

12 467

EKOAIR -Služby čistotě ovzduší
RNDr. Jan Maňák

REVIZE 2003

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV PRAHA
Úsek ochrany čistoty ovzduší

REVIZE 2008

ZÁKLADNÍ ČÁST METODIKY
VÝPOČTU ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ ZE STACIONÁRNÍCH ZDROJŮ

Státní program péče o životní prostředí MŽP ČR
(Evidenční označení projektu GA/3224/93)

PRAHA
Listopad 1993

Ú V O D

Předkládaná studie byla vypracována na objednávku Ministerstva životního prostředí ČR v rámci Programu péče o životní prostředí MŽP ČR a podle smlouvy o dílo mezi ČHMÚ a firmou EKOAIR na straně jedné a MŽP na straně druhé s evidenčním číslem projektu GA/3224/93.

Smluvně potvrzené řešení obsahuje následující 2 části:

- * Rešerše modelů používaných ve vyspělých státech k výpočtu znečištění ovzduší exhalacemi ze stacionárních zdrojů
- * Návrh koncepce základních rovnic výpočetního modelu.

V následující části materiálu je v členění podle jednotlivých částí uveden přehled plnění cílů řešení a sledovaných úkolů vyplývajících z výše uvedené smlouvy a dokladovaný v přílohové části příslušnými zprávami.

Je však nutno zdůraznit, že předkládaná práce je pouze ideovým návrhem modelu, který bude nutné v dalším období dopracovat, určit konkrétní hodnoty některých koeficientů, specifikovat vstupní i výstupní data apod. Poté bude nutné metodiku odzkoušet na změřených datech a podle výsledků verifikace doplnit či pozměnit. Teprve pak bude připravena k použití v praxi.

K předkládané studii je zároveň připojen oponentský posudek od doc. RNDr. Jana Bednáře, CSc. z Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze.

Činnosti zajišťované ve vazbě na cíle řešení a sledované úkoly

I. ZADÁNÍ

A. Cíl řešení

Zhotovit Základní část metodiky výpočtu znečištění ovzduší ze stacionárních zdrojů.

B. Sledované úkoly

- * Rešerše modelů používaných ve vyspělých státech,
- * Konstrukce základních rovnic výpočetního modelu

II. PŘEHLED PLNĚNÍ

A. Cíl řešení

V rámci řešení projektu v průběhu roku 1993 byl vypracován návrh koncepce základních rovnic výpočtového modelu.

B. Sledované úkoly

- * Rešerše modelů používaných ve vyspělých státech.

Rešerše modelů obsahuje přehled několika vybraných a dostupných modelů výpočtu znečištění ovzduší používaných ve vyspělých státech. Jedná se o model německý (TAL), souhrn modelů US EPA, a dále o některé speciální modelové postupy Švýcarské, Norské, Britské a speciální postupy výpočtu ve vybraných amerických modelech. Lze však jen litovat, že se nepodařilo získat informace o praktickém využívání modelových postupů, které sice byly popsány v odborné literatuře, ovšem s vynecháním řady "z čistě vědeckého hlediska nezajímavých aplikačních detailů". Týká se to převážně modelů současně používaných v Americe, modelů Rakouských, Švédských, Francouzských, Holandských, Finských a jiných.

Výsledky jsou uvedeny v příloze I.

* Konstrukce základních rovnic výpočetního modelu

Tato část řešení projektu obsahuje vlastní návrh koncepce základních rovnic výpočetního modelu, kterého by nová metodika měla využívat. Nový model, tak jak je uvedeno v zadání, odstraňuje některé nedostatky současné metodiky a umožňuje počítat znečištění ovzduší i za podmínek, při kterých to současná metodika nedovede.

Výsledky jsou uvedeny v příloze II.

Tento materiál bude předán v souladu s textem uzavřené smlouvy do 30.11.1993 MŽP ČR.

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV

Úsek ochrany čistoty ovzduší

Oddělení modelování a expertíz

ZÁKLADNÍ ČÁST METODIKY VÝPOČTU ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ
ZE STACIONÁRNÍCH ZDROJŮ

První etapa - Rešerše literatury

Autoři zprávy: RNDr. Jiří Bubník
RNDr. Josef Keder, CSc
Jan Macoun

č. projektu: GA/3224/94

Praha 1993

1 ÚVOD

Základem pro naši rešerši byla publikace o modelech výpočtu znečištění ovzduší používaných na celém světě [1], která vznikla pod patronací Světové meteorologické organizace. Publikace obsahuje popis 183 metod výpočtu znečištění na krátké, střední a velké vzdálenosti založené na mnoha různých způsobů řešení daného problému. Pro náš účel jsme vybrali jen několik metod založených na řešení Gaussovské rovnice, kterou považujeme s mnoha jinými autory za nejlepší a nejjednodušší pro výpočet znečištění ovzduší na krátké vzdálenosti, tj. pro problém, který tento úkol řeší.

Celkově můžeme na základě dostupné literatury tvrdit, že nejčastěji se používají Gaussovské rovnice s jedním nebo s několika násobným odrazem od zemského povrchu a spodní hranice inverze. Pro výpočet efektivní výšky se nejčastěji používají Briggsovy vzorce, různé stabilitní klasifikace obsahují 4 až 7 tříd stability. Žádná metodika, kromě české, neobsahuje stáčení směru větru s výškou.

Rozptylové parametry σ (směrodatné odchylky) jsou definovány jako mocninové funkce s nezávisle proměnou definovanou vzdáleností od zdroje, v některých modelech i s konstantním členem, definujícím nenulové σ v místě zdroje.

Základem je vždy rychlost větru měřená ve výšce 10 m nad povrchem země. Pro výšky 0 až 10 m nad zemí je rychlost konstantní a rovná se rychlosti ve výšce 10 m. Pro výšky větší než 10 m se převážně používá mocninový profil větru, zřídka logaritmický profil.

Většina metod však platí pouze pro rovinný terén. Pro zvlněný terén jsou uváděny jen jednoduché aproximace, většinou se používá úplné Gaussovské rovnice s korekcemi efektivní výšky na terén.

Chemické transformace SO_2 a NO_x jsou uvažována jen sporadicky.

Základní literatura [1], kterou jsme použili, má však jedno úskalí. V publikaci je sice popsáno 182 modelů, ne všechny jsou popsány tak, aby jsme se mohli v další práci jimi inspirovat. Popisy jsou totiž tak obecné, že prakticky neříkají nic konkrétního. Řada autorů modelů si zjednodušila práci značnými odkazy na literaturu, která má však mnohdy lokální charakter a není u nás dostupná.

