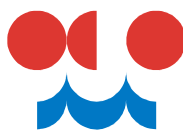


ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV



SYMOS'97

System modelování stacionárních zdrojů

Metodická příručka



Praha 1998
aktualizace únor 2014

Autoři:

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV PRAHA

RNDr. Jiří Bubník

RNDr. Josef Keder, CSc.

RNDr. Jan Macoun, Ph.D.

EKOAIR PRAHA

RNDr. Jan Maňák

ATEM (kap. 4.6.3)

Mgr. Radek Jareš

Mgr. Jan Karel

Bc. Eva Smolová

Úprava metodiky SYMOS'97 (r. 2013):

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV PRAHA

Ing. Marek Hladík

Ing. Lenka Janatová

Bc. Hana Škáchová

Mgr. Ondřej Vlček

© Jiří Bubník, Josef Keder, Jan Macoun, Jan Maňák

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| SEZNAM TABULEK..... | iv |
| 1. ÚVOD..... | 1 |
| 1.1 Interpretace výsledků výpočtu hlavních charakteristik znečištění ovzduší..... | 2 |
| 1.2 Úpravy metodiky | 2 |
| 2. VSTUPNÍ ÚDAJE | 4 |
| 2.1 Vstupní údaje o zdrojích | 4 |
| 2.1.1 Bodové zdroje | 4 |
| 2.1.2 Plošné zdroje | 8 |
| 2.1.3 Liniové zdroje | 9 |
| 2.1.4 Výpočet znečištění ovzduší při klidu a inverzích | 10 |
| 2.1.5 Chladicí věže tepelných elektráren | 10 |
| 2.1.6 Podrobný výpočet doby trvání znečištění pro jeden zdroj | 11 |
| 2.1.7 Procentuální zastoupení PM10 a PM2,5 v emisích tuhých znečišťujících látek | 11 |
| 2.2 Meteorologické a klimatické vstupní údaje | 11 |
| 2.2.1 Klimatické údaje pro běžné výpočty znečištění ovzduší | 11 |
| 2.2.2 Údaje pro výpočet imisních koncentrací za inverzí a bezvětří | 13 |
| 2.2.3 Klimatické údaje pro výpočet znečištění ovzduší od chladících věží..... | 13 |
| 2.3 Údaje o referenčních bodech, terénu a budovách..... | 15 |
| 2.3.1 Údaje o referenčních bodech | 15 |
| 2.3.2 Údaje o topografii terénu | 15 |
| 2.3.3 Údaje pro výpočet znečištění v zástavbě | 15 |
| 2.3.4 Údaje pro výpočet znečištění při bezvětří a inverzích | 16 |
| 2.4 Údaje o imisních limitech a přípustných imisních koncentracích znečišťujících látek | 16 |
| 3. METODIKA VÝPOČTU ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ | 17 |
| 3.1 Základní rovnice pro výpočet znečištění ovzduší pro zvlněný terén..... | 17 |
| 3.1.1 Plynné znečišťující látky | 18 |
| 3.1.1.1 Výpočet přízemní imisní koncentrace plynné znečišťující látky z bodového zdroje | 19 |
| 3.1.1.2 Výpočet přízemní imisní koncentrace plynné znečišťující látky z plošného zdroje | 19 |
| 3.1.1.3 Výpočet přízemní imisní koncentrace plynné znečišťující látky z liniového zdroje..... | 20 |
| 3.1.2 Pevné znečišťující látky | 20 |
| 3.1.2.1 Výpočet přízemní imisní koncentrace pevné znečišťující látky z bodového zdroje | 21 |
| 3.1.2.2 Výpočet přízemní imisní koncentrace pevné znečišťující látky z plošného zdroje | 22 |
| 3.1.2.3 Výpočet přízemní imisní koncentrace pevné znečišťující látky z liniového zdroje..... | 22 |
| 3.2 Definice jednotlivých proměnných a parametrů..... | 22 |
| 3.2.1 Souřadná soustava souřadnic | 22 |
| 3.2.1.1 Horizontální souřadnice..... | 22 |
| 3.2.1.2 Vertikální souřadnice..... | 23 |
| 3.2.2 Koeficient vlivu terénu | 23 |
| 3.2.3 Efektivní výška zdroje..... | 24 |
| 3.2.3.1 Základní výpočet pro jednotlivý zdroj..... | 24 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.2.3.2 | Převýšení vlečky v případě více blízkých zdrojů | 25 |
| 3.2.4 | Rychlost a směr větru..... | 27 |
| 3.2.4.1 | Vertikální profil větru..... | 27 |
| 3.2.4.2 | Změna směru větru s výškou | 28 |
| 3.2.5 | Rozptylové parametry | 28 |
| 3.2.5.1 | Rozptylové parametry pro bodové zdroje..... | 28 |
| 3.2.5.2 | Rozptylové parametry pro plošné zdroje..... | 29 |
| 3.2.5.3 | Rozptylové parametry pro liniové zdroje | 29 |
| 3.2.6 | Zahrnutí depozice a transformace znečišťujících látek | 31 |
| 3.2.7 | Zeslabení vlivu nízkých zdrojů na znečištění ovzduší na horách | 32 |
| 3.2.8 | Pádová rychlost prašných částic | 33 |
| 3.3 | Výpočet hlavních charakteristik znečištění ovzduší..... | 33 |
| 3.3.1 | Výpočet maximálních krátkodobých imisních koncentrací..... | 33 |
| 3.3.2 | Výpočet průměrných ročních imisních koncentrací | 35 |
| 3.3.3 | Výpočet doby překročení zvolených imisních koncentrací | 36 |
| 4. | DALŠÍ APLIKACE VÝPOČTU ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ | 38 |
| 4.1 | Stanovení výšky komína nebo výduchu (dále jen komína) | 38 |
| 4.1.1 | Stanovení výšky komína v terénu | 38 |
| 4.1.2 | Korekce vypočtené výšky komína na okolní zástavbu | 38 |
| 4.1.3 | Obecná pravidla | 39 |
| 4.2 | Výpočet spadu prachu | 39 |
| 4.2.1 | Spad prachu pro bodový zdroj | 39 |
| 4.2.2 | Spad prachu pro plošný zdroj | 40 |
| 4.2.3 | Spad prachu pro liniový zdroj..... | 40 |
| 4.2.4 | Roční spad znečišťující látky..... | 40 |
| 4.2.5 | Měsíční spad znečišťující látky | 41 |
| 4.3 | Výpočet podílů jednotlivých zdrojů na znečištění ovzduší..... | 41 |
| 4.4 | Výpočet doby překročení zvolených imisních koncentrací pro zdroj se sezónně proměnnou emisí | 42 |
| 4.5 | Výpočet imisních koncentrací NO₂..... | 43 |
| 4.6 | Výpočet denních imisních koncentrací částic PM₁₀ a SO₂..... | 43 |
| 4.6.1 | Výpočet maximálních denních imisních koncentrací..... | 43 |
| 4.6.2 | Výpočet počtu případů překročení stanovených hodnot za rok..... | 44 |
| 4.6.3 | Překročení 24hodinového imisního limitu pro suspendované částice PM ₁₀ | 45 |
| 5. | SPECIÁLNÍ POSTUPY VÝPOČTU ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ..... | 46 |
| 5.1 | Výpočet extrémního znečištění ovzduší při inverzích a bezvětrí | 46 |
| 5.2 | Rozptyl exhalací z chladících věží tepelných elektráren..... | 49 |
| 6. | ROZPTYLOVÉ PODMÍNKY DLE STABILITNÍ KLASIFIKACE BUBNÍKA A KOLDOVSKÉHO..... | 54 |
| | SEZNAM SYMBOLŮ | 55 |
| | LITERATURA | 63 |

SEZNAM TABULEK

| | | |
|---------------------|---|----|
| tabulka 2.1 | <i>Množství spalin K_3 v m^3 na jeden kg nebo jeden m^3 spáleného paliva</i> | 5 |
| tabulka 2.2 | <i>Konstanty pro výpočet tepelné vydatnosti podle empirického vzorce (2.11).</i> | 7 |
| tabulka 2.3a | <i>Průměrné výhřevnosti paliv q dle [10]</i> | 7 |
| tabulka 2.3b | <i>Průměrné výhřevnosti paliv q (dle [11], průměr za roky 1996 – 2011)</i> | 8 |
| tabulka 2.4 | <i>Koeficient K_j pro přepočet 24hodinové intenzity dopravy na denní maximum 1hodinové intenzity. Údaje vychází ze sčítání dopravy ŘSD 2010.</i> | 10 |
| tabulka 2.5 | <i>Definice tříd rychlosti větru</i> | 12 |
| tabulka 2.6 | <i>Stabilitní klasifikace podle Bubníka a Koldovského</i> | 12 |
| tabulka 2.7 | <i>Rozmezí rychlostí větru a výskyt jednotlivých tříd rychlosti větru pro jednotlivé třídy stability ovzduší.</i> | 13 |
| tabulka 2.8 | <i>Maticе hodnot g_{rt}</i> | 14 |
| tabulka 3.1 | <i>Hodnoty konstant K_s, K_m a ε pro výpočet efektivní výšky.</i> | 25 |
| tabulka 3.2 | <i>Hodnoty konstant A a B pro výpočet efektivních výšek zdrojů.</i> | 25 |
| tabulka 3.3 | <i>Hodnota exponentu p z mocninového profilu větru.</i> | 27 |
| tabulka 3.4a | <i>Hodnoty konstant pro výpočet rozptylových parametrů pro hodinové hodnoty imisních koncentrací.</i> | 28 |
| tabulka 3.4b | <i>Hodnoty konstant pro výpočet rozptylových parametrů pro osmihodinové hodnoty imisních koncentrací.</i> | 28 |
| tabulka 3.5 | <i>Maximální délka strany plošného elementu y_0.</i> | 29 |
| tabulka 3.6 | <i>Maximální délka strany délkového elementu y_0.</i> | 31 |
| tabulka 3.7 | <i>Hodnoty koeficientu odstraňování k_u.</i> | 31 |
| tabulka 3.8 | <i>Kumulativní četnosti výskytu inverzí mezi zemí a výškovou hladinou 850 hPa</i> | 32 |
| tabulka 3.9 | <i>Rozmezí rychlostí větru pro výpočet maximálních krátkodobých imisních koncentrací</i> | 34 |
| tabulka 4.1 | <i>Hodnoty koeficientu přírůstku NO_2</i> | 43 |
| tabulka 5.1 | <i>Hodnoty vertikálního teplotního gradientu v I., II, a III. třídě stability používané ve výpočtech imisních koncentrací z exhalací z chladících věží.</i> | 49 |

1. ÚVOD

SYMOS'97 – Metodická příručka (dále jen „metodika“) je příručkou uživatele metodiky výpočtu znečištění ovzduší a obsahuje návody pro praktický postup při modelových výpočtech imisních koncentrací znečišťujících látek, šířících se z bodových, liniových nebo plošných zdrojů. Obsahuje stručný popis potřebných vstupních údajů, základní rovnice výpočtu, přehled vztahů použitých pro stanovení potřebných parametrů, postup výpočtu hlavních charakteristik znečištění ovzduší a některé další speciální aplikace.

