

## Model znečistenia ovzdušia pre bodový zdroj

Viliam Carach<sup>1</sup> a Jozef Mačala

### Air pollution model for point source

*Mathematical models of air pollution have a broad practical application. They are irreplaceable wherever it is not possible to determine a state of air pollution by measuring of a noxious agent concentration. By creating of a suitable model of air pollution we can assess a state of the air quality but we also to predict the pollution that can occur at given atmospheric conditions. The created model is a suitable tool for controlling the activity of TEKO and for the evaluation of the quality of air in a monitored area of the city of Košice. A sufficient knowledge in the given field is a condition. The input data and information necessary for creating such a model of polluted air is another important factor.*

**Key words:** air pollution, air quality, predict the pollution.

### Úvod

Na komplexné hodnotenie kvality ovzdušia v danej oblasti je potrebné podrobne poznať všetky faktory, ktoré vplývajú na jeho stav. Potrebujeme poznať najmä klimaticko-oroografickú charakteristiku danej oblasti, parametre samotného zdroja znečisťovania ovzdušia a výskyt ostatných zdrojov znečisťovania ovzdušia v uvažovanej oblasti. Dostupnosťou všetkých týchto uvedených parametrov o danej oblasti a použitím vhodného matematického modelu je možné vypočítať koncentrácie príslušnej škodlivej látky. Ako modelový prípad bol použitý bodový zdroj znečisťovania ovzdušia Tepláreň Košice.

### Charakteristika zdroja znečisťovania

Tepláreň Košice (TEKO) je najväčším výrobcom a distribútorom tepla vo forme horúcej vody a pary v sústave centralizovaného zásobovania teplom na Slovensku. Závod TEKO sa nachádza na území mesta Košice, v katastri mestskej časti Košice IV. Zásobuje tepelnou energiou na vykurovanie a prípravu teplej úžitkovej vody 85 % košických domácností a množstvo ďalších podnikateľských subjektov. Primárny horúcovodný a parný rozvod systému centrálného zásobovania teplom v Košiciach má dĺžku 140 km. Na túto sieť je napojených 422 odovzdávacích staníc tepla.

### Klimaticko-oroografická charakteristika oblastí mesta Košice

Mesto Košice sa rozprestiera v údolí rieky Hornád. Podľa geografického členenia patrí do pásma vnútorných Karpát. Z juhozápadu zasahuje do oblasti mesta Košice Slovenský kras, na severe sa rozkladá Slovenské rudohorie a na východe Slanské vrchy. Medzi týmito pohoriami sa rozkladá Košická kotlina. Toto usporiadanie pohorí značne ovplyvňuje klimatické pomery oblasti.

Meteorologické údaje dôležité pre vytvorenie modelu sú:

- priemerná ročná teplota za obdobie rokov 1961 až 1990 je 8,5 °C,
- extrémne hodnoty teploty vzduchu kolíšu v rozpätí od + 37°C do – 30 °C,
- priemerný počet dní v roku z meteorologického hľadiska:
  - o 10 tropických dní ( $t_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$ ),
  - o 55 letných dní ( $t_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$ ),
  - o 116 mrazových dní ( $t_{\min} < - 0,1^{\circ}\text{C}$ ),
  - o 37 ľadových dní ( $t_{\max} > - 0,1^{\circ}\text{C}$ ) dní,
  - o ročný priemer vlhkosti vzduchu je 75 %,
  - o v roku sa v priemere vyskytuje 58 jasných a 126 zamračených dní,
  - o priemerné trvanie slnečného svitu je 2035 hodín do roka,
  - o priemerný ročný úhrn atmosférických zrážok za obdobie rokov 1901 až 2000 je 625 mm,
  - o priemerný ročný počet dní so zrážkami je 129,
  - o priemerný ročný počet dní so snežením je 31.