Proto chybí v našem popisu modely např. Rakouské, Švédské, Francouzské, Holanské, Finské a jiné.

2 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY MODELŮ

Podle dostupných podkladů lze metody výpočtu znečištění ovzduší na krátké vzdálenosti rozdělit na dvě skupiny:

- K-metody a
- statistické metody.

K-metody jsou založeny na řešení parciální diferenciální rovnice turbulentní difúze, statistické metody na statistickém rozložení četností koncentrací v prostoru.

K-metody kladou větší důraz na technické parametry zdrojů s mírným vlivem meteorologických jevů, statistické metody uvažují oba druhy vlivů prakticky v rovnováze. Projevuje se to např. v zavádění meteorologického koeficientu při použití K-metod, který je určován pouze implicitně na základě shody výsledků měření s výpočtovými formulacemi, zatímco statistické metody nemají zapotřebí takový koeficient zavádět.

Při použití K-metod uvažujeme buď izotropní turbulenci nebo stanovujeme míru anizotropie konvenčně. V statistických metodách přiřazujeme veličiny, na nichž míra anizotropie závisí, přímo měřeným hodnotám počasí.

Citlivost vzorců K-metod na rychlost větru je podstatně menší než vzorců statistických metod. Z praxe je však známo, že vzrůst rychlosti větru dosti podstatně ovlivňuje koncentrace z ojedinelého bodového zdroje.

Při úvahách o společném vlivu přínosu znečištění novým zdrojem a stávajícím pozadím vzniká u vzorců K-metod potíže. Spočívá v tom, že nedostatečně respektují meteorologické vlivy a není proto možno jejich výsledky jednoduše sčítat s měřeními dosavadního znečištění, jež na meteorologických parametrech podstatně závisí. Vzorce statistických metod

tuto potíží nemají, protože jsou v nich dostatečně důrazně a diferencovaně meteorologické vlivy obsaženy, takže je možno dílčí výpočty přizpůsobovat vhodným podmínkám a výsledky sumarizovat.

Z praktických důvodů jsou statistické metody vzhledem k maximální přesnosti vstupních dat vhodnější pro relativně jednoduchý způsob výpočtu. K-metody vyžadují numerické řešení výpočtových rovnic. Tato skutečnost výrazně prodlužuje strojový čas i při současně dostupné výpočtové technice.

Z výčtu předchozích předností a nedostatků obou skupin metod vyplývá, že pro výpočet znečištění ovzduší na krátké vzdálenosti se používají, zvláště v Evropě, metody statistické.

Rozložení koncentrace znečišťujících látek pro statistické metody lze podle Pasquilla [2],[3] vyjádřit v obecném tvaru

$$C(X,Y,Z) = \frac{m}{B_1 \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp \left[-P(X/\sigma_x)^p - R(Y/\sigma_y)^r - S(Z/\sigma_z)^s \right]$$

kde

$$P = \left[\frac{\Gamma(3/p)}{\Gamma(1/p)} \right]^{p/2} \quad R = \left[\frac{\Gamma(3/r)}{\Gamma(1/r)} \right]^{r/2} \quad S = \left[\frac{\Gamma(3/s)}{\Gamma(1/s)} \right]^{s/2}$$

$$\frac{1}{B_1} = \frac{prs}{8} \cdot \frac{(\Gamma(3/p) \cdot \Gamma(3/r) \cdot \Gamma(3/s))^{1/2}}{(\Gamma(1/p) \cdot \Gamma(1/r) \cdot \Gamma(1/s))^{3/2}}$$

kde Γ je gama-funkce,

m - množství znečišťující látky emitované ze zdroje za dobu t ,

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ - rozptylové parametry ve směru os x, y, z

$C(X,Y,Z)$ - koncentrace v bodě o souřadnicích X,Y,Z ,

p, r, s , - konstanty určující způsob rozptylu.

Konstanta p určuje způsob rozptylu ve směru osy X (zde i ve směru proudění), konstanta r určuje způsob rozptylu ve směru osy Y (napříč od osy vlečky) a konstanta s určuje způsob rozptylu vertikálně ve směru osy Z .

Dále předpokládejme, že ve směru osy X převládá transport nad difuzí. Množství znečišťující látky emitované za dobu t nahradíme emisí za časovou jednotku. Předpokládejme, že dochází k odrazu znečišťujících látek od ideálně hladkého rovného zemského povrchu. Pak lze výše uvedenou rovnici přepsat do tvaru

$$C(X,Y,Z) = \frac{M}{B_2 \sigma_Y \sigma_Z u} \cdot \exp\left[-R \frac{Y^S}{\sigma_Y^S}\right] \cdot \left[\exp\left[-S \frac{(Z-h)^S}{\sigma_Z^S}\right] + \exp\left[-S \frac{(Z+h)^S}{\sigma_Z^S}\right] \right]$$

kde

$$\frac{1}{B_2} = \frac{rs}{4} \cdot \frac{(\Gamma(3/r) \cdot \Gamma(3/s))^{1/2}}{(\Gamma(1/r) \cdot \Gamma(1/s))^{3/2}}$$

Poslední člen představuje tu část znečištění ovzduší, která je způsobena odrazem. Uvedená obecná rovnice dovoluje vypočítat znečištění ovzduší v libovolném prostoru (ve volné atmosféře nebo na zemském povrchu).

Položíme-li $Z = 0$ získáme rovnici pro rovinný terén.

$$C(X,Y,0) = A \cdot \exp\left[-R \frac{Y^S}{\sigma_Y^S}\right] \cdot \exp\left[-S \frac{h^S}{\sigma_Z^S}\right]$$

kde

$$A = \frac{2Q}{B_2 \sigma_Y \sigma_Z u}$$

Různou volbou konstant obdržíme různé základní vzorce. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty těchto konstant, z nichž vycházejí některé modely.

Model	r	s	A	σ_y	σ_z
Bosanquet-Pearson	2	1	$\frac{Q}{(2\pi)^{1/2} p q x^2 U}$	$q x$	$\sqrt{2} \cdot p x$
Sutton	2	2	$\frac{2Q}{C_y C_z x^{2-n} U \pi}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} C_y x^{(2-n)/2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} C_z x^{(2-n)/2}$
Calder	1	1	$\frac{Q U}{2 k^2 a U_*^2 x^2}$	$\frac{\sqrt{2} \cdot a k U_* x}{U}$	$\frac{\sqrt{2} \cdot k U_* x}{U}$
Pasquill	2	2	$\frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z U}$	<i>z difuzních dat</i>	

Význam některých symbolů je následující

- h je efektivní výška komína,
- U_* - třecí rychlost,
- k - Karmanova konstanta,
- U - rychlost větru,
- z - výška nad patou komína,
- q - empirický koeficient,
- p - numerický koeficient z definice koeficientu turbulentní difuze,
- a - poměr horizontální ku vertikální rychlosti fluktuace,
- Q - hmotnostní tok emisí,
- σ_y, σ_z - rozptylové parametry ve směru os Y a Z,
- C_y, C_z, n - parametry Suttonovy teorie.

