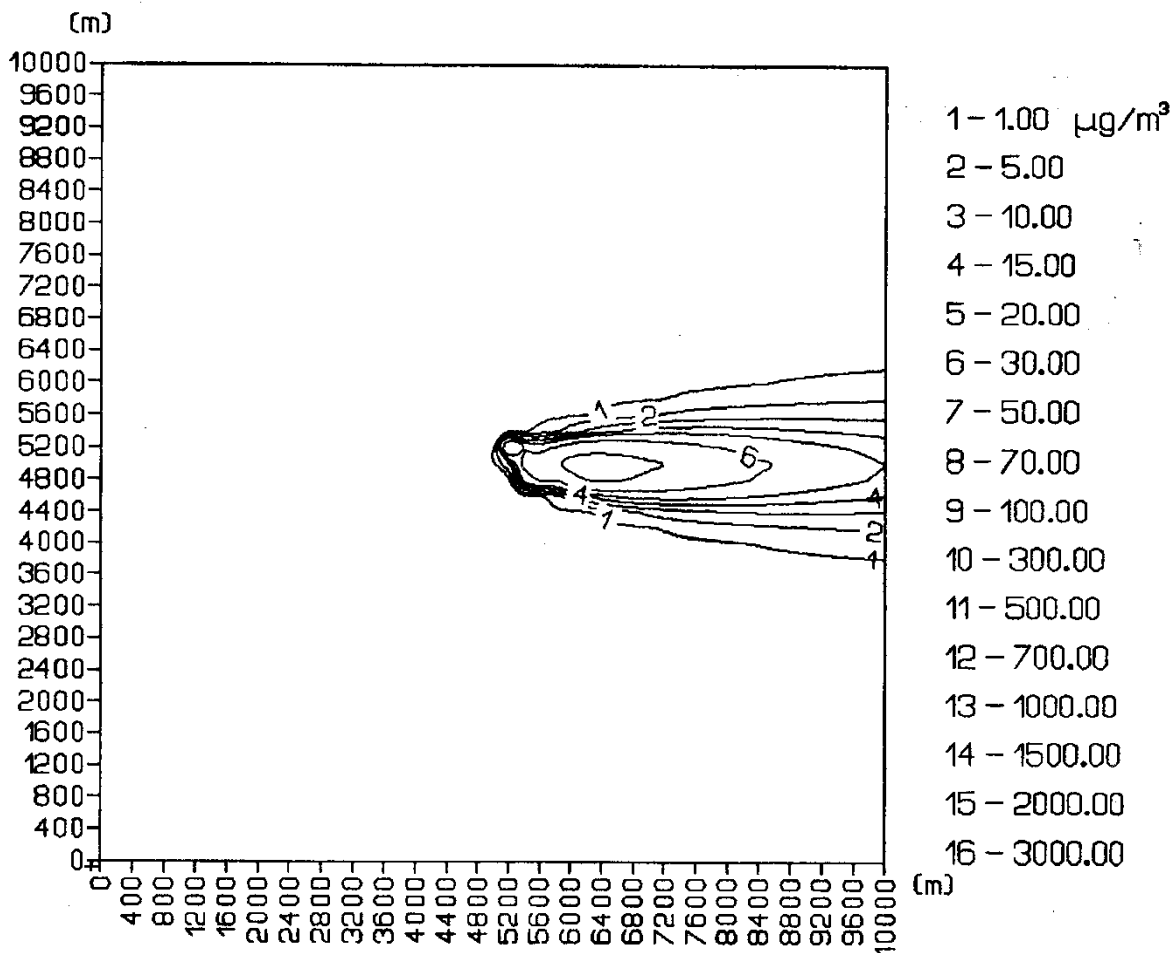
- [7] HESEK, F., SZULÉNYIOVÁ, A.: Výpočet znečistenia ovzdušia v orograficky členitom prostredí. Čistota ovzdušia, č. 4, 1988, s. 7-20
- [8] HESEK, F.: Calculation of air pollution in complex terrain. Contributions of the Geophysical Institute of the Slovak Academy of Sciences, Series of Meteorology, 11, 1991, s. 87-98
- [9] BRIGGS, G.A.: Plume rise predictions, Lectures on air pollution and environmental impact analyses, Amer. Meteorol. Soc., Boston, 1975@LH 4
- [10] SZULÉNYIOVÁ, A.: Modelovanie poľa vetra v orograficky členitom prostredí, Meteorologické zprávy, 45, č. 3, 1992, s. 71-79