<sup>1</sup> Ing. Viliam Carach, doc. Ing. Jozef Mačala, CSc., Katedra Mineralurgie a environmentálnych technológií, Park Komenského 19, 043 84 Košice, [viliam.carach@tuke.sk](mailto:viliam.carach@tuke.sk), [jozef.macala@tuke.sk](mailto:jozef.macala@tuke.sk)  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 8. 12. 2006)

### Veterné pomery oblasti mesta Košice

Veterné pomery sú určené orografickou polohou oblasti. V priestore mesta Košice je dominantné severné a južné prúdenie. (obr. 1).

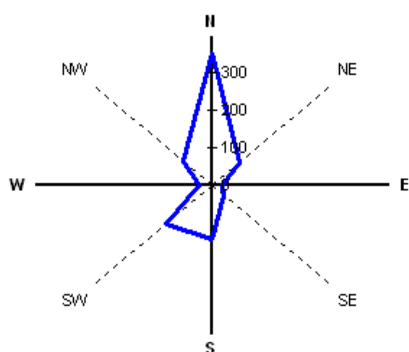
Priemerná ročná rýchlosť vetra dosahuje  $4,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , výskyt klimatického bezvetria je 10,3 %. Najvyššiu priemernú rýchlosť dosahujú severné zložky prúdenia. Najveternejšími mesiacmi sú podľa tabuľky 1 mesiace marec, apríl, najmenej veterné sú august a september.

Nepriaznivý stav pre mesto nastáva v prípade prúdenia vetrov južných smerov. Znečisťujúce látky (ZL) sú unášané vetrom smerom do centra mesta. V meste sa nachádza pomerne veľa budov a iných terénnych prekážok, čo zhoršuje rozptyl škodlivých látok.

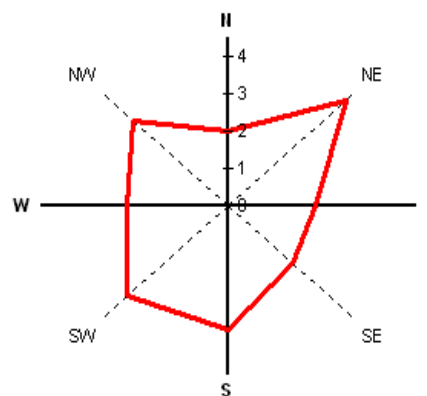
Tab. 1. Priemerná ročná početnosť a rýchlosť vetra v jednotlivých smeroch nameraných počas rokov 1961 až 1990 na stanici Košice – Letisko

Tab. 1. Average annual wind frequency and speed in individual directions measured during the years 1961 to 1990 at the Košice – Airport station

Smer	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM
Priemerná početnosť	352	86	24	38	144	144	30	93	89
Priemerná rýchlosť [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	2	4	2,1	2,2	3,3	3,4	2,4	3,2	0



Obr. 1. Veterná ružica – početnosť výskytu vetrov v jednotlivých smeroch nameraných na stanici Košice – Letisko (1961 – 1990)  
Fig. 1. Wind satellite – wind incidence in individual directions measured at the Košice – Airport station (1961 – 1990)



Obr. 2. Veterná ružica – priemerné rýchlosti vetra v jednotlivých smeroch nameraných na stanici Košice – Letisko (1961 – 1990)  
Fig. 2. Wind satellite – average wind speed in individual directions measured at the Košice – Airport station (1961 – 1990)

### Kategorizácia zdroja znečisťovania

Zdroj TEKO patrí v rámci palivovo-energetického priemyslu medzi veľké zdroje, t.j. technologické celky obsahujúce stacionárne zariadenia na spaľovanie palív so súhrnným menovitým tepelným príkonom 50 MW a vyšším. (podľa zákona o ovzduší č. 478/2002 Z.z.)

#### Technický popis zdroja

Tepló a elektrická energia sa vyrába v dvoch kogeneračných zdrojoch TEKO I. a TEKO II, ktoré pozostávajú z:

- dvoch parných kotlov, PK1 a PK2, s výkonom  $108 \text{ MW}_t$  a turbogenerátora TG1 s výkonom  $55 \text{ MW}_e$ ,
- dvoch parných kotlov, PK3 a PK4, s výkonom  $143 \text{ MW}_t$  a trubogenerátora TG2 s výkonom  $66 \text{ MW}_e$ ,
- dvoch horúcovodných kotlov, HK1 a HK, so výkonom  $58 \text{ MW}_t$ ,
- horúcovodného kotla HK3 s výkonom  $116 \text{ MW}_t$ ,
- horúcovodného kotla HK4 s výkonom  $140 \text{ MW}_t$ .