Metodika výpočtu znečištění ovzduší vychází z nejnovějších dostupných poznatků získaných domácím i zahraničním výzkumem, navazuje na dříve vydanou publikaci „Metodika výpočtu znečištění ovzduší pro stanovení a kontrolu technických parametrů zdrojů“, kterou v roce 1979 vydalo tehdejší Ministerstvo lesního a vodního hospodářství ČSR [1], a podstatným způsobem ji rozšiřuje.

Metodika výpočtu znečištění ovzduší umožňuje:

- výpočet znečištění ovzduší plynnými i tuhými látkami z bodových, liniových a plošných zdrojů
- výpočet znečištění od většího počtu zdrojů
- stanovit charakteristiky znečištění v husté geometrické síti referenčních bodů a připravit tímto způsobem podklady pro názorné kartografické zpracování výsledků výpočtů
- brát v úvahu statistické rozložení směru a rychlosti větru vztažené ke třídám stability mezní vrstvy ovzduší podle klasifikace Bubníka a Koldovského
- odhad imisní koncentrace znečišťujících látek při bezvětří a pod inverzní vrstvou ve složitém terénu.

Pro každý referenční bod umožňuje metodika výpočet těchto základních charakteristik znečištění ovzduší:

- maximální možné krátkodobé (hodinové) hodnoty imisních koncentrací znečišťujících látek, které se mohou vyskytnout ve všech třídách rychlosti větru a stability ovzduší
- maximální možné krátkodobé (hodinové) hodnoty imisních koncentrací znečišťujících látek bez ohledu na třídu stability a rychlost větru
- maximální možné 8hodinové a 24hodinové hodnoty imisních koncentrací znečišťujících látek
- roční průměrné imisní koncentrace
- dobu trvání imisních koncentrací převyšujících určité předem zadané hodnoty (např. imisní limity).

Jako doplňkové charakteristiky je podle metodiky možno

- stanovit výšku komína s ohledem na splnění imisních limitů
- stanovit podíl zdrojů znečištění ovzduší na celkovém znečištění **do vzdálenosti 100 km od zdrojů**
- stanovit doby překročení zvolených imisních koncentrací pro zdroj se sezónně proměnnou emisí
- vypočítat spad prachu
- vyhodnotit rozptyl exhalací vypouštěných chladicími věžemi.

1.1 Interpretace výsledků výpočtu hlavních charakteristik znečištění ovzduší

Metodika je určena především pro vypracování rozptylových studií jakožto podkladů pro hodnocení kvality ovzduší.

Přestože byli autoři metodiky vedeni snahou o maximální věrohodnost všech použitých postupů, je zřejmé, že základem metodiky je matematický model, který již svou podstatou znamená zjednodušení a nemožnost popsat všechny děje v atmosféře, které ovlivňují rozptyl znečišťujících látek. Proto jsou i vypočtené výsledky nutně zatížené nějakou chybou a nedají se interpretovat zcela striktně.

Klimatické vstupní údaje znamenají zprůměrované hodnoty jednotlivých veličin za delší časové období. Skutečný průběh meteorologických charakteristik v daném určitém roce se může od průměru značně lišit (např. větrná růžice nebo výskyt inverzí). Obecným výpočtem podle metodiky není možné do výsledků zahrnout vliv kumulace znečišťujících látek pod inverzemi. **Základních rovnic** modelu **nelze** použít pro výpočet znečištění **pod inverzní vrstvou a při bezvětří**. Pro tento účel je nutno použít postupů uvedených v kapitole 5.1.

Výpočetní rovnice byly stanovené za předpokladu maximální vzdálenosti referenčního bodu od zdroje 100 km a tedy ani výpočet podle této metodiky **nelze použít** pro vzdálenosti **větší než 100 km od zdroje**. Při výběru referenčních bodů nelze většinou postihnout podrobně všechny nerovnosti terénu. Protože program vyhodnocující terénní profily pracuje pouze s nadmořskými výškami v místech referenčních bodů a zdrojů, může se stát, že se nějaký terénní útvar (např. úzké údolí) "ztratí". Metodika tedy **není** použitelná pro výpočet znečištění ovzduší **ve velmi členitém terénu a uvnitř městské zástavby pod úrovní střech budov** (např. na křižovatkách nebo v kaňonech ulic).

V metodice se nepočítá s pozadovým znečištěním ovzduší. **Vypočtené imisní koncentrace jsou pouze příspěvky imisních koncentrací způsobené emisními zdroji zahrnutými do výpočtu**. Stejně tak metodika nezohledňuje znečištění látkami, které vznikají chemickými a fyzikálními přeměnami v atmosféře a mohou tvořit nezanedbatelnou část v celkové imisní zátěži dané látky.

1.2 Úpravy metodiky

První úpravy metodiky vydané v roce 1998 proběhly v roce 2003 v souvislosti se schválením zákona č. 86/2002 Sb. a vládního nařízení č. 350/2002 Sb. a byly uvedeny v doplňku k metodické příručce. Doplňek reagoval mj. na nové imisní limity pro PM₁₀, poskytl návod pro výpočet průměrných denních koncentrací PM₁₀ a SO₂ z maximálních hodinových koncentrací těchto látek a umožnil hodnocení imisního příspěvku NO₂ (dříve pouze NO_x).

V úpravě 2013 (vydáno ve Věstníku MŽP 2013/8) byl pro přehlednost sloučen doplněk s původní metodikou a byl brán zřetel na aktuální legislativu (např. aktualizované imisní limity) a nové poznatky v oblasti ochrany čistoty ovzduší. Byly upraveny tabulky průměrných výhřevností paliv, odstraněny tabulky poměrů NO₂ a PM₁₀, aktualizovány koeficienty pro liniové zdroje, aktualizovány vzorce pro výpočet maximálních denních

imisních koncentrací PM_{10} a SO_2 a upraven vztah pro výpočet přeměny NO na NO_2 . Byl doplněn postup pro výpočet počtu dní překračujících 24hodinový limit suspendovaných částic PM_{10} emitovaných z liniových zdrojů (silnic).

2. VSTUPNÍ ÚDAJE

Vstupní údaje potřebné k výpočtu znečištění ovzduší lze rozdělit na tyto kategorie:

- A) Údaje o zdrojích.
- B) Meteorologické a klimatické podklady.
- C) Údaje o topografickém rozložení referenčních bodů, ve kterých se bude výpočet provádět, informace o výšce a rozmístění budov v zájmovém území.
- D) Údaje o imisních limitech a přípustných imisních koncentracích znečišťujících látek

Potřebné vstupní údaje se dále liší podle typu zdroje (bodové, plošné, liniové, chladicí věže atd.) a podmínek v atmosféře modelovaných výpočtem (výpočet za běžných podmínek nebo za bezvětří).

Nejčastěji používaným souřadným systémem, používaným při popisu umístění zdrojů a referenčních nebo uzlových bodů, je pravoúhlý systém, kdy osa X míří k východu, osa Y míří k severu a osa Z míří k zenitu a představuje nadmořské výšky nebo výšky budov.

2.1 Vstupní údaje o zdrojích

2.1.1 Bodové zdroje

Za bodové zdroje se považují zejména komíny a výduchy, jejichž rozměr je zanedbatelný oproti vzdálenostem, ve kterých se počítá znečištění ovzduší. U bodových zdrojů je nutné znát tyto údaje:

1. **Polohu zdroje**, tj. souřadnice x_z, y_z [m] ve zvolené souřadné síti
2. **Nadmořskou výšku z_z [m] terénu** v místě zdroje
3. **Výšku H [m] koruny komína nebo konce výduchu nad terénem** („výška komína“). Tato veličina však může být teprve požadovaným výsledkem výpočtu u projektovaných zdrojů emisí.
4. U spalovacích procesů **informace o palivu a jeho spotřebě**:
 - a) Množství spáleného paliva za hodinu S_h [$\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$, $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$] při instalovaném tepelném výkonu spalovacího zařízení
 - b) Roční množství spáleného paliva S_r [$\text{kg}\cdot\text{r}^{-1}$, $\text{m}^3\cdot\text{r}^{-1}$]
 - c) Kvalita paliva (výhřevnost, chemické složení apod.)
5. U technologií **roční provozní dobu P_r** [$\text{hod}\cdot\text{r}^{-1}$]
6. **Objemový tok spalin** (u spalovacích procesů) nebo vzdušiny (u technologií) V_s [$\text{Nm}^3\cdot\text{s}^{-1}$]¹ z komína nebo výduchu přepočtený na normální podmínky (teplotu 0 °C (273,15 K) a tlak 101325 Pa). Přepočet na normální podmínky se provádí podle vztahu:

$$V_s = V \cdot \frac{273,15}{273,15 + t_s} \cdot \frac{p}{101325} \quad (2.1)$$

¹ Normální metr krychlový [Nm^3] označuje objem vztažený k normálním podmínkám, tzn. teplotě 0 °C a tlaku 101325 Pa

kde t_s je teplota odcházejících exhalací v koruně komína nebo výduchu [$^{\circ}\text{C}$],
 p je tlak vzduchu [Pa],
 V je objemový tok spalin nebo vzdušiny z komína nebo výduchu za skutečných podmínek (při teplotě t_s a tlaku p).

Objemový tok spalin za normálních provozních podmínek lze u spalovacích procesů vypočítat ze spotřeby paliva podle následujícího vzorce:

$$V_s = \frac{K_3 \cdot S_h}{3600} \quad (2.2)$$

kde S_h je spotřeba paliva v kg nebo m^3 za hodinu
 K_3 je konstanta, která nabývá hodnot podle tabulky 2.1

Objemový tok spalin lze ve výpočtu zanedbat, pokud se výpočty neprovádějí blízkosti komínu (výduchu).

tabulka 2.1 Množství spalin K_3 v m^3 na jeden kg nebo jeden m^3 spáleného paliva

| Palivo | | K_3 | jednotky |
|------------|---------|-------|-----------------------------------|
| zemní plyn | | 12,28 | $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ |
| hnědé uhlí | Tříděné | 7,55 | $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| | Prach | 5,89 | $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| černé uhlí | Tříděné | 10,77 | $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| | Prach | 8,93 | $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| topný olej | | 10,87 | $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| dřevo | | 5,20 | $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ |

7. **Množství znečišťující látky M** [$\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$] odcházející komínem (výduchem) za normálního tlaku a teploty.

a) Pokud je známa koncentrace K_E [$\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$] znečišťující látky ve spalinách za normálních podmínek, stanoví se M jako

$$M = 10^{-3} \cdot K_E \cdot V_s \quad (2.3)$$

Koncentrace znečišťujících látek ve spalinách (vzdušině) se často udává přepočtená na referenční spaliny, tj. suché a s referenčním obsahem kyslíku O_r [%]. V takovém případě se za V_s do vztahu (2.3) dosazuje hodnota V_{sR} , která udává objemový tok spalin přepočtený na suchý plyn a referenční obsah kyslíku. Pro její výpočet je nutné znát navíc obsah vodní páry ve skutečných spalinách (vzdušině) W [%] a obsah kyslíku ve skutečných spalinách O_s [%].