Obr. 1: Distribúcia dlhodobej koncentrácie NO_x

PRIEMERNA POLHOD. KONCENTRACIA - PODRYS

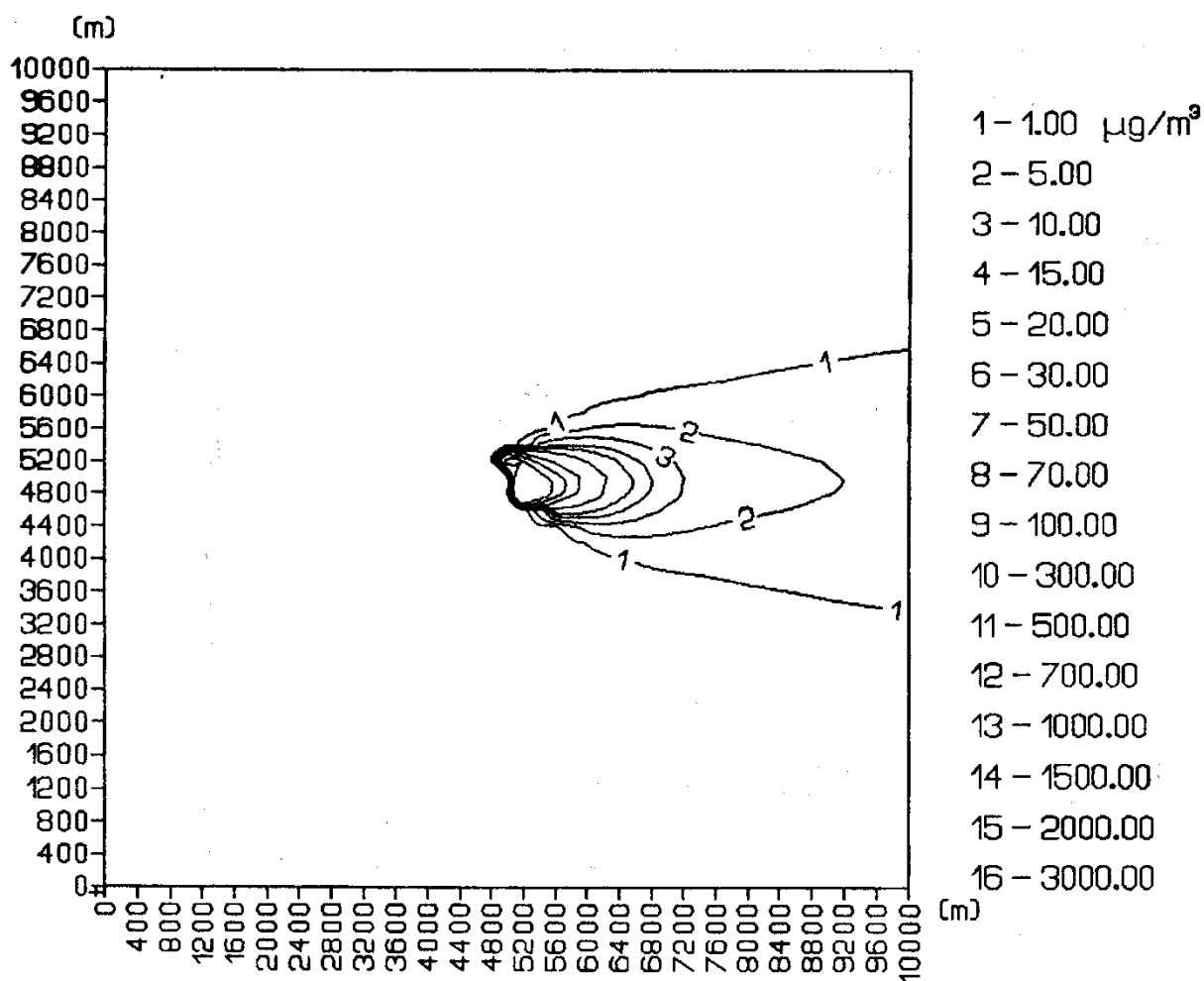
NO_x



Obr. 2: Distribúcia krátkodobej (30. min.) koncentrácie NO_x pri západnom smere vetra, rýchlosti vetra U = 2.9 m/s a kategórii stability D.

PRIEMERNA POLHOD. KONCENTRACIA - PODRYS

NO_x



Obr. 3: Distribúcia krátkodobej (30. min.) koncentrácie NO_x pri západnom smere vetra, rýchlosti vetra U = 2.9 m/s a kategórii stability A(B)