Základnú prevádzku kotelne tvorí celkovo osem kotlových jednotiek. Štyri kotly sú parné (PK1 – PK4) a štyri kotly sú horúcovodné (HK1 – HK4). Ako palivo sa používa antracitické čierne uhlie a zemný plyn. Prevádzku TEKO I. tvoria kotly PK1, PK2 a HK1, HK2. Prevádzku TEKO II. tvoria kotly PK3, PK4 a HK3, HK4.

Zemný plyn je možné spaľovať vo všetkých zariadeniach tvoriacich prevádzku TEKO I. a na troch zariadeniach TEKO II. (PK3, PK4 a HK3). Horúcovodný kotol HK4 nie je plynofikovaný.

### Emisná situácia

Údaje o množstvách ZL emitovaných zo zdroja TEKO sú uvedené v *tabuľke 2*. Podkladom pre ich spracovanie boli hodnoty získané z denných, mesačných a ročných protokolov emisného monitoringu jednotlivých ZL. Údaje eviduje SHMÚ prostredníctvom Národného emisného inventarizačného systému (NEIS).

Tab. 2. Množstvo emisií ZL z TEKO za obdobie rokov 1990 – 2004 (TEKO)

Tab. 2. Amount of emissions from TEKO for the period between 1990 – 2004 (TEKO)

Rok	Množstvo ZL [t.rok <sup>-1</sup> ]				
	TZL	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	ΣC <sub>org</sub>
1990	128,5	3 909,00	4 515,30	x	x
1991	339,6	5 348,50	4 920,87	x	x
1992	164,80	4 365,30	4 323,10	x	x
1993	216,63	4 012,67	4 367,72	x	x
1994	308,20	2 509,10	3 657,60	111,80	x
1995	225,10	2 095,00	3 494,10	108,00	x
1996	123,60	1 715,99	1 802,45	183,14	x
1997	121,90	2 566,46	2 165,60	61,90	x
1998	111,36	1 737,90	1 854,80	156,80	x
1999	77,20	1 199,50	1 380,90	152,60	2,53
2000	56,11	1 065,80	1 600,69	111,64	6,60
2001	66,06	1 129,08	1 209,10	68,67	7,20
2002	71,24	1 279,70	1 404,60	90,78	7,54
2003	74,93	1 339,48	1 466,02	56,82	7,91
2004	82,96	1 531,45	1 570,18	71,72	8,00

### Celoslovenské meradlo

Z údajov uvedených v *tabuľke 2* je zrejme, že TEKO produkuje výrazne vysoké množstvá emisií jednotlivých ZL. Týka sa to hlavne emisií SO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub>.

V roku 2003 TEKO vyprodukovalo 1339,48 t emisií SO<sub>2</sub>, čo bol takmer 2 %-ný podiel na celkovom množstve vypustených emisií na Slovensku. Podiel na celkových emisiách NO<sub>x</sub> v rámci SR činil takmer 3 %, resp. 5. miesto v rámci všetkých zdrojov na Slovensku.

### Lokálne meradlo

Množstvá emisií SO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub> pochádzajúcich z TEKO a ich podiel na znečisťovaní ovzdušia v Košiciach za obdobie rokov 2000 až 2004 sú spracované v *tabuľke 3*.

Tab. 3. Množstvo emisií SO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub> z TEKO a ich podiel na znečisťovaní ovzdušia v Košiciach.

Tab. 3. Amount of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions from TEKO and their share on air pollution in Kosice.