Model Bosanquet-Pearson a Calderův model platy pro neutrální podmínky zvrstvení atmosféry. Bosanquet-Pearsonovy parametry p, resp. q mají hodnoty 0,005 , resp. 0,08. V Modelu Caldera se předpokládá, že $a = 2$ pro $y = 0$, neuvádí jak a závisí na z.

Suttonovy parametry C_y, C_z, n závisí na výšce nad zemí a na stabilitě.

Pasquill definuje závislost rozptylových parametrů σ_y a σ_z na vzdálenosti od zdroje po směru větru pro různé stabilitní teplotní poměry atmosféry. Tvary závislostí jsou různé, např.

$$\sigma = ax^b$$

$$\sigma = ax^b + c$$

$$\sigma = a(x+c)^b$$

$$\log \sigma = a (\log x)^b + c,$$

a jiné závislosti. Konstanty a, b, c a další závisí na stabilitě ovzduší, na drsnosti terénu, na výšce vypouštění exhalací nad zemí apod.

3 MODEL POUŽÍVANÝ V SRN (TAL)

Popis metody výpočtu znečištění ovzduší podle německé metodiky TAL [4] uvádíme v podrobné verzi z několika důvodů. Metodika TAL byla vypracována pro podobné klimatické podmínky ve střední Evropě jaké jsou i v České republice. Hlavní zásady dosud platné České metodiky a TALu jsou velmi podobné.

Podstatný rozdíl je v použití stabilitní klasifikace, kdy do TALu je zahrnuta německá typizace podle Kluga a Maniera a v naší metodice používáme naši typizaci podle Bubníka a Koldovského. S tím souvisí i jiné definice rozptylových parametrů a definice větrných růžic.

Nejpodstatnější rozdíl je v použití vzorců pro výpočet převýšení vleček. V TALu jsou uváděny vzorce podle Briggse, v české metodice se počítá podle Priestley - Lucas - Moore - Spurrova vzorce, ale s konstantami stanovenými experimentem prováděným dr. Böhmem v naší republice.

Metoda výpočtu znečištění ovzduší znečišťujícími látkami TAL [4] je založena na základní Gaussovske rovnici, které má pro bodové zdroje tvar

$$C(x,y,z) = \frac{10^6}{3600 \cdot 2\pi} \frac{Q}{u_h \sigma_y \sigma_z} \exp \left[- \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right] \cdot \left[\exp \left[- \frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2} \right] + \exp \left[- \frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right]$$

kde

x, y, z v m kartézské souřadnice referenčního (uzlového), kde osa X míří ve směru větru,
 $C(x,y,z)$ v mg/m^3 koncentrace znečišťující látky v ovzduší,
 z v m výška referenčního bodu nad patou komína,

Q v kg/h emisní hmotnostní tok znečišťující látky ze zdroje, u emisí monooxidu dusíku se bere za základ převodní stupeň 60% monooxidu dusíku k dioxidu dusíku,
 h v m efektivní výška zdroje,
 σ_y, σ_z v m horizontální a vertikální rozptylové parametry,
 u_h v m/s rychlost větru v efektivní výšce komína.

Pro výpočet koncentrací z plošných zdrojů je třeba tyto znázornit jako zdroje bodové.

Výpočet znečištění ovzduší prachem se provádí podle vzorce

$$\begin{aligned}
 C_i(x,y,z) = & \frac{10^6}{3600 \cdot 2\pi} \frac{Q_i}{u_h \sigma_y \sigma_z} \exp \left[- \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right] \cdot \\
 & \cdot \left[\exp \left[- \frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2} \right] + \exp \left[- \frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right] \cdot \\
 & \cdot \exp \left[- \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{V_{di}}{U_h} \int_0^x \frac{1}{\sigma_z(\psi_i)} \cdot \exp \left[- \frac{h^2}{2\sigma_z^2(\psi_i)} \right] d(\psi_i) \right]
 \end{aligned}$$

Výpočet se provádí pro následující kategorie rozdělení podle velikosti částic.

třída	vel.zrna v μm	sedimentační rychlost V_{di} v m/s
$i = 1$	menší než 5	0,001
$i = 2$	od 5 do 10	0,01
$i = 3$	od 10 do 50	0,05
$i = 4$	větší než 50	0,1

Hmotnostní tok emisí Q_i se udává pro každou třídu velikosti částic.

Není-li rozdělení velikosti částic známo, provádí se výpočet s $V_{di} = 0,07$ m/s. V tom případě se za Q_i dosadí celková emise prachu o velikosti zrna menší než 50 μm .

Výpočet spadu se provádí podle vzorce

$$d(x,y) = 86\,400 \sum_{i=1}^4 V_{di} \cdot C_i(x,y,0)$$

Převýšení vlečky \ddot{u} se počítá podle soustavy Briggsových vzorců:

a) labilní vrstvení teplot

(rozptylové třídy IV a V)

$$\ddot{u}_{1a}(x) = 3,34 \cdot M^{1/3} \cdot x^{2/3} \cdot u_H^{-1} \quad (1)$$

$$\text{pro } \ddot{u}_{1a}(x) + H \text{ menší nebo rovno } 1100 \text{ m} \quad (2)$$

Pro M větší než 6 MW platí navíc:

$$x_{\text{max}1a1} = 288 \cdot M^{2/5} \quad (3)$$

$$\ddot{u}_{\text{max}1a1} = 146 \cdot M^{3/5} \cdot u_H^{-1} \quad (4)$$

$$\text{pro } \ddot{u}_{\text{max}1a1} + H \text{ menší nebo rovno } 1100 \text{ m} \quad (5)$$