Pokud je O_s udán vzhledem k vlhkým skutečným spalinám, spočte se V_{sR} jako

$$V_{sR} = V_s \cdot \frac{\left(1 - \frac{W}{100}\right) \cdot 21 - O_s}{21 - O_r} \quad (2.4)$$

Pokud je O_s udán vzhledem k suchým skutečným spalinám, spočte se V_{sR} jako

$$V_{sR} = V_s \cdot \left(1 - \frac{W}{100}\right) \cdot \frac{21 - O_s}{21 - O_r} \quad (2.5)$$

- b) V ostatních případech se M stanoví z hodinového množství spáleného paliva S_h [$\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$, $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$] při jmenovitém výkonu spalovacího zařízení a z emisního faktoru f_E [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]:

$$M = \frac{S_h \cdot f_E}{3600} \cdot \left(1 - \frac{\eta}{100}\right) \quad (2.6)$$

kde η [%] je účinnost opatření omezujících únik znečišťující látky (tj. odsířovacího zařízení, odlučovačů popílku, filtrů aj.).

V případě emisí SO_2 a prachu ze spalovacích procesů závisí emisní faktory na jakostních znacích paliva, konkrétně na procentuálním hmotnostním obsahu popelovin A_p a síry S_p v původním vzorku pevného paliva nebo na obsahu síry v kapalném palivu. U pevných paliv se hodnoty A_p , S_p vypočtou z obsahu popelovin A_s a síry S_s v sušině a z obsahu vody W_p [%] podle vztahů

$$A_p = \left(1 - \frac{W_p}{100}\right) \cdot A_s \quad (2.7)$$

$$S_p = \left(1 - \frac{W_p}{100}\right) \cdot S_s \quad (2.8)$$

Pokud se emisní faktor vztahuje k jiným jednotkám než k množství spáleného paliva, pak

$$M = A \cdot P \cdot f_E \cdot \left(1 - \frac{\eta}{100}\right) \quad (2.9)$$

kde P je počet jednotek, na které je emisní faktor vztažený

A je převodní rozměrový koeficient určený tak, aby M bylo udáno v $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$.

8. **Teplotu t_s [°C] spalin nebo vzdušiny** v koruně komína (výduchu).
9. Pokud je $t_s < 80$ °C, je navíc nutno znát **vnitřní průměr komína** (výduchu) D_v [m].
10. **Tepelnou vydatnost Q [MW]**, která se stanovuje
 - a) Na základě předchozích vstupních dat podle vzorce

$$Q = 10^{-3} \cdot V_s \cdot c_s \cdot (t_s - t_0) \quad (2.10)$$

kde V_s je objemový tok spalin nebo vzdušiny z komína nebo výduchu za normálních podmínek [$\text{Nm}^3\cdot\text{s}^{-1}$],

c_s je měrné teplo exhalací o hodnotě $1,371 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$,

t_s je teplota odcházejících exhalací v koruně komína nebo výduchu ve stupních Celsia,

t_0 je teplota okolních vzduchu. Obvykle předpokládáme, že teplota okolí je $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

b) V případě, že není k dispozici údaj o V_s , počítá se podle vzorce:

$$Q = K_1 \cdot S \cdot (q + K_2) \quad (2.11)$$

kde q je výhřevnost paliva; u pevného a kapalného paliva v $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, u plynných paliv v $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$,

S je maximální průměrná hodinová spotřeba paliva v tunách za hodinu pro pevná a kapalná paliva v 10^3 m^3 za hodinu pro plynná paliva,

K_1, K_2 jsou konstanty závislé na typu a výkonu topeniště a na skupenství paliva. Hodnoty konstant jsou uvedeny v tabulce 2.2.

tabulka 2.2 Konstanty pro výpočet tepelné vydatnosti podle empirického vzorce (2.11).

| druh topeniště | výkon [MW] | $10^5 \cdot K_1$ | K_2 |
|----------------|-------------|------------------|-------|
| roštová | $\leq 3,8$ | 3,830 | 3870 |
| | $> 3,8$ | 2,940 | 4054 |
| granulační | bez omezení | 1,927 | 4305 |
| tavící pec | bez omezení | 1,740 | 4443 |
| kapalná paliva | $\leq 3,8$ | 3,560 | 2411 |
| | $> 3,8$ | 2,880 | 1830 |
| plynná paliva | $\leq 3,8$ | 1,979 | 882 |
| | $> 3,8$ | 1,456 | 1204 |

Pokud nejsou známy přesné hodnoty výhřevnosti paliv, lze s určitým přiblížením použít orientační hodnoty uvedené v tabulkách 2.3a a 2.3b.

tabulka 2.3a Průměrné výhřevnosti paliv q dle [10]

| Palivo | q | Jednotky |
|-------------------------------|-------|--------------------------------|
| Zemní plyn | 33480 | $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$ |
| Zemní plyn karbonský - důlní | 30110 | $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$ |
| Propan | 46400 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Generátorový plyn | 5860 | $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$ |
| Koksárenský plyn | 15620 | $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$ |
| Vysokopecní plyn | 3810 | $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$ |
| Svítiplyn | 14500 | $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$ |
| Lehký topný olej | 42300 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Těžký topný olej | 40610 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Motorová nafta | 42610 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Benzín automobilový | 43590 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Dřevo palivové | 14620 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Dřevěné brikety | 16210 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Hnědé uhlí prachové – Most | 11720 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Hnědé uhlí tříděné – Most | 17180 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Hnědé uhlí prachové - Sokolov | 10490 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |

| | | |
|----------------------------------|-------|--------------------------------|
| Hnědé uhlí tříděné – Sokolov | 14170 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Černé uhlí prachové - Ostrava | 22780 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Černé uhlí energetické - Ostrava | 29210 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Černé uhlí prachové – Kladno | 15570 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Černé uhlí energetické - Kladno | 22610 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| UVKP – Ostrava | 27510 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Kaly – Ostrava | 16710 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Proplástek – Ostrava | 14790 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Koks otopový | 27490 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Lignit | 8790 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Brikety | 23050 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Sláma obilná | 15500 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Komunální odpad | 9120 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Papír | 14110 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Pryžový odpad | 34920 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |

tabulka 2.3b Průměrné výhřevnosti paliv q (dle [11], průměr za roky 1996 – 2011)

| Palivo | q | jednotky |
|----------------|-------|--------------------------------|
| HU tříděné | 17894 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| HU energetické | 12255 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Brikety | 23541 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Lignit | 8694 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| ČU tříděné | 28271 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| ČU energetické | 24007 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Proplástek | 18318 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| ČU kaly | 19188 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| Koks | 27053 | $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |

11. V případě výpočtu znečištění ovzduší prachovými částicemi se vyjde z poměru zastoupení požadovaných frakcí PM uvedených v platném pokynu MŽP.

Vstupní údaje 6), 7) a 8) se v případě spalovacích procesů udávají při jmenovitém výkonu spalovacího zařízení.

2.1.2 Plošné zdroje

Výpočet znečištění ovzduší z plošných zdrojů se provádí tak, že se plošný zdroj rozdělí na dostatečný počet čtvercových elementů plochy a výsledné znečištění se vypočítá jako součet příspěvků od všech elementů. Pro každý element je proto třeba znát následující údaje:

1. **Polohu jeho středu**, tj. souřadnice x_z, y_z [m] středu ve zvolené souřadné síti.
2. **Nadmořskou výšku** z_z [m].
3. **Rozměr elementu**, tj. **délku strany čtverce** y_0 [m]. Pokud jsou elementy stejně veliké, znamená y_0 zároveň vzdálenost středů sousedních elementů.

4. **Emisi M_E [$\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$]** znečišťující látky z elementu. Pokud je zadána plošná intenzita emise M_p [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$] pro dané místo, vypočítá se M_E :

$$M_E = M_p \cdot y_0^2 \quad (2.12)$$

5. Pokud se emitující plocha nenachází na povrchu země, je nutné znát **výšku h_p [m] nad zemí**, ve které emitující plocha je. Pokud se za plošný zdroj považuje část obce se zástavbou s lokálními topeništi, odpovídá h_p průměrné efektivní výšce, do které se exhalace z lokálních topenišť dostanou a stanoví se jako střední výška budov v plošném elementu zvýšená o 10 m.

2.1.3 Liniové zdroje

Za liniové zdroje se považují převážně komunikace s automobilovým provozem. Podobně jako u plošných zdrojů se rozdělí na dostatečný počet délkových elementů a výsledné znečištění se vypočítá jako součet příspěvků od všech elementů. Pro každý element je nutné znát tyto údaje:

1. **Souřadnice počátku a konce elementu**, tj. souřadnice x_{z1}, y_{z1} [m] a x_{z2}, y_{z2} [m] ve zvolené souřadné síti.
2. **Nadmořskou výšku počátku a konce elementu** z_{z1} a z_{z2} [m].
3. **Šířku komunikace** x_0 [m].
4. **Emisi M_E [$\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$]** znečišťující látky z elementu. Pokud je zadána délková intenzita emise pro dané místo M_L [$\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$], vypočítá se M_E :

$$M_E = M_L \cdot y_0 \quad (2.13)$$

Délka elementu y_0 se vypočte ze souřadnic $x_{z1}, x_{z2}, y_{z1}, y_{z2}$. Délková intenzita emisí znečišťujících látek z automobilového provozu se určí na základě emisních faktorů pro různé typy vozidel. Pro daný úsek komunikace je tedy třeba znát hustotu provozu jednotlivých typů vozidel.

Intenzita provozu jednotlivých skupin motorových vozidel na daném úseku komunikace se většinou uvádí v počtu vozidel za den (24 hodin). Pro účely výpočtu emisní intenzity provozu rozeznáváme 4 typy motorových vozidel:

1. osobní automobily
2. dodávkové a lehké nákladní automobily
3. těžké nákladní automobily
4. autobusy

Označíme-li počet projíždějících vozidel z j -té skupiny za den N_j a emisní faktor pro j -tou skupinu vozidel E_{Fj} , pak pro délkovou intenzitu emise dané znečišťující látky platí

$$\bar{M}_L = \frac{1}{86,4 \cdot 10^6} \cdot \sum_j N_j \cdot E_{Fj} \quad [\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (2.14)$$

Tato hodnota znamená průměrnou denní intenzitu emise. Pokud nejsou k dispozici podrobnější informace o denním chodu frekvence aut, použije se pro výpočet maximálního znečištění vzorec

$$N_{I_{maxj}} = K_j \cdot N_j \quad (2.14a)$$

kde $N_{I_{maxj}}$ je denní maximum 1hodinové intenzity dopravy pro daný typ vozidel a K_j je hodnota z tabulky 2.4 (pro daný typ komunikace a daný typ vozidel).

tabulka 2.4 Koeficient K_j pro přepočet 24hodinové intenzity dopravy na denní maximum 1hodinové intenzity. Údaje vychází ze sčítání dopravy ŘSD 2010.

| | Dálnice | Komunikace 1. a 2. třídy |
|---------------------------|---------|--------------------------|
| Osobní automobily | 0,16 | 0,14 |
| Lehké nákladní automobily | 0,11 | 0,10 |
| Těžké nákladní automobily | 0,14 | 0,20 |
| Autobusy | 0,17 | 0,14 |

2.1.4 Výpočet znečištění ovzduší při klidu a inverzích

Při výpočtu znečištění ovzduší při klidu a inverzích je, podle kapitoly 5.1, třeba znát standardní vstupní data o zdrojích stejně jako v částech 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3 a 2.1.5.