Rok	Emisie [t.rok <sup>-1</sup> ]		Podiel na znečisťovaní v Košiciach [%]			
			v rámci mesta Košice		v rámci časti Košice IV.	
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
2000	1065,80	1600,69	5,82	12,95	89,45	92,11
2001	1129,08	1209,10	8,95	9,98	88,26	89,52
2002	1279,70	1404,60	12,18	11,57	89,88	93,25
2003	1339,48	1466,02	12,41	11,91	90,50	93,39
2004	1531,45	1570,18	12,76	12,03	91,13	94,02

Z *tabuľky 3* je zrejme, že TEKO patrí medzi významných producentov SO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub> v rámci samotného mesta, ako aj v rámci mestskej časti Košice IV.

## Vytvorenie modelu znečisťovania ovzdušia z bodového zdroja znečisťovania

### Metodika výpočtu koncentrácií znečisťujúcich látok

Pre výpočet koncentrácií ZL bola použitá metodika US EPA ISC3, ktorá je obsiahnutá aj v štatistickom modeli MODIM, ktorý používa SHMÚ. Pre fyzický výpočet bol použitý softvér s názvom SCREEN ISC3.

### Vstupné údaje pre modely znečisťovania ovzdušia

Zvolené modely znečistenia ovzdušia vyžadujú pomerne malé množstvo vstupných údajov týkajúcich sa zdroja znečisťovania, poveternostných podmienok, topografie a pod..

### Údaje o zdroji znečisťovania

V prípade TEKŌ ide o bodový zdroj emisií – komín. Základné parametre, ktoré sú potrebné na účel modelovania sú:

- výška komína 100 m,
- vnútorný priemer komína 4,1 m.

### Údaje o emisii NO<sub>x</sub>

Pre modelovanie boli použité priemerné ročné množstvá emisií NO<sub>x</sub> vypustené do ovzdušia z TEKŌ za rok 2004 a údaje z NEIS.

Podľa ročného protokolu emisných hodnôt za rok 2004, resp. priemerných hodnôt denného emisného monitorovania bolo zistené:

- priemerné množstvo emisie NO<sub>x</sub> je 50 g.s<sup>-1</sup>,
- teplota vypúšťaných spalín je 105,5 °C = 378,65 K,
- rýchlosť vypúšťaných spalín je 12 m.s<sup>-1</sup>.

### Údaje o poveternostných podmienkach

Podklady pre zistenie uvedených poveternostných podmienok pochádzajú z výročnej správy TEKŌ za rok 2004 a boli doplnené údajmi poskytnutými SHMÚ Košice.

Hodnoty poskytnuté SHMÚ predstavujú ročné priemery získané za sledované obdobie rokov 1961 – 1990. Tieto údaje sa týkajú hlavne priemernej ročnej teploty, rýchlostí vetra v jednotlivých smeroch jeho prúdenia.

Použité údaje pre jednotlivé modely znečisťovania ovzdušia:

- teplota v korune komína 20 °C = 293,15 K,
- južný smer vetra (zvolený),
- rýchlosť vetra určená podľa jednotlivých stupňov stability atmosféry takto:
  - o stabilita A – 1 m.s<sup>-1</sup>,
  - o stabilita B – 2 m.s<sup>-1</sup>,
  - o stabilita C – 4,4 m.s<sup>-1</sup> (priemerná ročná rýchlosť vetra v Košiciach),
  - o stabilita D – 6 m.s<sup>-1</sup>,
  - o stabilita E – 3 m.s<sup>-1</sup>.

Stupeň stability a rýchlosti, s ktorými sa pri nich uvažuje, boli vybrané podľa všeobecne platných zásad o modelovaní. Každý stupeň stability sa vyznačuje charakteristických rozpätím veterného prúdenia. Stupeň stability F nebol zaradený do modelovania, pretože v praxi je veľmi málo pravdepodobné aby taký superstabilný stav atmosféry nastal.

### Údaje o topografii

Údaje o topografii sa získavajú veľmi ťažko. Najlepším riešením by bolo použitie 3D topografického modelu uvažovanej oblasti, v ktorom by boli zobrazené všetky objekty a terénne nerovnosti. V tomto prípade sa v modeloch uvažovalo len s prítomnosťou budov a prirodzených terénnych prekážok.