Pro M menší nebo rovno 6 MW platí navíc:

$$x_{\text{max}1a2} = 195 \cdot M^{5/8} \quad (6)$$

$$\ddot{u}_{\text{max}1a2} = 112 \cdot M^{3/4} \cdot u_H^{-1} \quad (7)$$

$$\text{pro } \ddot{u}_{\text{max}1a2} + H \text{ menší nebo rovno } 1100 \text{ m} \quad (8)$$

b) neutrální teplotní vrstvení

(rozptylové třídy III/1 a III/2)

$$\ddot{u}_n(x) = 2,84 \cdot M^{1/3} \cdot x^{2/3} \cdot u_H^{-1} \quad (9)$$

$$\text{pro } \ddot{u}_n(x) + H \text{ menší nebo rovno } 800 \text{ m} \quad (10)$$

Pro M větší než 6 MW platí navíc:

$$x_{\text{max}n1} = 210 \cdot M^{2/5} \quad (11)$$

$$\ddot{u}_{\text{max}n1} = 102 \cdot M^{3/5} \cdot u_H^{-1} \quad (12)$$

$$\text{pro } \ddot{u}_{\text{max}n1} + H \text{ menší nebo rovno } 800 \text{ m} \quad (13)$$

Pro M menší nebo rovno 6 MW platí navíc:

$$x_{\max n2} = 142 \cdot M^{5/8} \quad (14)$$

$$\ddot{u}_{\max n2} = 78,4 \cdot M^{3/4} \cdot u_H^{-1} \quad (15)$$

$$\ddot{u}_{\max n2} + H \text{ menší nebo rovno } 800 \text{ m} \quad (16)$$

c) stabilní teplotní vrstvení

(rozptylové třídy I a II)

$$\ddot{u}_{st}(x) = 3,34 \cdot M^{1/3} \cdot x^{2/3} \cdot u_H^{-1} \quad (17)$$

Pro rozptylovou třídu I platí navíc:

$$x_{\max st1} = 104 \cdot u_H \quad (18)$$

$$\ddot{u}_{\max st1} = 74,4 \cdot M^{1/3} \cdot u_H^{-1/3} \quad (19)$$

Pro rozptylovou třídu II platí navíc:

$$x_{\max st2} = 127 \cdot u_H \quad (20)$$

$$\ddot{u}_{\max st2} = 85,2 \cdot M^{1/3} \cdot u_H^{-1/3} \quad (21)$$

Převýšení vlečky vypočítané podle jedné z rovnic (17), (19) nebo (21) se porovná s odpovídající hodnotou převýšení pro neutrální teplotní vrstvení podle bodu b). Přitom se vypočítá rychlost větru u ústí komína pro neutrální teplotní vrstvení. Nižší z obou hodnot je převýšení.

Emitovaný tepelný tok M v MW se vypočítá podle následujícího vzorce:

$$M = 1,36 \cdot 10^{-3} \cdot R \cdot (T-283) \quad (22)$$

kde M v MW je tepelný tok,

R v m³/s - objemový tok spalin za normálních podmínek.

Nejsou-li výstupní podmínky emisí podrobně známy, bere se stavební výška komína H emisního zdroje za efektivní výšku zdroje h.

V metodice se používá stabilitní klasifikace podle

Kluga a Maniera. Tato klasifikace rozlišuje dvě třídy labilní, dvě neutrální a dvě stabilní.

Rozptylové parametry se definují následovně

$$\sigma_y = Fx^f, \sigma_z = Gx^g$$

Číselné hodnoty koeficientů F a G jakož i exponenty f a g vyplývají z následujících tabulek:

a) pro efektivní výšky zdroje h nad 150 m:

rozpt.třída		F	f	G	g
V	velmi labilní	0,40	0,91	0,41	0,91
IV	labilní	0,40	0,91	0,41	0,91
III/2	neutrální	0,36	0,86	0,33	0,86
III/1	neutrální	0,32	0,78	0,22	0,78
II	stabilní	0,31	0,71	0,06	0,71
I	velmi stabilní	0,31	0,71	0,06	0,71

b) pro efektivní výšky zdroje h 100 m:

rozpt.třída		F	f	G	g
V	velmi labilní	0,170	1,296	0,051	1,317
IV	labilní	0,324	1,025	0,070	1,151
III/2	neutrální	0,466	0,866	0,137	0,985
III/1	neutrální	0,504	0,818	0,265	0,818
II	stabilní	0,411	0,882	0,487	0,652
I	velmi stabilní	0,253	1,057	0,717	0,486

c) pro efektivní výšky zdroje pod 50 m:

rozpt.třída		F	f	G	g
V	velmi labilní	1,503	0,833	0,151	1,219
IV	labilní	0,876	0,823	0,127	1,108
III/2	neutrální	0,659	0,807	0,165	0,996
III/1	neutrální	0,640	0,784	0,215	0,885
II	stabilní	0,801	0,754	0,264	0,774
I	velmi stabilní	1,294	0,718	0,241	0,662

Pro efektivní výšky zdrojů od 50 m do 100 m jakož i od 100 m do 150 m se provádí logaritmická interpolace mezi udanými hodnotami pro F a G a lineární interpolace mezi hodnotami f a g .

V každé stabilitní třídě se stanovuje větrná růžice pro 36 směrů a 9 tříd rychlosti. Třídy rychlosti větru jsou definovány následovně.

u_a v m/s	vypočtená hodnota u_R v m/s
menší než 1,4	1
1,4 - 1,8	1,5
1,9 - 2,3	2
2,4 - 3,8	3
3,9 - 5,4	4,5
5,5 - 6,9	6
7,0 - 8,4	7,5
8,5 - 10,0	9
větší než 10,0	12

Rychlost větru u_h dosazovaná do vzorců pro výpočet koncentrací plyných a pevných znečišťujících látek se získává z vypočtené hodnoty u_R takto:

$$u_h = u_R \left[\frac{h}{z_a} \right]^m$$

kde z_a v m je výška měření větru nad povrchem země.

Rychlost větru u_H dosazovaná pro výpočet efektivní výšky zdroje h se stanovuje z vypočtené hodnoty u_R podle vzorce V takto:

$$u_H = u_R \left[\frac{H}{z_a} \right]^m$$

Pro stavební výšky komína H resp. pro efektivní výšky zdrojů h vyšší než 200 m se rychlost větru u_H resp. u_h stanoví pro výšku rovnou hodnotě 200 m.

Pro každou rozptylovou třídu se dosazuje m takto:

rozptylová třída	m
V	0,09
IV	0,20
III/2	0,22
III/1	0,28
II	0,37
I	0,42

Případy s rychlostmi větru menšími nebo rovnými 0,5 m/s se zařazují v každé rozptylové třídě jako případy s rychlostí větru 1,5 m/s. Rozdělení do směrových sektorů se provádí podle rozdělení při rychlosti 1,5 m/s.