2.1.5 Chladicí věže tepelných elektráren

Pokud se používá u některé tepelné elektrárny vypouštění spalin pomocí chladících věží, pak jsou nutné následující vstupní údaje:

1. **Počet chladících věží N .**
2. Jejich **polohu**, tj. souřadnice x_z, y_z [m] ve zvolené souřadné síti.
3. **Nadmořskou výšku terénu z_z** [m] v místě chladících věží.
4. **Výšku chladící věže H** [m].
5. Doby v roce, po které jsou v činnosti:

| | | |
|-------------------------|----------|--------------|
| 1 chladící věž | P_{r1} | [hod za rok] |
| 2 chladící věže | P_{r2} | [hod za rok] |
| | | |
| N-tá chladící věž | P_{rN} | [hod za rok] |
6. **Objemový tok spalin V_s** [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] vypouštěných do každé chladící věže. V_s se udává **při teplotě t_s** , tedy nepřepočtený na normální podmínky.
7. **Teplota t_s** [$^{\circ}\text{C}$] spalin vypouštěných do chladící věže.
8. **Množství znečišťující látky M** [$\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$] odcházející každou chladící věží. Pokud hodnoty M neuvede zadavatel, určí se stejným způsobem jako v případě komínů bodových zdrojů.
9. **Průměr chladící věže D_v** [m] v koruně.
10. Při výpočtu znečištění ovzduší prachovými částicemi podíl částic PM_{10} resp. $\text{PM}_{2,5}$ v emisích tuhých znečišťujících látek.

11. **Závislost teploty t_{ch}' [°C] vlhkého vzduchu opouštějícího chladicí věž (bez zavedení spalín do věže) na vnější teplotě t_e a relativní vlhkosti r .**
12. **Závislost objemového toku V_{ch}' [m³·s⁻¹] vlhkého vzduchu opouštějícího chladicí věž (bez zavedení spalín do věže) na vnější teplotě t_e a relativní vlhkosti r .**

Pokud závislosti 11) a 12) nejsou k dispozici, pak postačí 4 hodnoty t_{ch}' a V_{ch}' :

- pro nízkou t_e a nízkou r
- pro nízkou t_e a vysokou r
- pro vysokou t_e a nízkou r
- pro vysokou t_e a vysokou r .

2.1.6 Podrobný výpočet doby trvání znečištění pro jeden zdroj

V případě podrobného výpočtu doby trvání znečištění ovzduší pro 1 zdroj znečištění (komín nebo výdech) jsou třeba stejné vstupní údaje jako pro bodový zdroj (část 2.1.1), avšak údaje v bodech 4), 6), 7) a 8) je nutné znát při všech provozních režimech zdroje. Jednotlivé provozní režimy se určí z časové křivky výkonu (vytížení) dané provozní jednotky během roku.

2.1.7 Procentuální zastoupení PM₁₀ a PM_{2,5} v emisích tuhých znečišťujících látek

Pokud je známa přímo hodnota emise PM₁₀, resp. PM_{2,5}, z daného zdroje, použije se tato pro výpočet. Obvykle však tyto informace nejsou k dispozici a jako vstupní hodnota je udávána pouze celková hodnota emisí prachu (např. v REZZO). V takovém případě je nutné použít údaje o procentuálním zastoupení jednotlivých frakcí v celkových emisích tuhých znečišťujících látek uvedené v platném Metodickém pokynu MŽP ke zpracování rozptylových studií.

2.2 Meteorologické a klimatické vstupní údaje

Meteorologické a klimatické údaje potřebné pro výpočty znečištění ovzduší se obvykle týkají období několika let. Pouze při některých speciálních aplikacích této metodiky je možné použít údaje pro jednotlivé sezóny nebo jiný konkrétní časový úsek. V takových případech je však nutné před vlastním výpočtem připravit i tyto klimatické údaje, protože nebývají běžně k dispozici, na rozdíl od standardních týkajících se ročního období. Pozornost je třeba věnovat rovněž tomu, zda jsou údaje z té které meteorologické nebo klimatické stanice reprezentativní pro dané místo výpočtu. Posouzení této reprezentativnosti je však záležitost značně komplikovaná, závisí nejen na topografii terénu a vzdálenosti stanice od místa výpočtu, ale i na typu klimatických údajů a spadá spíše do oboru "odborných odhadů v klimatologii", takže nemůže být součástí metodiky.

2.2.1 Klimatické údaje pro běžné výpočty znečištění ovzduší

Běžnými výpočty znečištění ovzduší rozumíme výpočty od zdrojů, jejichž charakteristiky nejsou přímo ovlivňované meteorologickými podmínkami (tedy od bodových, plošných a

liniových zdrojů, nikoliv však od chladících věží). Pro takové výpočty je nejdůležitějším klimatickým vstupním údajem větrná růžice rozlišená podle tříd rychlosti větru a teplotní stability atmosféry.

Výběr větrné růžice provádíme přednostně podle umístění zdroje, v případě mnoha zdrojů a větší oblasti je třeba zvolit větrnou růžici konstruovanou speciálně pro tuto oblast.

Rychlost rozptylu znečišťujících látek v atmosféře závisí zejména na dvou veličinách: rychlosti větru a intenzitě termické turbulence. Protože intenzita termické turbulence je přímo závislá na teplotní stabilitě atmosféry, je nejdůležitějším klimatickým vstupním údajem větrná růžice rozlišená podle rychlosti větru a teplotní stability atmosféry.

Rychlost větru se v metodice popisuje pomocí 3 tříd rychlosti:

tabulka 2.5 Definice tříd rychlosti větru.

| třída rychlosti větru | rozmezí rychlosti [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] | třídní rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] |
|-----------------------|--|--|
| 1. slabý vítr | od 0 do 2,5 včetně | 1,7 |
| 2. mírný vítr | od 2,5 do 7,5 včetně | 5,0 |
| 3. silný vítr | nad 7,5 | 11,0 |

Rychlostí větru se přitom rozumí rychlost zjišťovaná ve standardní meteorologické výšce 10 m nad zemí.

Intenzita termické turbulence závisí velmi silně na termické stabilitě atmosféry, tj. na jejím teplotním zvrstvení. Tato stabilita se v metodice popisuje pomocí stabilitní klasifikace Bubník-Koldovský odvozené v ČHMÚ. Stabilitní klasifikace obsahuje 5 tříd stability ovzduší.

tabulka 2.6 Stabilitní klasifikace podle Bubníka a Koldovského.

| třída stability | vertikální teplotní gradient [$^{\circ}\text{C}$ na 100 m] | popis |
|------------------|---|--|
| I. superstabilní | $\gamma < -1,6$ | silné inverze, velmi špatné rozptylové podmínky |
| II. stabilní | $-1,6 \leq \gamma < -0,7$ | běžné inverze, špatné rozptylové podmínky |
| III. izotermní | $-0,7 \leq \gamma < 0,6$ | slabé inverze, izotermie nebo malý kladný teplotní gradient, často se vyskytující mírně zhoršené rozptylové podmínky |
| IV. normální | $0,6 \leq \gamma \leq 0,8$ | indiferentní teplotní zvrstvení, běžný případ dobrých rozptylových podmínek |
| V. konvektivní | $\gamma > 0,8$ | labilní teplotní zvrstvení, rychlý rozptyl znečišťujících látek |

Vertikální teplotní gradient je přitom definován:

$$\gamma = -\frac{\partial T(z)}{\partial z} \quad (2.15)$$

kde $T(z)$ je teplota vzduchu závisící na výšce.

Ne všechny třídy stability atmosféry se vyskytují za všech rychlostí větru. Následující tabulka obsahuje rozmezí rychlostí větru a výskyt jednotlivých tříd rychlosti větru při jednotlivých třídách stability ovzduší:

tabulka 2.7 Rozmezí rychlostí větru a výskyt jednotlivých tříd rychlosti větru pro jednotlivé třídy stability ovzduší.

| třída stability | rozmezí vyskytujících se rychlostí větru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] | výskyt tříd rychlostí větru |
|-----------------|---|-----------------------------|
| I | 0 – 2,5 | 1 |
| II | 0 – 5,0 | 1, 2 |
| III | rychlost není omezena | 1, 2, 3 |
| IV | rychlost není omezena | 1, 2, 3 |
| V | 0 – 5,0 | 1, 2 |

V praxi se tedy může vyskytnout 11 kombinací tříd stability a tříd rychlosti větru. Větrná růžice, která je vstupem pro výpočet znečištění ovzduší, musí tedy obsahovat relativní četnosti směru větru z 8 základních směrů pro těchto 11 různých typů rozptylových podmínek a kromě toho četnost bezvětří pro každou třídu stability atmosféry. Četnosti se udávají v % s přesností na 2 desetinná místa.

Směry větru se v meteorologii určují podle toho, odkud vítr vane. Označování směrů větru ve stupních začíná od severu a zvětšuje se postupně ve směru hodinových ručiček. Vítr, který vane od východu, vane ze směru 90° , od jihu z 180° , od západu z 270° a ze severu z 360° (0° označuje bezvětří). To znamená, že větrnou růžici lze jednoduše vyjádřit v pravoúhlé souřadné soustavě, ve které osa X míří k východu a osa Y k severu. Uvádějí-li se souřadnice zdrojů a referenčních bodů, resp. uzlových bodů pravidelné sítě v jiných souřadných systémech, kdy osa Y nemíří k severu, (např. v Křovákových souřadnicích) pak je nutno sjednotit všechny používané souřadné systémy v jeden.

2.2.2 Údaje pro výpočet imisních koncentrací za inverzí a bezvětří

Pro výpočet extrémního znečištění za inverzí a bezvětří je třeba znát:

1. výšku L [m] horní hranice inverze nad dnem údolí, pro které se výpočet provádí
2. dobu T [h] nepřetržitého trvání podmínek inverze a současného bezvětří.