### Údaje o referenčných bodoch

Veľmi dôležitým parametrom pre výpočet koncentrácií sú referenčné body - receptory. Najvýhodnejšie je použiť čo najväčšiu sieť receptorov. Problémom je fakt, že jednotlivé modely, ale hlavne ich softvérové vyhotovenia neumožňujú výpočet koncentrácií znečisťujúcich látok v tak veľkom počte bodov.

V tomto prípade sa uvažuje s dvojrozmerným súradnicovým systémom  $x$ ,  $y$ . Každý bod, v ktorom je zisťovaná koncentrácia je definovaný dvoma súradnicami  $x$  a  $y$ .

Pre modelovanie bola vytvorená sieť receptorov, ktorá obsahuje:

- 30 bodov (receptorov) vo vzdialenosti od 100 m do 3000 m od zdroja v smere osi  $x$ , vzdialenosť medzi jednotlivými bodmi je 100 m,
- 14 bodov vo vzdialenosti od 3000 do 10000 m od zdroja v smere osi  $x$ , vzdialenosť medzi bodmi je 500 m,
- po 10 bodov vo vzdialenosti od 100 m do 1000 m od zdroja v smere osi ( $y$ ) a ( $-y$ ), vzdialenosť medzi týmito bodmi predstavuje 100 m.

### Výstupy z modelu

Použitím už vopred spomínaného softvérového a hardvérového vybavenia pri dodržaní všeobecne platných zásad pri modelovaní znečistenia ovzdušia, boli vypočítané koncentrácie  $\text{NO}_2$ , z ktorých boli vybrané koncentrácie v daných vzdialenostiach od zdroja, pre sieť receptorov. Tieto hodnoty koncentrácií  $\text{NO}_2$  sú uvedené v tabuľke 4.

Tab. 4. Koncentrácie  $\text{NO}_2$  vypočítané vo vybraných vzdialenostiach podľa modelu ISC 3 pri stabilitách A – E.  
Tab. 4.  $\text{NO}_2$  concentration calculated in selected distances according to the ISC 3 model at the stabilities A – E.

Trieda stability atmosféry	Koncentrácia $\text{NO}_2$ [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]					
	vo vzdialenosti od zdroja znečisťovania [m]					
	100	500	1000	3000	5000	10000
Stabilita A	0	5,25	65,00	38,70	27,39	17,78
Stabilita B	0	25,74	38,88	16,96	11,91	7,71
Stabilita C	0	34,89	40,33	8,87	4,21	2,51
Stabilita D	0	18,80	39,67	13,22	6,84	2,91
Stabilita E	0	0,02	2,87	26,93	26,55	18,17

### Určenie celkovej koncentrácie $\text{NO}_2$

Hodnoty vypočítané pomocou modelov predstavujú iba imisný príspevok  $\text{NO}_2$  pochádzajúci z TEKO. Tieto údaje boli použité na vytvorenie rozptylových máp  $\text{NO}_2$ , ktorými sa dosiahol prehľad o množstve vypočítaných koncentrácií.

Pri postupe  $\text{NO}_2$  zo zdroja TEKO v uvažovanom smere vetra predpokladáme, že reálna hodnota koncentrácie  $\text{NO}_2$  je vyššia. Zvýšenie tejto hodnoty spôsobujú iné zdroje emisií  $\text{NO}_x$  nachádzajúce sa v smere postupu dymovej vlečky zo zdroja TEKO.

Ide hlavne o líniové zdroje, t. j. emisie  $\text{NO}_x$  pochádzajúce z dopravy. Je známe, že doprava sa podieľa na celkovom znečistení ovzdušia oxidmi dusíka takmer 50 % (podľa US EPA).

Medzi ďalšie potenciálne zdroje  $\text{NO}_x$  patria najmä stredné a malé zdroje nachádzajúce sa v blízkosti zdroja TEKO, napr. centrálna vykurovanie v rodinných domoch a v menších závodoch.