Výšky komínů pro jednotlivé zdroje se stanovují pomocí nomogramu. Jako vstupní data jsou potřeba vnitřní průměr komína, teplota spalin v ústí komína, objemový tok spalin za normálních podmínek, hmotnostní tok emisí a tzv. faktor stanovení výšky komína S. Faktor S závisí na druhu znečišťující látky a pohybuje se od 0,0001 do 0,15, pro oxid uhelnatý má dokonce hodnotu 15. Tento faktor zřejmě supluje naše imisní limity. V metodice jsou dále nepřímo prostřednictvím VDI zahrnuty i korekce na zástavbu a zvlněný terén.

Z obecných pravidel citujeme vybrané. Komín má mít výšku nejméně 10 m nad terénem, hřeben střechy má komín přesahovat nejméně o 3 m. Při sklonu střechy menším než 20° se přepočítává výška jakoby sklon byl 20° . Výška komína by neměla překročit dvojnásobek výšky budovy. Obecně nemá být výška komína větší než 250 m.

V případě překračování imisních limitů se má nastalá situace nejprve řešit změnou technických parametrů zdroje a teprve potom zvyšováním výšky komína. Vychází-li z nomogramu výška větší než 200 m, pak je třeba uplatnit další možná opatření na omezení emisí.

4 MODELÝ US EPA, DOSTUPNÉ V ČESKÉ REPUBLICE.

Matematické modelování šíření znečišťujících látek v atmosféře se v tuzemských podmínkách začalo v intenzivnější míře využívat v sedmdesátých letech, během nichž byla vypracována dosud používaná metodika výpočtu znečištění ovzduší pro stanovení technických parametrů zdrojů. Rozšíření kontaktů s vyspělými státy umožnilo dříve těžko uskutečnitelný přístup k informacím o praktickém využívání modelových postupů, které sice byly popsány v odborné literatuře, ovšem s vynecháním řady "z čistě vědeckého hlediska" nezajímavých aplikačních detailů.

Po navázání kontaktů s US EPA zpřístupnila tato agentura domácím odborníkům podrobnou dokumentaci a programové vybavení některých osvědčených modelů, které jsou v USA běžně používány pro výpočty polí koncentrací znečišťujících látek v okolí zdrojů. Agentura předala české straně gaussovské modely SCREEN, ISCST, SHORTZ, RAM, ISCLT, LONGZ a model EKMA pro fotochemické látky ve městech.

Společně s tím byly získány programy pro předzpracování vstupních meteorologických dat PCARAMMET, MET144, STAR a program pro dodatečnou korekci modelových výstupů na složitý terén POSTIT. Úvahy o způsobu využití takto získaného informačního potenciálu se ubíraly ve dvou směrech a vycházely z porovnání amerických a domácích přístupů.

Dříve zmíněné disperzní modely pro nereaktivní příměsi vycházejí shodně s postupy používanými v ČR z gaussovské aproximace a zejména modely pro výpočet dlouhodobých průměrů ISCLT a LONGZ jsou s domácími do značné míry srovnatelné. Od čs. modelů se výrazně liší použitím Briggsových vztahů pro výpočet vlnosy vleček a stabilitní klasifikací. Ve srovnání s domácími modelovými prostředky jsou značně propracovanější modely pro výpočet krátkodobých charakteristik ve složitém terénu a městské zástavbě. Procedury umožňující postihnout specifika komplexu široké palety zdrojů ve složitém terénu

a v podmínkách zástavby jsou propojeny do uceleného systému, zatímco výsledky domácího úsilí na tomto poli dosud existují v podobě dílčích produktů. Inspirativní je dokonalá návaznost na databáze meteorologických parametrů, která se v domácích podmínkách teprve začala vytvářet.

Pro model EKMA v současné době neexistuje v domácích podmínkách srovnatelný ekvivalent, avšak jeho využití u nás dosud naráží na nedostatečné emisní inventury.

Pro využití získaných modelů se nabízejí dvě cesty:

- bezvýhradné převzetí bez dalších úprav
- využití jako zdroje inspirace, zejména jako vzoru koncepčního a systémového postupu, převzetí těch částí, pro něž dosud není, měřeno současnými zahraničními i domácími poznatky, rovnocenná náhrada.

Rozhodnutí pro první přístup implikuje potřebu upravit rozsáhlé datové soubory vstupních meteorologických parametrů podle amerických regulí tak, aby byly "stravitelné" pro meteorologické preprocesory modelů. Totéž by bylo nutno provést u inventur emisí.

Další inovace modelových prostředků by byla spojena se zásahy do zdrojových textů programů, což v řadě případů bývá zdoluhavější postup než vytvoření programu nového.

Druhý přístup umožňuje, při předcházejícím vymezení cílového stavu, vylepšovat domácí modelové produkty postupně, v návaznosti na vytváření podpůrných databázových systémů, zužitkovat domácí zkušenosti (zejména stabilitní klasifikaci) a budovat flexibilní integrovaný systém, otevřený nejnovějším poznatkům a napojený na systémy evropských států takové kategorie, kterou reprezentuje například švédský systém INDIC Airviro.

Žádný model neodráží realitu stoprocentně dokonale. Míra přiblížení k realitě je závislá na kvalitě použitého modelu a na správném způsobu jeho použití. Tím je následně ovlivněna správnost rozhodnutí, pro něž byly modelové

výstupy použity jako podklady. Pro získané materiály US EPA je typická mimo jiné rovněž snaha zajistit v maximální možné míře jednotný a správný postup aplikace modelů tak aby byly splněny podmínky, odpovídající modelovým předpokladům. Podrobná dokumentace, která je v USA vedena o každém modelu, který z oblasti vědeckého výzkumu vstoupil do aplikačního stadia, zabezpečuje, že pro řešení konkrétního problému nebude vybrán model, který se pro řešený problém nehodí či že při nevhodné manipulaci s jinak dobře vybraným modelem budou získány chybné závěry. Vedle poznatků, získaných o modelových postupech samotných, je pro domácí podmínky velmi inspirativní i vytvoření a dodržování takovýchto pravidel, jak s modelovými nástroji zacházet.

Při stručném popisu modelů, která US EPA dala k dispozici domácím odborníkům, a které jsou do jisté míry srovnatelné s domácími postupy, dodržíme členění, které v podstatě odpovídá schématu, použitému při tvorbě dokumentace k těmto modelům:

- * Název a stručná charakteristika modelu
- * Doporučený okruh použití
- * Požadavky na vstupy
- * Typy výstupů
- * Použitý popis transportu a rozptylu znečišťujících látek, způsob zahrnutí meteorologických parametrů
- * Zahrnutí chemické transformace látek během přenosu a depozice na zemském povrchu
- * Porovnávací studie nebo verifikace modelu, pokud byly provedeny.