2.2.3 Klimatické údaje pro výpočet znečištění ovzduší od chladících věží

Pro tento výpočet je nutné mít k dispozici stejnou větrnou růžici rozdělenou podle tříd stability atmosféry a rychlosti větru jako u běžných výpočtů znečištění. Protože však

charakteristiky zdroje (objem a teplota vzduchu odcházejícího z chladicí věže) závisí na vnějších podmínkách (teplotě a relativní vlhkosti okolního vzduchu), je nutné znát navíc tyto údaje:

1. Matice hodnot g_{rt} pro každou třídu stability ovzduší

Hodnoty g_{rt} představují relativní četnosti výskytu situace s teplotou t v dané třídě teploty a s relativní vlhkostí r v dané třídě relativní vlhkosti a to pro danou třídu stability ovzduší. Třídy teploty a relativní vlhkosti jsou stanoveny v následující tabulce.

tabulka 2.8 Matice hodnot g_{rt} .

| teplota vzduchu t_e [°C] | | relativní vlhkost vzduchu r [%] | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------|--------------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| interval | třídní teplota | interval | < 50 | 50 - 70 | 70 - 80 | 80 - 85 | 85 - 90 | 90 - 95 | 95-100 |
| | | třídní vlhkost | 40 | 60 | 75 | 83 | 88 | 93 | 98 |
| < -10 | -12 | | g_{rt} | | | | | | |
| -10 - -5 | -7 | | | | | | | | |
| -5 - 0 | -2 | | | | | | | | |
| 0 - 5 | 3 | | | | | | | | |
| 5 - 10 | 8 | | | | | | | | |
| 10 - 15 | 13 | | | | | | | | |
| 15 - 20 | 18 | | | | | | | | |
| 20 - 25 | 23 | | | | | | | | |
| 25 - 30 | 28 | | | | | | | | |
| > 30 | 33 | | | | | | | | |

Pro hodnoty g_{rt} v tabulce (matici) bude pro každou třídu stability platit:

$$\sum_r \sum_t g_{rt} = 1 \quad (2.16)$$

Vzhledem k tomu, že stabilitní klasifikace rozeznává 5 tříd stability ovzduší, je třeba mít k dispozici 5 takových matic hodnot g_{rt} . Hodnoty g_{rt} se získají statistickým zpracováním pozorování z meteorologické stanice, která je pro sledované místo reprezentativní.

2. Matice hodnot f_{rt} .

Hodnoty f_{rt} vyjadřují průměrné relativní množství zkondenzované vodní páry ve vzduchu při dané kombinaci teploty a vlhkosti vzduchu. V praxi se při výpočtu průměrných hodnot dají nahradit poměrem

$$f_{rt} = \frac{D_{m,rt}}{D_{rt}} \quad (2.17)$$

kde $D_{m,rt}$ je trvání situací s výskytem mlhy při teplotě t a relativní vlhkosti r za dané období a

D_{rt} je celková doba trvání situací s teplotou t a relativní vlhkostí r .

Pro hodnoty f_{rt} se volí stejné třídy teploty t_e a relativní vlhkosti r jako pro hodnoty g_{rt} (tab. 2.8). Vyčíslení matice f_{rt} se provede stejně jako u g_{rt} statistickým zpracováním meteorologických pozorování.

2.3 Údaje o referenčních bodech, terénu a budovách

2.3.1 Údaje o referenčních bodech

Pro každý referenční bod, pro který se počítá znečištění ovzduší, je nutné znát tyto údaje:

1. **Název referenčního bodu** (není povinné, ale u samostatných referenčních bodů užitečné).
2. **Polohu referenčního bodu**, tj. souřadnice x_r, y_r [m] ve zvolené souřadné síti.
3. **Nadmořskou výška terénu** z_r [m] v místě referenčního bodu.
4. Pokud je referenční bod umístěn jinde než v úrovni terénu, (např. na budově), pak jeho **výšku l [m] nad terénem** (výšku budovy).

2.3.2 Údaje o topografii terénu

Hodnoty vypočtených imisních koncentrací v referenčním bodě závisí mimo jiné na tvaru terénu mezi zdrojem a referenčním bodem. V případě, že terén mezi zdrojem a referenčním bodem není rovinný, je třeba mít informace o jeho tvaru.

V praxi se výpočty provádějí obvykle v pravidelné nebo nepravidelné síti referenčních bodů. Z údajů o jejich poloze a nadmořských výškách terénu v jejich místě se vyhodnocuje tvar a charakteristiky terénu ve sledované oblasti. Přesnost výpočtu profilu terénu mezi zdrojem a referenčním bodem závisí na dostatečné hustotě referenčních bodů v síti. Hustotu sítě referenčních bodů je proto nutné volit takovou, aby postihla všechny podstatné terénní útvary v daném území.

Mezi zdrojem a nejbližším referenčním bodem se předpokládá rovinný terén bez jakýchkoliv významných terénních útvarů. Naopak, pokud chceme podrobněji popsat terén mezi zdrojem a nějakým referenčním bodem, je nutné zvolit mezi nimi několik dalších referenčních bodů. I v tomto případě je výhodné znát nadmořské výšky nikoliv jen na spojnici mezi zdrojem z a referenčním bodem, ale v síti bodů rozložených kolem této spojnice.

2.3.3 Údaje pro výpočet znečištění v zástavbě

Při výpočtu znečištění ovzduší v terénu zastavěném budovami se referenční body umísťují na budovách, tj. na horních hranách jejich fasád. Je vhodné umístit některé referenční body na nejvyšší budovy v okolí zdroje (zdrojů).

U podrobných výpočtů v malých vzdálenostech a při stanovování potřebných výšek komínů nebo výdechů je nutné kromě výšek budov ležících v okolí zdroje znát rovněž jejich rozmístění a půdorysné rozměry. Tyto údaje lze odečíst z podrobných map.

2.3.4 Údaje pro výpočet znečištění při bezvětří a inverzích

Při výpočtu znečištění ovzduší při bezvětří a inverzi se předpokládá, že zdroje exhalují do objemu vzduchu uzavřeného z boků svahy údolí a seshora horní hranicí inverze. K výpočtu objemu takto uzavřeného vzduchu je proto nutné z map odečíst plochy $P(z)$ údolí v různých výškách z nad dnem údolí.

2.4 Údaje o imisních limitech a přípustných imisních koncentracích znečišťujících látek

Vypočtené imisní příspěvky zdrojů zahrnutých do výpočtu (dále jen vypočítané imisní koncentrace) znečišťujících látek v referenčních bodech je možné pro orientaci porovnat s jejich limitními hodnotami, aby bylo zřejmé, zda znečištění ovzduší v daných místech nepřekračuje přípustné hranice. Tyto limitní hodnoty jsou určeny pomocí imisních limitů nebo pomocí nejvyšších přípustných imisních koncentrací.

Imisní limity pro vybrané znečišťující látky jsou vydané v platné legislativě. Pro ostatní znečišťující látky v ovzduší je úkolem Ministerstva zdravotnictví (MZ) dle § 27, odst. 6 b zákona č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší zpracovávat a vést seznam referenčních imisních koncentrací pro účely hodnocení těchto látek a řízení zdravotních rizik. Tuto povinnost delegovalo MZ na Státní zdravotní ústav (SZÚ), který seznam imisních referenčních koncentrací uvádí na <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/ovzdusi-a-zdravi>. Pro látku, zde neuvedenou je možno požádat SZÚ o stanovení imisní referenční koncentrace. Je třeba poznamenat, že imisní limity mají vyšší právní sílu než nejvýše přípustné imisní koncentrace.

3. METODIKA VÝPOČTU ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ

3.1 Základní rovnice pro výpočet znečištění ovzduší pro zvlněný terén

V rovnicích, uváděných v odstavci 3.1, mají jednotlivé symboly následující významy:

| | | |
|--------------------|--|---|
| α_{pi} | [%] | procentuální zastoupení v jednotlivých třídách velikosti prašných částic |
| c | [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] | krátkodobá koncentrace znečišťující látky |
| d | [m] | průměr prašné částice |
| h | [m] | efektivní výška zdroje bez korekce na vliv terénu (viz kap. 3.2.3) |
| h_1 | [m] | efektivní výška zdroje po provedení všech korekcí (viz kap. 3.2.3) |
| h_{gi} | [m] | pokles efektivní výšky zdroje vlivem pádové rychlosti prašných částic pro velikost částic o průměru d_i (viz kap. 3.1.2) |
| ϑ | [-] | koeficient pro zvlněný terén (viz kap. 3.2.2) |
| K_h | [-] | koeficient zeslabení vlivu nízkých zdrojů na referenční body ve větších nadmořských výškách (viz kap. 3.2.7) |
| k_u | [s^{-1}] | koeficient odstraňování, zahrnující suchou a mokrou depozici a chemické transformace (viz kap. 3.2.6) |
| M | [$\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$] | množství znečišťující látky odcházející komínem, resp. výduchem (viz kap. 2.1.1, bod 7) |
| M_E | [$\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$] | emise znečišťující látky z elementu plochy (viz kap. 2.1.2, bod 4) |
| M_L | [$\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$] | délková intenzita emise znečišťující látky (viz kap. 2.1.3, bod 5) |
| M_z | [m] | obecná emise znečišťující látky |
| P_d | [h] | počet hodin za den, kdy je zdroj v činnosti |
| $\sigma_y(x_L)$ | [m] | příčný horizontální rozptylový parametr (viz kap. 3.2.5.1) |
| $\sigma_{y0}(x_L)$ | [m] | počáteční příčný horizontální rozptylový parametr pro plošné a liniové zdroje (viz kap. 3.2.5.2 a 3.2.5.3) |
| $\sigma_z(x_L)$ | [m] | příčný vertikální rozptylový parametr (viz kap. 3.2.5.1) |
| $\sigma_{z0}(x_L)$ | [m] | počáteční příčný vertikální rozptylový parametr pro plošné a liniové zdroje (viz kap. 3.2.5.2 a 3.2.5.3) |
| u_h | [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] | rychlost větru ve výšce h (viz kap. 3.2.4.1) |
| u_{h1} | [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] | rychlost větru ve výšce h_1 (viz kap. 3.2.4.1) |
| v_{gi} | [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] | pádová rychlost částic o průměru d_i (viz kap. 3.2.8) |
| V_s | [$\text{Nm}^3\cdot\text{s}^{-1}$] | objemový tok spalin nebo vzdušiny z komína přepočtený na normální podmínky (0°C , 101325 Pa) (viz kap. 2.1.1, bod 6). Normální metr krychlový [Nm^3] označuje objem vztažený k normálním podmínkám. |
| x_L | [m] | vzdálenost referenčního (uzlového) bodu od zdroje ve směru větru (viz kap. 3.2.1.1) |
| y_L | [m] | vzdálenost referenčního (uzlového) bodu od zdroje ve směru kolmém na směr větru (viz kap. 3.2.1.1) |
| y_0 | [m] | délka čtverce elementu plošného zdroje nebo elementu liniového zdroje |

| | | |
|--------|-----|--|
| z | [m] | převýšení referenčního bodu nad patou komína (výduchu) (viz kap. 3.2.1.2) |
| z' | [m] | korigovaná vertikální souřadnice referenčního bodu v členu pro přímý rozptyl (viz kap. 3.2.1.2) |
| z'' | [m] | korigovaná vertikální souřadnice referenčního bodu v členu popisujícím odraz v dolním odhadu (viz kap. 3.2.1.2) |
| z''' | [m] | korigovaná vertikální souřadnice referenčního bodu v členu popisujících odraz v horním odhadu (viz kap. 3.2.1.2) |

3.1.1 Plynné znečišťující látky

Obecná základní rovnice pro výpočet imisní koncentrace plynné znečišťující látky exhalované ze stacionárního zdroje ve zvlněném terénu za předpokladu Gaussova rozložení koncentrace ve vlečce má tvar

$$c = \frac{10^6 \cdot M_z}{2 \cdot \pi \cdot (\sigma_y + \sigma_{y0}) \cdot (\sigma_z + \sigma_{z0}) \cdot u_{hl} + V_s} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2(\sigma_y + \sigma_{y0})^2}\right) \cdot \exp\left(-k_u \cdot \frac{x_L}{u_{hl}}\right) \cdot K_h \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z' - h_1)^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(z'' + h_1)^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + \vartheta \cdot \exp\left(-\frac{(z''' - h_1)^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) \right] \quad (3.1)$$

kde M_z je emise znečišťující látky.