Výpočet celkovej koncentrácie  $\text{NO}_2$  v sieti referenčných bodov modelu bol uskutočnený podľa vzťahu

$$c_{\Sigma} = c_{\text{TEKO}} + c_0 + c_1 \quad [\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}]$$

- kde  $c_{\Sigma}$  - celková koncentrácia  $\text{NO}_2$ ,  
 $c_{\text{TEKO}}$  - imisný príspevok  $\text{NO}_2$  zo zdroja TEKO,  
 $c_0$  - imisný príspevok  $\text{NO}_2$  pochádzajúci zo vzdialenejších zdrojov,  
 $c_1$  - imisný príspevok  $\text{NO}_2$  z iných zdrojov v blízkosti TEKO.

Imisný príspevok  $\text{NO}_2$  pochádzajúci zo zdroja TEKO predstavujú koncentrácie vypočítané pomocou modelu ISC3.

Imisný príspevok zo vzdialenejších zdrojov predstavuje množstvo  $\text{NO}_2$ , ktoré pochádza zo zdrojov nachádzajúcich sa mimo územia mesta Košice. Ak uvažujeme o diaľkovom prenose ZL, môže ísť o zdroje vzdialené až niekoľko kilometrov od zdroja TEKO. Pre výpočet boli použité hodnoty koncentrácií  $\text{NO}_2$  namerané na meracej stanici Topoľníky v roku 2004.

Medzi iné zdroje  $\text{NO}_x$  resp.  $\text{NO}_2$  v blízkosti TEKO patrí hlavne doprava a vykurovacie systémy v malých rodinných domoch.

**Pre výpočet celkovej koncentrácie NO<sub>2</sub> boli použité tieto údaje:**

- koncentrácie NO<sub>2</sub> vypočítané modelom ISC 3,
- priemerná hodinová koncentrácia NO<sub>2</sub> 2,9 µg.m<sup>-3</sup> nameraná na meracej stanici EMEP Topoľníky za rok 2004,
- množstvo NO<sub>2</sub> 125 µg.m<sup>-3</sup> pochádzajúceho z dopravy v meste Košice za rok 2004 (priemerná hodnota hodinovej koncentrácie NO<sub>2</sub>),
- triedy stability atmosféry A, B, C, D a E,
- južný smer vetra.

Výsledné celkové koncentrácie NO<sub>2</sub> pre jednotlivé triedy stability atmosféry v uvedených vzdialenostiach od zdroja sú uvedené v tabuľke 5.

Tab. 5. Celkové vypočítané koncentrácie NO<sub>2</sub>  
Tab. 5. Overall calculated NO<sub>2</sub> concentrations

Trieda stability atmosféry	Koncentrácia NO <sub>2</sub> [µg.m <sup>-3</sup> ]					
	vo vzdialenosti od zdroja znečisťovania [m]					
	100	500	1000	3000	5000	10000
Stabilita A	127,9	133,15	192,90	166,60	155,29	145,68
Stabilita B	127,9	153,64	166,78	144,86	139,81	135,61
Stabilita C	127,9	162,79	168,23	136,77	132,11	130,41
Stabilita D	127,9	146,7	167,57	141,12	134,74	130,81
Stabilita E	127,9	127,92	130,77	154,83	154,45	146,07