4.1 Model SCREEN

je gaussovský model určený pro stanovení maximálně možných koncentrací v závětrří jednoho bodového nebo plošného zdroje v rovinném i složitém terénu. Model je koncipován tak, aby spíše přeceňoval předpovězené koncentrace ve srovnání se

složitějšími modely.

Model je použitelný pro odhad maximálního možného impaktu jednoho zdroje. Umožňuje výpočet maximálních hodinových koncentrací a pomocí převodních faktorů i přepočet pro maximální 24 hodinové koncentrace. Je použitelný i pro vzdálenosti menší než 100 m od zdroje. Může být použit pro složitý terén, kde se vlečka dostává do kontaktu s terénem a umožňuje zahrnout závětrné efekty v okolí budov. Je určen především pro transportní vzdálenosti do 50 km.

Vstupní data jsou zaváděna interaktivně. Požadují se podrobné emisní údaje: výška komína, průměr komína, výstupní rychlost spalin, teplota spalin a intenzita emise. Pro plošný zdroj, který se aproximuje jako čtvercová plocha, se zadává délka strany čtverce. Z meteorologických dat se zavádí pouze teplota. Volbu ostatních parametrů provádí program tak, aby byla stanovena kombinace odpovídající nejhoršímu případu maximálních koncentrací. Je rovněž možno volit výpočet pro jednotlivé třídy stability nebo kombinace třídy stability a rychlosti větru.

Ve výstupních sestavách jsou rekapitulována nastavení klíčů, ovládajících chod výpočtu a zadaná vstupní data. Vypočtené očekávané maximální hodnoty koncentrací jsou tabelovány v závislosti na vzdálenosti od zdroje buď pro kombinace meteorologických parametrů zabudovaných v programu nebo zadané uživatelem.

Rozptyl příměsí v horizontální i vertikálním směru je popsán standardním gaussovským algoritmem. Směrodatné odchylky závisí na třídě stability (podle Pasquilla a Gifforda) a charakteru podkladu. Je zaveden exponenciální profil rychlosti větru, exponenty závisí na třídě stability a charakteru podkladu (město/volná krajina). Neuvažuje se stáčení větru s výškou. Jsou použity Briggsovy vztahy pro stanovení efektivní výšky zdrojů. Předpokládá se plný odraz

vlečky na zemském povrchu i na horní hranici vrstvy směšování. Model umožňuje simulovat řadu efektů jak zadýmování, srážení strhávání vleček z ústí komína, kumulaci substance ve vírech v závětrí budov, změny charakteru podkladu např. na rozhraní vodní plochy a pevniny.

Pro potřeby screeningových odhadů se záměrně neuvažuje modelovaných koncentrací v důsledku transformace a depozice.

Jsou citovány studie, zabývající se kvalitou modelu.

4.2 Model RAM

je stacionární gaussovský vlečkový model model pro výpočet koncentrací relativně stabilních znečišťujících látek z bodových a plošných zdrojů městské zástavbě i ve volné krajině. Předpokládá se rovinný terén, opravy na složitý terén nejsou zabudovány. Výpočty se provádějí pro jednotlivé hodiny.

Model je doporučen především pro odhady příspěvků bodových a plošných zdrojů pro krátké průměrovací časy (od jedné hodiny do jednoho dne, časový interval 1 rok jako krajní případ). Transporní vzdálenosti jsou omezeny hodnotou 50 km, model se používá pouze pro plochý nebo mírně zvlněný terén. Model je použitelný pro vyhodnocení účinků krátkodobých regulačních zásahů do struktury emisí pro ne městskou a přilehlou venkovskou oblast, případně na její specifikovanou část.

Vstupní data jsou zaváděna ve formě externího souboru. Požaduje se podrobná emisní inventura: souřadnice zdrojů, výšky komínů, průměr komínů, výstupní rychlost spalín, teplota spalín a intenzita emise - všechny údaje jako hodinové hodnoty. Je možno zavést údaje maximálně pro 250 bodových a 100 plošných zdrojů. Pro každou hodinu se dále požadují vstupní data o směru a rychlosti větru, teplotě,

třídě stability a výšce směšovací vrstvy, vše reprezentativní pro oblast zahrnující zdroje i referenční body pro výpočet.

Modelové výstupy mohou být členěny do tří sekcí. Prvá sekce rekapituluje nastavení parametrů pro řízení modelového výpočtu. Ve druhé sekci jsou sumarizovány použité vstupní údaje o zdrojích a meteorologických podmínkách. Třetí část obsahuje tabulky vypočtených hodinových koncentrací a jejich průměry za zadané období. Uvádějí se příspěvky význačných zdrojů a sumární koncentrace pro referenční body.

Rozptyl příměsí v horizontální i vertikálním směru je popsán standardním gaussovským algoritmem. Směrodatné odchylky závisí na třídě stability (podle Pasquilla a Gifforda) a charakteru podkladu. Směr a rychlost přenosu vleček jsou určeny hodinovými průměry směru a rychlosti větru. Je zaveden exponenciální profil rychlosti větru, exponenty závisí na třídě stability a charakteru podkladu (město/volná krajina). Neuvažuje se stáčení větru s výškou. Jsou použity Briggsovy vztahy pro stanovení efektivní výšky zdrojů. Předpokládá se plný odraz vlečky na zemském povrchu i na horní hranici vrstvy směšování. Není možno simulovat zadýmování (fumigation).

Transformace a depozice jsou aproximovány exponenciálním poklesem koncentrace s časem. Parametr závislosti je konstantní pro celou vlečku a neměnný v čase.

V dokumentaci jsou citovány porovnávací studie, testující kvalitu modelu.

4.3 Modely ISCST, ISCLT

Jsou stacionární gaussové modely pro odhad koncentrací od široké palety bodových, plošných, liniových a objemových zdrojů, zahrnutých v průmyslovém komplexu. Umožňují výpočet

krátkodobých koncentrací (ISCST, ST - short time) a dlouhodobých (ročních nebo sezónních) průměrů (ISCLT, LT - long time). Dlouhodobé průměry nejsou stanoveny integrací hodinových příspěvků, nýbrž jsou počítány na základě průměrovaných vstupních dat, připravených preprocesorem STAR.

Model je vhodný pro průmyslové komplexy v městské zástavbě i volné krajině, pro plochý nebo lehce zvlněný terén. Transportní vzdálenosti jsou předpokládány pod 50 km.