- Pro bodové zdroje je M_z rovna hmotnostnímu toku znečišťující látky za časovou jednotku [$\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$]. Značíme jej M .
- Pro plošné zdroje M_z představuje hmotnostní tok znečišťující látky za časovou jednotku z jednoho plošného elementu plochy, [$\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$]. Značíme jej M_E .
- Pro liniové zdroje M_z představuje délkovou intenzitu hmotnostního toku znečišťující látky [$\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$] násobenou délkou elementu liniového zdroje. Značíme jej M_L .

σ_{y0} , σ_{z0} jsou počáteční rozptylové parametry (pro $x = 0$), které souvisí s rozměry elementů zdroje. Pro bodové zdroje jsou rovny nule.

Rovnice pro výpočet imisní koncentrace plynné znečišťující látky exhalované ze stacionárního zdroje ve zvlněném terénu za předpokladu Gaussova rozložení koncentrace ve vlečce má tvar

a) pro bodový zdroj

$$c = \frac{10^6 \cdot M}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u_{hl} + V_s} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \exp\left(-k_u \cdot \frac{x_L}{u_{hl}}\right) \cdot K_h \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z' - h_1)^2}{2\sigma_z^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(z'' + h_1)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \vartheta \cdot \exp\left(-\frac{(z''' - h_1)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (3.2)$$

b) pro plošný zdroj

$$c = \frac{10^6 \cdot M_E}{2 \cdot \pi \cdot (\sigma_y + \sigma_{y0}) \cdot (\sigma_z + \sigma_{z0}) \cdot u_{hl}} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2(\sigma_y + \sigma_{y0})^2}\right) \cdot \exp\left(-k_u \cdot \frac{x_L}{u_{hl}}\right) \cdot K_h \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z' - h_1)^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(z'' + h_1)^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + \vartheta \cdot \exp\left(-\frac{(z''' - h_1)^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) \right] \quad (3.3)$$

c) pro liniový zdroj

$$c = \frac{10^6 \cdot M_L \cdot y_0}{2 \cdot \pi \cdot (\sigma_y + \sigma_{y0}) \cdot (\sigma_z + \sigma_{z0}) \cdot u_{hl}} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2(\sigma_y + \sigma_{y0})^2}\right) \cdot \exp\left(-k_u \cdot \frac{x_L}{u_{hl}}\right) \cdot K_h \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z' - h_1)^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(z'' + h_1)^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + \vartheta \cdot \exp\left(-\frac{(z''' - h_1)^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) \right] \quad (3.4)$$

3.1.1.1 Výpočet přízemní imisní koncentrace plynné znečišťující látky z bodového zdroje

Základní rovnice pro výpočet přízemní imisní koncentrace plynné znečišťující látky exhalované z bodového stacionárního zdroje má tvar

$$c = \frac{10^6 \cdot M}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u_{hl} + V_s} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \exp\left(-k_u \cdot \frac{x_L}{u_{hl}}\right) \cdot K_h \cdot \left[(1 + \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(z - h_1)^2}{2\sigma_z^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(|z| + h_1)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (3.5)$$

3.1.1.2 Výpočet přízemní imisní koncentrace plynné znečišťující látky z plošného zdroje

Při výpočtu imisních koncentrací znečišťujících látek šířících se z plošného zdroje postupujeme tak, že plošný zdroj rozdělíme na dostatečný počet čtvercových plošných

elementů o délce strany y_0 . Imisní koncentraci vypočítáme od každého z nich a pak sečteme.

Základní rovnice pro výpočet příspěvku jednoho elementu k přízemní imisní koncentraci plynné znečišťující látky exhalované z plošného stacionárního zdroje má tvar

$$c_E = \frac{10^6 \cdot M_E}{2 \cdot \pi \cdot (\sigma_y + \sigma_{y0}) \cdot (\sigma_z + \sigma_{z0}) \cdot u_{hl}} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2(\sigma_y + \sigma_{y0})^2}\right) \cdot \exp\left(-k_u \cdot \frac{x_L}{u_{hl}}\right) \cdot K_h \cdot \left[(1 + \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(z - h_1)^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(|z| + h_1)^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) \right] \quad (3.6)$$

3.1.1.3 Výpočet přízemní imisní koncentrace plynné znečišťující látky z liniového zdroje

Při výpočtu imisních koncentrací znečišťujících látek šířících se z liniového zdroje postupujeme tak, že liniový zdroj rozdělíme na dostatečný počet délkových elementů o délce strany y_0 . Imisní koncentraci vypočítáme od každého z nich a pak sečteme.

Základní rovnice pro výpočet příspěvku jednoho elementu přízemní imisní koncentraci plynné znečišťující látky exhalované z liniového stacionárního zdroje má tvar

$$c_E = \frac{10^6 \cdot M_L \cdot y_0}{2 \cdot \pi \cdot (\sigma_y + \sigma_{y0}) \cdot (\sigma_z + \sigma_{z0}) \cdot u_{hl}} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2(\sigma_y + \sigma_{y0})^2}\right) \cdot \exp\left(-k_u \cdot \frac{x_L}{u_{hl}}\right) \cdot K_h \cdot \left[(1 + \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(z - h_1)^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(|z| + h_1)^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) \right] \quad (3.7)$$

3.1.2 Pevné znečišťující látky

Výpočet rozptylu částic PM₁₀ a menších se v důsledku zanedbatelné sedimentační rychlosti (viz též [12], tab. 13) provádí stejným způsobem, jako pro plynné látky s průměrnou dobou setrvání v ovzduší 6 dní.

U větších částic započítáváme pokles osy prašné vlečky v důsledku pádové rychlosti prašných částic v_{gi} , dosazením výrazu

$$h_{gi} = \frac{x_L \cdot v_{gi}}{u_{hl}} \quad (3.8)$$

kde index i představuje příslušnost k i -té třídě velikostí prašných částic. Pádovou rychlost v_{gi} vypočteme postupem stanoveným v kapitole 3.2.8.

Obecné rovnice pro výpočet imisní koncentrace prachových částic exhalovaných z bodového stacionárního zdroje ve zvlněném terénu za předpokladu Gaussova rozložení koncentrace ve vlečce má tvar

a) pro bodový zdroj (3.9)

$$c = \frac{10^6 \cdot M}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u_{hl} + V_s} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot K_h \cdot \sum_{i=1}^{r_c} \frac{\alpha_{pi}}{100} \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z' - (h_1 - h_{gi}))^2}{2\sigma_z^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(z'' + h_1 + h_{gi})^2}{2\sigma_z^2}\right) + \vartheta \cdot \exp\left(-\frac{(z''' - (h_1 + h_{gi}))^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

b) pro plošný zdroj (3.10)

$$c = \frac{10^6 \cdot M_E}{2 \cdot \pi \cdot (\sigma_y + \sigma_{y0}) \cdot (\sigma_z + \sigma_{z0}) \cdot u_{hl}} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2(\sigma_y + \sigma_{y0})^2}\right) \cdot K_h \cdot \sum_{i=1}^{r_c} \frac{\alpha_{pi}}{100} \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z' - (h_1 - h_{gi}))^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(z'' + h_1 + h_{gi})^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + \vartheta \cdot \exp\left(-\frac{(z''' - (h_1 + h_{gi}))^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) \right]$$

c) pro liniový zdroj (3.11)

$$c = \frac{10^6 \cdot M_L \cdot y_0}{2 \cdot \pi \cdot (\sigma_y + \sigma_{y0}) \cdot (\sigma_z + \sigma_{z0}) \cdot u_{hl}} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2(\sigma_y + \sigma_{y0})^2}\right) \cdot K_h \cdot \sum_{i=1}^{r_c} \frac{\alpha_{pi}}{100} \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z' - (h_1 - h_{gi}))^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(z'' + h_1 + h_{gi})^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + \vartheta \cdot \exp\left(-\frac{(z''' - (h_1 + h_{gi}))^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) \right]$$

3.1.2.1 Výpočet přízemní imisní koncentrace pevné znečišťující látky z bodového zdroje

Základní rovnice pro výpočet přízemní imisní koncentrace prachu exhalovaného z bodového stacionárního zdroje má tvar

$$c = \frac{10^6 \cdot M}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u_{hl} + V_s} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot K_h \cdot \sum_{i=1}^{r_c} \frac{\alpha_{pi}}{100} \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z - (h_1 - h_{gi}))^2}{2\sigma_z^2}\right) + \vartheta \cdot \exp\left(-\frac{(z - (h_1 + h_{gi}))^2}{2\sigma_z^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(|z| + h_1 + h_{gi})^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

3.1.2.2 Výpočet přízemní imisní koncentrace pevné znečišťující látky z plošného zdroje

Základní rovnice pro výpočet příspěvku jednoho elementu přízemní imisní koncentraci prachu exhalovaného z plošného stacionárního zdroje má tvar

$$c = \frac{10^6 \cdot M_E}{2 \cdot \pi \cdot (\sigma_y + \sigma_{y0}) \cdot (\sigma_z + \sigma_{z0}) \cdot u_{hl}} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2(\sigma_y + \sigma_{y0})^2}\right) \cdot K_h \cdot \left[\sum_{i=1}^{r_c} \frac{\alpha_{pi}}{100} \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z - (h_1 - h_{gi}))^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + \vartheta \cdot \exp\left(-\frac{(z - (h_1 + h_{gi}))^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(|z| + h_1 + h_{gi})^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) \right] \right] \quad (3.13)$$

3.1.2.3 Výpočet přízemní imisní koncentrace pevné znečišťující látky z liniového zdroje

Základní rovnice pro výpočet příspěvku jednoho elementu přízemní imisní koncentraci prachu exhalovaného z liniového stacionárního zdroje má tvar

$$c = \frac{10^6 \cdot M_L \cdot y_0}{2 \cdot \pi \cdot (\sigma_y + \sigma_{y0}) \cdot (\sigma_z + \sigma_{z0}) \cdot u_{hl}} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2(\sigma_y + \sigma_{y0})^2}\right) \cdot K_h \cdot \left[\sum_{i=1}^{r_c} \frac{\alpha_{pi}}{100} \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z - (h_1 - h_{gi}))^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + \vartheta \cdot \exp\left(-\frac{(z - (h_1 + h_{gi}))^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(|z| + h_1 + h_{gi})^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) \right] \right] \quad (3.14)$$

3.2 Definice jednotlivých proměnných a parametrů

3.2.1 Souřadná soustava souřadnic

3.2.1.1 Horizontální souřadnice

Pro vzdálenosti x_L, y_L platí

$$\begin{aligned} x_L &= x \cdot \cos \lambda \\ y_L &= x \cdot \sin \lambda \end{aligned} \quad (3.15)$$

přičemž

$$x = \sqrt{(x_z - x_r)^2 + (y_z - y_r)^2} \quad (3.16)$$

kde x_z, y_z jsou souřadnice zdroje v základním souřadném systému,
 x_r, y_r jsou souřadnice referenčního bodu v základním souřadném systému,
 λ je úhel mezi směrem větru a spojnicí zdroj - referenční bod a počítá se podle
 postupu uvedeného v kapitole 3.3.1.