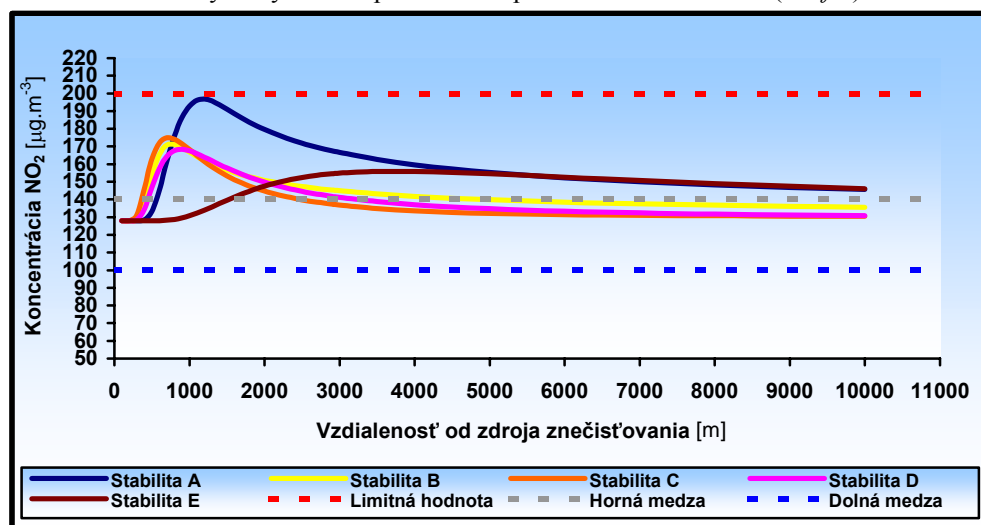
**Zhodnotenie imisnej situácie v sledovanej oblasti**

Proces hodnotenia znečistenia ovzdušia popisuje Vyhláška MŽP SR č. 705 o kvalite ovzdušia z roku 2002. Táto vyhláška stanovuje limitné hodnoty znečisťovania ovzdušia, horné a dolné medze na hodnotenie úrovne znečistenia vybranými ZL (tabuľka 6), limitné hodnoty na varovanie, informačné a výstražné hraničné prahy pre smogové varovné a regulačné systémy.

Tab. 6. Limitné hodnoty a medze tolerancie platné pre NO<sub>2</sub>.  
Tab. 6. Limit values and tolerance limits of NO<sub>2</sub>.

Receptor	Interval spriemerovania	Limitná hodnota [µg.m <sup>-3</sup> ]	Medze hodnotenia [µg.m <sup>-3</sup> ]	
			Horná	Dolná
Ľudské zdravie	1 hodina	200	140	100
Ľudské zdravie	1 rok	40	32	26

V prípade NO<sub>2</sub> sa sleduje vplyv na ľudský organizmus. Koncentrácie NO<sub>2</sub> vypočítané modelom ISC3 a celkové koncentrácie NO<sub>2</sub> predstavujú priemerné hodinové koncentrácie, preto boli porovnané s limitnými hodnotami koncentrácií určenými vyhláškou pre interval spriemerovania 1 hodina (Graf 1).



Graf 1. Porovnanie celkových koncentrácií NO<sub>2</sub> s limitnou hodnotou, hornou a dolnou medzou hodnotenia  
Graph 1 Comparison of overall NO<sub>2</sub> concentrations with limit value, upper and lower limit of assessment

V grafe 1 sú zobrazené celkové koncentrácie ( $c_{\Sigma}$ )  $\text{NO}_2$  vypočítané pre úrovne stability A až E (tab. 5). Hodnoty koncentrácií boli porovnané s limitnou hodnotou. Z grafu je zrejmé, že pri žiadnej triede stability atmosféry nedošlo k prekročeniu limitnej hodnoty. V prípade stability A sa hodnoty koncentrácií  $\text{NO}_2$  priblížili limitnej hranici, ale neprekročili ju. Koncentrácie  $\text{NO}_2$  vypočítané pri stabilitách B, C, D a E sa nachádzali výrazne pod limitnou hodnotou.

Takmer všetky hodnoty koncentrácií  $\text{NO}_2$  sa nachádzajú na čiare hornej medze hodnotenia, resp. medzi hornou medzou hodnotenia a limitnou hodnotou. Vyhláška MŽP SR č. 705/2002 rozlišuje tri monitorovacie režimy. Hodnoty koncentrácií  $\text{NO}_2$ , vypočítané modelom pre danú oblasť mesta Košice, zaraďujú túto oblasť do skupiny zón s režimom hodnotenia 1. Pre zóny s týmto režimom hodnotenia kvality ovzdušia je povinná vysoká kvalita meraní. Namerané údaje môžu byť doplnené modelovými výpočtami.