Vstupní data jsou zaváděna ve formě externího souboru. Požaduje se podrobná emisní inventura: souřadnice zdrojů, rozměry zdrojů všech typů, výšky komínů, průměr komínů, výstupní rychlost spalín, teplota spalín a intenzita emise. Údaje mohou být konstantní nebo časově proměnné. Pro každou hodinu se dále požadují vstupní data o směru a rychlosti větru, teplotě, teplotním gradientu, třídě stability a výšce směšovací vrstvy, vše reprezentativní pro oblast zahrnující zdroje i referenční body pro výpočet. Pro verzi ICLT jsou hodinová data zprůměrována preprocesorem. Emisní vstupy pro LT verzi mohou být buď konstantní nebo měněny v závislosti na sezóně nebo rychlosti větru.

Model ISCST generuje 5 kategorií tištěných výstupů, případně mohou data vystupovat v podobě diskového souboru. Tištěné sestavy obsahují: rekapitulaci zadaných údajů, tabulky průměrných denních koncentrací nebo celkových depozic, tytéž údaje průměrované za zadaný počet dnů, tabulky tří prvních nejvyšších spočtených průměrných hodnot koncentrace nebo depozice a tabulky pro 50 nejvyšších zjištěných průměrných hodnot s údajem, na kterém referenčním bodě a pro jaký čas byly stanoveny. Tyto sestavy jsou k dispozici pro všechny uživatelem zadané kombinace časových intervalů a skupiny zdrojů.

Model ISCL generuje 11 typů výstupních sestav: vstupní data

o zdrojích, ostatní vstupní data, sezónní průměry koncentrací (depozic) od jednotlivých zdrojů, tytéž údaje pro kombinace zdrojů, roční průměry koncentrací (depozic) pro individuální zdroje a jejich kombinace, prvních 10 nejvyšších sezónních průměrů pro jednotlivé zdroje a jejich kombinace, tytéž údaje pro roční období a tabulku varovných a chybových hlášení.

Popis transportu a rozptylu je v zásadě shodný jako u modelu SCREEN s tím, že pro zahrnutí závětrných efektů jsou použity zdokonalené dílčí algoritmy. Není možné simulovat zadýmování a změny vlivu podkladu.

Spad tuhých částic a suchá depozice jsou v modelu zabudovány.

V dokumentaci jsou odkazy na celou řadu srovnávacích a hodnotících studií.

4.4 Modely SHORTZ, LONGZ

jsou gaussovského typu, určené pro výpočet koncentrací za nastavený počet hodin nebo pro zadané delší období (LONGZ). Model SHORTZ může být provozován až pro 300 individuálně umístěných komínů, budov nebo plošných zdrojů, model LONGZ až pro 14 000 takových zdrojů. Výsledky jsou uváděny pro jednotlivé zdroje, vybrané skupiny zdrojů a jako suma všech příspěvků pro každý zvolený referenční bod.

Modely mají velmi shodnou koncepci s oběma předešlými, liší se v některých dílčích parametizacích. Podstatným rozdílem je, že na rozdíl od modelů ISCST a ISCLT zahrnují postupy pro zohlednění složitého terénu. V předpisech EPA jsou považovány za alternativní modely a jejich použití se doporučuje v případě, že se dá prokázat, že dávají lepší výsledky než primární modely ISCST a ISCLT.

5 NĚKTERÉ SPECIÁLNÍ MODELOVÉ POSTUPY

5.1 Norské modely

Metoda KILDER z Norwegian Institute for Air Research, Lillestrøm, (pořadové číslo 72 z [1]) je založena na Gaussovské distribuci koncentrací a platí pro bodové a plošné zdroje. Model je kvasistacionární a platí pro inertní plyny. Pro bodové zdroje se používá úplná Gaussovská rovnice, pro plošné zdroje se definuje virtuální bodový zdroj s rozptylovými parametry

$$\Sigma_Y = A \cdot (X + X_Y)^P, \quad \Sigma_Z = A \cdot (X + X_Z)^P,$$

kde

$$X_Y = \left[\frac{b}{4,3 B} \right]^{1/P}, \quad X_Z = \left[\frac{h}{4,3 B} \right]^{1/r},$$

b je šířka plošného zdroje a h výška plošného zdroje.

Efektivní výšku zdroje počítají podle upraveného Hollandova vzorce. Pro labilní a neutrální zvrstvení má tvar

$$Q_H < 2 \cdot 10^5 : \delta h = \frac{1}{u} \left[1,5 \cdot d \cdot v_g + 4 \cdot 10^{-5} \cdot Q_H \right]$$

$$2 \cdot 10^5 < Q_H < 7 \cdot 10^6 : \delta h = \frac{1}{u} \left[1,5 \cdot d \cdot v_g + 5 \cdot d^{3/2} \cdot \left[\frac{T_s - T}{T_s} \right]^{1/4} \right]$$

$$Q_H > 7 \cdot 10^6 : \delta h = \frac{F^{1/3}}{u} (10 \cdot h_s)^{2/3}.$$

Pro stabilní zvrstvení

$$\delta h = 2,9 \left[\frac{F}{u \cdot s} \right]^{1/3}$$

$$\text{kde } s = \frac{g}{T} \frac{\delta \theta}{\delta z}, \quad F = g \cdot v_g \cdot (d/2)^2 \cdot \delta T / T_s,$$

Q_H je tepelná emise v cal/s.

Výpočet se provádí v 12 třídách směru větru, 4 třídách stability (2 stabilní, 1 neutrální a 1 labilní). Třídy stability jsou stanovovány podle změn potenciální teploty s výškou. Vektor větru je konstantní s výškou.

5.2 Švýcarské modely

Model POLLUX, který byl vypracován v Société d'Etude de l'Environnement ve Vevey ve Švýcarsku (pořadové číslo 113 v [1]), je difúzním modelem Gaussova typu pro bodové a plošné zdroje. Výpočtová rovnice je klasická Gaussovská rovnice.

Převýšení kouřové vlečky pro bodové zdroje je

$$\delta h = E/u^n,$$

kde $n = 1$ pro labilní a neutrální zvrstvení atmosféry a
 $n = 1/3$ pro stabilní zvrstvení atmosféry a
 E je funkce podle Briggse.

Pro plošné zdroje platí

$$\delta h = \frac{E}{u} \frac{1}{1 + (u/u_c)^v}$$

kde $u_c = 3 \text{ m/s}$ a $v = 2$.