Uvedené vztahy platí pro $-90^\circ \leq \lambda \leq 90^\circ$.

3.2.1.2 Vertikální souřadnice

Vertikální proměnné z', z'', z''' se stanovují následovně:

$$\begin{aligned}
 z' &= z + l && \text{pro } z + l \leq h_1, \\
 z' &= h_1 && \text{pro } z + l > h_1, \\
 z'' &= |z| + l && \text{pro } z + l \leq h_1, \\
 z'' &= |z| + h_1 - z && \text{pro } z + l > h_1, \\
 z''' &= z - l && \text{pro } z + l \leq h_1, \\
 z''' &= 2 \cdot z - h_1 && \text{pro } z + l > h_1
 \end{aligned} \tag{3.17}$$

Vertikální vzdálenost z značí převýšení terénu v místě referenčního bodu nad úrovní terénu v místě komína. Platí

$$z = z_r - z_z \tag{3.18}$$

kde z_r je nadmořská výška terénu v místě referenčního bodu [m],
 z_z je nadmořská výška terénu v místě zdroje [m],
 l je výška referenčního bodu nad úrovní terénu, resp. výška budovy a pod. [m],
 h_1 je efektivní výška zdroje (viz kapitola 3.2.3.1) [m].

3.2.2 Koeficient vlivu terénu

Koeficient vlivu terénu ϑ , který byl navržen Maňákem [2, 3] pro postižení vlivu zvlněného terénu, se pro každou dvojici zdroj - referenční bod určí z profilu nadmořské výšky terénu $z(x')$ mezi zdrojem a referenčním bodem takto:

$$\begin{aligned}
 \vartheta &= \max\left(0, \frac{1}{x \cdot (z_r - z_z)} \cdot \int_0^x (z_1(x') - 2 \cdot z_2(x')) \cdot dx'\right) && \text{pro } z_r > z_z \\
 \vartheta &= 0 && \text{pro } z_r \leq z_z
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

kde x je vzdálenost referenčního bodu od zdroje [m],
 $z(x')$ se spočte následovně:

$$\begin{aligned}
 z_1(x') &= z(x') - z_z && \text{pro } z(x') > z_z \\
 z_1(x') &= 0 && \text{pro } z(x') \leq z_z \\
 z_2(x') &= z(x') - z_r && \text{pro } z(x') > z_r \\
 z_2(x') &= 0 && \text{pro } z(x') \leq z_r
 \end{aligned} \tag{3.20}$$

Při výpočtu koeficientu ϑ se proloží sítí referenčních bodů a zdrojů spojitá plocha, mezi každou dvojicí zdroj - referenční bod provede vertikální řez této plochy a z takto vzniklého profilu vypočte integrál ϑ . Výsledkem je matice ϑ_{ik} (i - číslo zdroje, k - číslo referenčního bodu), která slouží jako vstupní údaj pro vlastní výpočet imisních koncentrací.

3.2.3 Efektivní výška zdroje

3.2.3.1 Základní výpočet pro jednotlivý zdroj

Efektivní výška zdroje h_1 se rovná stavební výšce zdroje H zvětšené o převýšení vlečky Δh . Výpočet efektivní výšky h_1 v sobě zahrnuje korekci na teplotní stabilitu atmosféry K_s , vliv terénu ε a postupný vzhon vlečky v blízkosti zdroje (parametrizovaný pomocí K_m):

$$\begin{aligned} h_1 &= z_m + \varepsilon \cdot h && \text{pro } z_m > (1 - \varepsilon) \cdot h \\ h_1 &= h && \text{pro } z_m \leq (1 - \varepsilon) \cdot h \end{aligned} \quad (3.21)$$

kde z_m je maximální výška terénu nad úrovní komína mezi zdrojem a referenčním bodem,

ε je uvedeno v tabulce 3.1,

$h = H + \Delta h$ je efektivní výška bez korekce na vliv terénu.

Převýšení vlečky Δh se spočte následovně:

$$\begin{aligned} \Delta h &= \left((1 - \beta) \frac{1,5 \cdot w_o \cdot d}{u_H} + \beta \frac{K_s \cdot A \cdot Q^B}{u_H} \right) \cdot \left(\frac{x}{K_m \cdot \sqrt{Q}} \right)^{2/3} && \text{pro } x < K_m \cdot \sqrt{Q} \\ \Delta h &= \left((1 - \beta) \frac{1,5 \cdot w_o \cdot d}{u_H} + \beta \frac{K_s \cdot A \cdot Q^B}{u_H} \right) && \text{pro } x \geq K_m \cdot \sqrt{Q} \end{aligned} \quad (3.22)$$

kde w_o je výstupní rychlost exhalací [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

d je vnitřní průměr koruny komína, resp. výduchu [m],

Q je tepelná vydatnost [MW] (viz kapitola 2.1.1, bod 10)

u_H je rychlost větru ve výšce koruny komína, resp. výduchu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] (viz kapitola 3.2.4.1).

K_s je korekční koeficient a je definován vztahem $K_s = 1 + 0,2 \cdot \gamma$, kde γ je vertikální teplotní gradient (viz rovnice 2.15)

K_m je uvedeno v tabulce 3.1

β se spočte následovně:

$$\begin{aligned} \beta &= 1 && \text{pro } t_s \geq 80 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \beta &= \frac{t_s - 30}{50} && \text{pro } 30 < t_s < 80 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \beta &= 0 && \text{pro } t_s \leq 30 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (3.23)$$

kde t_s je teplota spalin nebo vzdušiny v koruně komína nebo výduchu [$^\circ\text{C}$].

A, B závisí na tepelné vydatnosti zdroje. Jejich hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.2.

tabulka 3.1 Hodnoty konstant K_s , K_m a ε pro výpočet efektivní výšky.

| třída stability | název třídy | třídní vertikální teplotní gradient [°C na 100 m] | K_s | K_m | ε |
|-----------------|---------------|---|-------|-------|---------------|
| I | superstabilní | -2,0 | 0,60 | 184 | 0,05 |
| II | stabilní | -1,1 | 0,78 | 200 | 0,10 |
| III | izotermní | 0,0 | 1,00 | 236 | 0,20 |
| IV | normální | 0,7 | 1,14 | 300 | 0,30 |
| V | konvektivní | 1,2 | 1,24 | 411 | 0,50 |

tabulka 3.2 Hodnoty konstant A a B pro výpočet efektivních výšek zdrojů.

| konstanta | tepelná vydatnost zdroje v MW | |
|-----------|----------------------------------|--------|
| | ≥ 20 | < 20 |
| A | 30 | 90 |
| B | 0,7 | 1/3 |

Při výpočtech pro plošné zdroje platí zásada, že pokud plošný zdroj nebo jeho část (element) je tvořen částí obce se zástavbou a lokálními topeništi, za efektivní výšku h dosazujeme střední výšku budov v daném elementu zvýšenou o 10 m.

3.2.3.2 Převýšení vlečky v případě více blízkých zdrojů

Vyskytují-li se vedle sebe dva nebo více komínů blízko sebe tak, že jejich kouřové vlečky se mohou navzájem ovlivňovat, celkové převýšení vleček vzrůstá.

Nechť x_s , y_s a x_t , y_t jsou souřadnice dvou nejvzdálenějších komínů ve skupině. Pak pro průměrný rozestup jednotlivých N komínů stojících v řadě platí

$$\Delta x = \frac{1}{N-1} \cdot \sqrt{(x_s - x_t)^2 + (y_s - y_t)^2}, \quad (3.24)$$

nebo pro shluk N zdrojů je maximální rozměr shluku

$$L_g = \sqrt{(x_s - x_t)^2 + (y_s - y_t)^2} \quad (3.25)$$

Nechť dále \bar{H} je vážený průměr výšek komínů H_i ve skupině (vahou je tepelná vydatnost zdroje Q_i):

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^N H_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^N Q_i} \quad (3.26)$$

Vlečky z komínů se budou navzájem ovlivňovat za předpokladu současného splnění následujících dvou podmínek:

$$1. \quad \Delta x \leq 1,5 \cdot \bar{H} \quad \text{nebo} \quad L_g \leq 1,5 \cdot \bar{H} \quad (3.27)$$

$$2. \quad 0,5 \cdot \bar{H} \leq H_i \leq 1,5 \cdot \bar{H} \quad (3.28)$$

Výsledná převýšení $\Delta h_i'$ vleček z jednotlivých zdrojů pak lze vyjádřit pomocí faktoru vzrůstu E_{Ni}

$$\Delta h_i' = \Delta h_i \cdot E_{Ni} \quad (3.29)$$

kde Δh_i je převýšení vlečky i-tého zdroje (viz kapitola 3.2.3.1).

Efektivní výška zdroje bez korekce na terén je pak

$$h_i = H_i + \Delta h_i' \quad (3.30)$$

Faktor vzrůstu má tvar

$$E_{Ni} = \left(\frac{N + P_{Ni}}{1 + P_{Ni}} \right)^{1/3} \quad (3.31)$$

Parametr P_{Ni} má pro N zdrojů stojících v řadě za sebou s rozestupy Δx [m] vyjádření

$$P_{Ni} = \frac{6}{\sqrt{N}} \cdot \left(\frac{(N-1) \cdot \Delta x}{\Delta h_i} \right)^{3/2} \quad (3.32)$$

a pro shluk N zdrojů s maximálním rozměrem shluku L_g [m]:

$$P_{Ni} = \frac{6}{\sqrt{N}} \left(\frac{L_g}{\Delta h_i} \right)^{3/2} \quad (3.33)$$

3.2.4 Rychlost a směr větru

3.2.4.1 Vertikální profil větru

Při výpočtu imisních koncentrací potřebujeme znát rychlosti větru ve výškách korun komínů (výduchů) a v jejich efektivních výškách. Ty obdržíme pomocí mocninového profilu větru.

Rychlost větru u_H ve výšce H koruny komína (výduchu) se vypočte podle vzorce

$$\begin{aligned} u_H &= u_{10} && \text{pro } H \leq 10 \text{ m} \\ u_H &= u_{10} \cdot \left(\frac{H}{10}\right)^p && \text{pro } 10 < H < 200 \text{ m} \\ u_H &= u_{10} \cdot 20^p && \text{pro } H \geq 200 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.34)$$

kde u_{10} je rychlost větru ve výšce 10 m nad povrchem země. Takto vypočtenou rychlost dosazujeme do vzorce pro výpočet efektivní výšky zdroje.