### Opatrenia pri prekročení limitných hodnôt

Porovnaním vypočítaných celkových koncentrácií  $\text{NO}_2$  s limitnou hodnotou stanovenou *Vyhláškou MŽP SR č. 705/2002* bolo zistené, že pri daných modelovacích podmienkach nedošlo k jej prekročeniu. Vypočítané koncentrácie prekračujú dolnú aj hornú medzu hodnotenia znečistenia ovzdušia. Po prekročení hornej medze hodnotenia, keď koncentrácie dosahujú hodnoty  $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  a viac, existuje predpoklad vzniku smogovej situácie. Vznik takejto situácie je podmienený výskytom inverzie. V tomto prípade dochádza k hromadeniu a zotrvávaniu  $\text{NO}_2$  na určitom mieste, zhoršuje sa ich transport a zánik v atmosfére. Hodnoty koncentrácií  $\text{NO}_2$  sa tak môžu v krátkom čase zvýšiť až niekoľkonásobne.

V prípade vzniku, resp. pri predpoklade vzniku nepriaznivej poveternostnej situácie (inverzie) v danej oblasti môžeme operatívne riešiť tento problém použitím modelu. Pomocou presných vstupných údajov vytvoríme model šírenia  $\text{NO}_2$  v danej oblasti a na základe vypočítaných koncentrácií vytvoríme rozptylové mapy. Z rozptylových máp je možné určiť, ktorá oblasť je v danom čase najviac znečistená príslušnou škodlivinou. Zo vstupných údajov pre modely sa dá určiť podiel jednotlivých zdrojov na celkovom znečistení. Na základe týchto údajov sa hľadajú možnosti zníženia koncentrácií  $\text{NO}_2$  po prekročení určitej hodnoty.

V tomto prípade je potrebné prijať regulačné opatrenia na zníženie koncentrácie  $\text{NO}_2$  pri dosiahnutí hodnoty  $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Na znečisťovaní ovzdušia látkami  $\text{NO}_2$  v uvažovanej oblasti sa podieľajú tri skupiny zdrojov: TEKO, doprava a ostatné malé zdroje znečisťovania. Regulovať množstvo emisií z malých zdrojov a dopravy je veľmi obtiažne. Jediným riešením je znižovanie emisií  $\text{NO}_x$  priamo v TEKO, pričom prichádzajú do úvahy nasledovné možnosti:

- zníženie tepelného výkonu jednotlivých kotlov teplárne,
- prechod z plynného paliva na tuhé palivo,
- vyšší stupeň denitrifikácie v jednotlivých prevádzkach.

### Záver

Matematické modely majú široké praktické uplatnenie. Vytvorením vhodného modelu vieme nielen zhodnotiť stav kvality ovzdušia, ale súčasne môžeme predpokladať znečistenie, ktoré môže nastať pri daných poveternostných podmienkach.

Výber konkrétneho matematického modelu je limitovaný mnohými faktormi. V praxi je to najmä dostupnosť potrebných vstupných údajov pre tieto modely. Platí, že čím je model sofistikovanejší, tým potrebuje väčšie množstvo vstupných údajov pre tieto modely a naopak.

V súčasnosti sa vo svete používa približne 200 matematických modelov znečisťovania ovzdušia. Patria medzi ne aj modely, ktoré sú používané na Slovensku. Použitelnosť týchto modelov vymedzuje zákon č. 478/2002 Z.z. o ochrane ovzdušia.

### Literatúra – References

- Carach, V.: Modelovanie šírenia škodlivín v ovzduší. *Diplomová práca, F BERG TU. Košice, 2005.*
- Moussiopoulos, N., Berge, E., Bohler, T., de Leeuw F., Gronské, K., E., Mylona, S., Tombrou, M.: Ambient air quality pollutant dispersion and transport models. Copenhagen: EEA. 1996.
- Szabó, G.: Modelovanie kvality ovzdušia na Slovensku. *Zborník abstraktov Teplý Vrch. 2004.*
- Závodský, D.: Atmospheric chemistry and air pollution modelling. *Banská Bystrica: PS J. A. Komenského. 2001, Interné dokumenty, Tepláreň Košice, 1990 – 2004.*