Metoda uvažuje též možnost průniku vlečky inverzní vrstvou. V metodě je definován parametr β , kterým se násobí tepelná vydatnost zdroje. Platí

$$\begin{aligned}\beta &= 1 && \text{pro } H \geq h_0 + 1,5 \delta h_m \\ \beta &= (H - h_0 - (1/2) \cdot \delta h_m) / \delta h_m && \text{pro } H < h_0 + 1,5 \delta h_m\end{aligned}$$

kde $\delta h_m = (1/2) \cdot (\delta h_{\text{neutral}} + \delta h_{\text{velmi stabilni}})$,
 H je výška inverze a
 h_0 - výška komína.

Vertikální profil větru uvažuje mocninový. Rozptylové parametry autoři definují pomocí Suttonova vztahu mezi směrodatnými odchylkami a Suttonovými parametry C_y a C_z , avšak uvažují různé hodnoty meteorologického parametru ve směru os y a z .

V popisu tohoto modelu není zmínka o výpočtu v nerovném terénu, přestože Gaussovský vzorec je uváděn k kompletním tvaru zahrnující i vertikální souřadnici.

V jiné metodě SULFAT od MotorColumbus, Ingenieurunternehmung AG, Baden ve Švýcarsku (pořadové číslo 164 z [1]) se obecně tvrdí, že terén je zahrnut pomocí koeficientu drsnosti v každém sektoru větru. Autoři používají stabilitní klasifikaci Pasquill - Gifford nebo Klug - Manier. Jinou předností metody je zahrnutí chemických transformací sloučenin síry a dusíku.

5.3 Modely Spojeného království

Metoda WSLM-1 Warren Laboratory, Stevenage, Hartfordsh (pořadové číslo 180 z [1]) je Gaussovský model platný pro rovinný terén.

Výpočtová rovnice obsahuje dva členy s odrazem.

$$C = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u} \cdot \exp\left[-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_y^2}\right] \cdot \left[\exp\left[-\frac{h^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right] + \right. \\ \left. + \exp\left[-\frac{(2L+h)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(2L-h)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right] \right],$$

kde L je výška směšovací vrstvy,

h - efektivní výška zdroje,

Q - hmotnostní tok emisí.

Efektivní výšky zdrojů se počítají podle vzorců Briggse. Vertikální profil rychlosti větru je exponenciální, přičemž od země do výšky 10 m je rychlost větru konstantní.

Vertikální rozptylový parametr σ_z je definován jako exponenciální funkce

$$\sigma_z = \sigma_{z0} + A \cdot x^B.$$

Hodnoty konstant A a B jsou definovány jako lineární logaritmické funkce závisující na stabilitě ovzduší a drsnosti zemského povrchu. Hodnota parametru σ_{z0} se aproximuje podle charakteru zástavby nebo charakteru zvlnění terénu.

5.4 Modelování terénu ve vybraných amerických modelech

Poněkud podrobněji se terénem zabývá metodika BLP (pořadové číslo 22 z [1]). Tato metodika byla vypracována v Environmental Research and Technology z Concord v USA.

Autoři zavádí korekci na efektivní výšku terénu. Tu definuje následovně

$$h_C = (1 - T) \cdot (\text{minimum } \{h_S + \delta h, E_R - E_P\})$$

kde h_C je korekční faktor efektivní výšky,

T - "plume path coefficient",

h_S - stavební výška komína,

E_R - nadmořská výška referenčního bodu a

E_P - nadmořská výška paty komína.

Korigovaná efektivní výška zdroje na terén je následující

$$H = H_0 - h_C,$$

kde H_0 je původní efektivní výška zdroje nad patou komína.

Koeficient T závisí na stabilitě ovzduší, avšak v popisu metody v podkladu [1] není tato závislost uvedena. Pro grafický příklad však autoři použili hodnotu $T = 0,5$. To znamená, že pro kopce nižší než je původní efektivní výška se výška vlečky nad patou komína zvětšuje o polovinu převýšení kopce nad patou komína. Pro kopce vyšší než je efektivní výška zdroje, je výška vlečky nad patou komína rovna výšce převýšení kopce nad patou komína zvětšené o polovinu původní efektivní výšky.

Poznámka autora řešerše. Z plachtařské praxe (podle osobního sdělení plachtařů) vyplývá, že hodnota 0,5 platí pro neutrální a labilní zvrstvení. Je logické, že pro stabilní zvrstvení bude hodnota koeficientu T menší než 0,5 a při velmi stabilním zvrstvení se bude velmi rychle blížit k číslu jen málo většímu než je nula.

Jiná americká metoda VALLEY (USEPA, Research Triangle Park - pořadové číslo 176 z [1]) uvažuje, že vlečka za labilních a neutrálních podmínek sleduje terén, to znamená, že výška vlečky nad terénem je stále stejná. Za stabilních podmínek však model předpokládá, že výška vlečky nad patou komína je konstantní a při výšce terénu větší než je

efektivní výška zdroje se vlečka přiblíží k terénu na pouhou vertikální vzdálenost 10 m. Po svahu však vlečka vystoupí maximálně do výšky 400 m nad původní efektivní výšku zdroje.

Pro výpočet efektivní výšky vleček používají Briggsovy vzorce, pro výpočet efektivní výšky plošných zdrojů vzorec

$$\delta h = \frac{5h (1 - f)}{uh},$$

kde h je výška komína a f je faktor menší než 1, který reprezentuje stavební výšky komínů v plošném zdroji. Pro $f = 1$ je efektivní výška zdroje rovna stavební výšce komína.

V metodě se předpokládá konstantní rychlost větru s výškou. Hodnoty σ_z jsou počítány podle Pasquilla a Gifforda.

Platí

$$\sigma_z = ax_p^b + d$$

kde hodnoty a, b a d jsou konstanty závislé na stabilitě a definované ve třech vzdálenostních třídách.

Pro plošné zdroje platí

$$\sigma_{zt} = (\sigma_z^2 + \sigma_{zo}^2)^{1/2}, \text{ kde } \sigma_{zo} = 50 - h.$$

Metoda má řadu omezení. Podrobnosti jsou uvedeny v citované literatuře.

6 LITERATURA

- [1] Szepesi,D.J.: Copmendium of Regulatory Air Quality Simulation Models. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1989.
- [2] Pasquill,F.: Atmosferic Diffusion, London, 1962
- [3] Bubník.J., Stará,J. + kol.: Přehled problematiky šíření plynných exhalátů v přízemní vrstvě atmosféry. Státní úkol P-16-321-231. Terplán - MFF UK - ČHMÚ, Praha, 1976.
- [4] Dieter,J.: Die neue TA Luft. Stand Februar 1993. WEKA, Augsburg.