Rychlost větru u_h v efektivní výšce komína (výduchu) se vypočte podle vzorce

$$\begin{aligned} u_h &= u_{10} && \text{pro } h_1 \leq 10 \text{ m} \\ u_h &= u_{10} \cdot \left(\frac{h_1}{10}\right)^p && \text{pro } 10 < h_1 < 200 \text{ m} \\ u_h &= u_{10} \cdot 20^p && \text{pro } h_1 \geq 200 \text{ m}. \end{aligned} \quad (3.35)$$

Takto vypočtenou rychlost dosazujeme do hlavního výpočtového vzorce.

tabulka 3.3 Hodnota exponentu p z mocninového profilu větru.

| třída stability | p |
|-----------------|------|
| I | 0,33 |
| II | 0,25 |
| III | 0,18 |
| IV | 0,14 |
| V | 0,10 |

Pokud za u_{10} dosazujeme jiné rychlosti, než třídní rychlosti, ve kterých jsou uváděny větrné růžice, pokládáme za minimální rychlost větru hodnotu $u_{10} = 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Při nízkých rychlostech se v atmosféře začínají uplatňovat jiné procesy rozptylu znečišťujících látek, které nejsou popsány v této metodice a v případě dosazování nižších rychlostí za u_{10} by vypočtené imisní koncentrace rostly nade všechny meze, což odporuje realitě.

3.2.4.2 Změna směru větru s výškou

Předpokládá se stáčení směru větru o 4° na 100 m výšky ve směru hodinových ručiček bez ohledu na stabilitu ovzduší a jiné meteorologické parametry.

Pro azimut směru větru φ_h [$^\circ$] v efektivní výšce h (bez korekce na vliv terénu) platí:

$$\varphi_h = \varphi_{10} + \frac{h-10}{25} \quad \text{pro } h > 10 \text{ m} \quad (3.36)$$

$$\varphi_h = \varphi_{10} \quad \text{pro } h \leq 10 \text{ m}$$

kde φ_{10} je směr větru ve výšce 10 m nad povrchem země. Jestliže je vypočtený směr $\varphi_h > 360^\circ$, pak $\varphi_h = \varphi_h - 360$.

3.2.5 Rozptylové parametry

3.2.5.1 Rozptylové parametry pro bodové zdroje

Rozptylové parametry σ_y , σ_z popisují rychlost rozšiřování vlečky od zdroje v závislosti na vzdálenosti x_L od zdroje ve směru větru. Platí

$$\begin{aligned} \sigma_y &= a_y \cdot x_L^{b_y} \\ \sigma_z &= a_z \cdot x_L^{b_z} \end{aligned} \quad (3.37)$$

kde koeficienty a_y , b_y , a_z , b_z závisí na třídě stability atmosféry podle následujících tabulek.

tabulka 3.4a Hodnoty konstant pro výpočet rozptylových parametrů pro **hodinové** hodnoty imisních koncentrací.

| třída stability | a_y | b_y | a_z | b_z |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| I | 0,1197 | 0,8844 | 0,6273 | 0,5076 |
| II | 0,1373 | 0,8930 | 0,5721 | 0,5797 |
| III | 0,1608 | 0,8986 | 0,4849 | 0,6563 |
| IV | 0,1934 | 0,9018 | 0,3628 | 0,7549 |
| V | 0,3329 | 0,8831 | 0,1999 | 0,9729 |

tabulka 3. 4b Hodnoty konstant pro výpočet rozptylových parametrů pro **osmihodinové** hodnoty imisních koncentrací.

| třída stability | a_y | b_y | a_z | b_z |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| I | 0,1814 | 0,8844 | 0,9508 | 0,5076 |
| II | 0,2081 | 0,8930 | 0,8671 | 0,5797 |
| III | 0,2438 | 0,8986 | 0,7349 | 0,6563 |
| IV | 0,2932 | 0,9018 | 0,5498 | 0,7549 |
| V | 0,5046 | 0,8831 | 0,3030 | 0,9729 |

3.2.5.2 Rozptylové parametry pro plošné zdroje

Počáteční rozptylové parametry σ_{y0} , σ_{z0} (pro $x = 0$) souvisí s rozměry plošného zdroje. Platí:

$$\begin{aligned}\sigma_{y0} &= \frac{y_0}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \\ \sigma_{z0} &= a_z \cdot \left(\frac{y_0}{2}\right)^{b_z}\end{aligned}\quad (3.38)$$

Velikost délky strany čtverce plošného elementu y_0 musí z důvodu stability výpočtu splňovat podmínku: nesmí být větší než nejvyšší možná hodnota y_0 uvedená v následující tabulce.

tabulka 3.5 Maximální délka strany plošného elementu y_0 .

| vzdálenost x_0' [m] nejbližšího referenčního bodu | nejvyšší možná hodnota y_0 [m] |
|---|----------------------------------|
| do 100 m | $x_0'/3$ |
| 100 – 300 m | $x_0'/4$ |
| 300 – 900 m | $x_0'/5$ |
| nad 900 m | $x_0'/6$ |

Velikosti konstant a_z a b_z jsou stejné jako pro výpočet základních rozptylových parametrů pro bodové zdroje.

3.2.5.3 Rozptylové parametry pro liniové zdroje

Počáteční rozptylové parametry σ_{y0} , σ_{z0} (pro $x = 0$) souvisí s rozměry liniového zdroje. Platí:

$$\begin{aligned}\sigma_{y0} &= \frac{y_\zeta}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \\ \sigma_{z0} &= \frac{z_\zeta}{\sqrt{\pi/2}}\end{aligned}, \quad (3.39)$$

kde y_ζ je průmět délky elementu liniového zdroje ve směru větru,
 z_ζ je výška, do které sahá přibližně rovnoměrná koncentrace znečišťující látky nad silnicí.

Veličiny y_ζ a z_ζ získáme výpočtem z následujícího vztahu:

$$\begin{aligned}y_\zeta &= y_0 \cdot \sin\zeta + x_0 \cdot \cos\zeta \\ z_\zeta &= z_0 + \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot a_z \cdot \left(\frac{x_\zeta}{2}\right)^{b_z}\end{aligned}\quad (3.40)$$

kde x_ζ je vzdálenost, po kterou proudění prochází nad elementem silnice:

$$x_\zeta = \min\left(\frac{x_0}{\sin\zeta}, \frac{y_0}{\cos\zeta}\right) \quad (3.41)$$

x_0 je šířka silnice [m],

y_0 je délka elementu [m],

z_0 je výška, do které se přízemní exhalace dostanou vlivem turbulence způsobené průjezdem automobilů.

Pro úhel ζ platí:

$$\begin{aligned} \zeta &= |\varphi - \psi| && \text{pro } 0^\circ \leq |\varphi - \psi| < 90^\circ \\ \zeta &= 180 - |\varphi - \psi| && \text{pro } 90^\circ \leq |\varphi - \psi| < 180^\circ \\ \zeta &= |\varphi - \psi| - 180 && \text{pro } 180^\circ \leq |\varphi - \psi| < 270^\circ \\ \zeta &= 360 - |\varphi - \psi| && \text{pro } 270^\circ \leq |\varphi - \psi| < 360^\circ \end{aligned} \quad (3.42)$$

kde φ je azimut směru větru,

ψ je azimut směru elementu silnice. Vypočítáme jej ze souřadnic x_{z1}, y_{z1} a x_{z2}, y_{z2} koncových bodů elementu podle vztahu:

$$\begin{aligned} \psi &= \arctg\left(\frac{x'}{y'}\right) + 90 \cdot (2 - \text{sgn}(x') \cdot (1 + \text{sgn}(y'))) && \text{pro } x_i \neq 0, y_i \neq 0 \\ \psi &= 180 - 90 \cdot \text{sgn}(x') && \text{pro } y' = 0 \\ \psi &= 90 - 90 \cdot \text{sgn}(y') && \text{pro } x' = 0 \end{aligned} \quad (3.43)$$

kde

$$\begin{aligned} x' &= x_{z2} - x_{z1} \\ y' &= y_{z2} - y_{z1} \end{aligned} \quad (3.44)$$

Jako souřadnice elementu se však do výpočetních rovnic dosazují souřadnice jeho středu určené podle vztahů

$$x_z = \frac{x_{z1} + x_{z2}}{2}, \quad y_z = \frac{y_{z1} + y_{z2}}{2} \quad (3.45)$$

Velikost elementu y_0 se určí podle vztahu

$$y_0 = \sqrt{x'^2 + y'^2} \quad (3.46)$$

Funkce $\text{sgn}(x)$ je definována v kapitole 3.3.1.

Velikost elementu y_0 musí z důvodu stability výpočtu splňovat podmínku: nesmí být větší než nejvyšší možná hodnota y_0 uvedená v následující tabulce.

tabulka 3.6 Maximální délka strany délkového elementu y_0 .

| vzdálenost x_0 [m] nejbližšího referenčního bodu | nejvyšší možná hodnota y_0 [m] |
|--|----------------------------------|
| do 100 m | $x_0/3$ |
| 100 - 300 m | $x_0/4$ |
| 300 - 900 m | $x_0/5$ |
| nad 900 m | $x_0/6$ |

3.2.6 Zahrnutí depozice a transformace znečišťujících látek

Znečišťující látky v atmosféře se podrobují různým procesům, jejichž přičiněním jsou z atmosféry odstraňovány. Jedná se buď o chemické procesy, při nichž se látka, často katalytickou reakcí, mění na jinou, čímž dochází k úbytku původní příměsi, nebo o fyzikální procesy. Ty se dále dělí podle způsobu, jakým jsou příměsi odstraňovány na suchou a mokrou depozici. Suchá depozice je zachytávání plynné nebo pevné látky na zemském povrchu, mokrá depozice je vymývání těchto látek padajícími srážkami.

V modelu je možné počítat jen s prvním přiblížením k reálnému stavu a uvažovat jen roční průměrné hodnoty výše zmíněných rychlostí jednotlivých procesů odstraňování příměsí z atmosféry. Podle průměrné délky setrvání znečišťujících látek v ovzduší rozdělujeme jednotlivé látky do tří kategorií. V následující tabulce jsou uvedeny koeficienty odstraňování pro jednotlivé kategorie znečišťujících látek.

tabulka 3.7 Hodnoty koeficientu odstraňování k_u

| třída | příklad vybraných znečišťujících látek | průměrná doba setrvání v ovzduší | koeficient odstraňování k_u [s^{-1}] |
|-------|---|----------------------------------|--|
| I | sirovodík chlorovodík peroxid vodíku dimetyl sulfid | 20 hodin | $1,39 \cdot 10^{-5}$ |
| II | oxid siřičitý oxid dusnatý oxid dusičitý amoniak sirouhlík formaldehyd PM ₁₀ , PM _{2,5} | 6 dní | $1,93 \cdot 10^{-6}$ |
| III | oxid dusný oxid uhelnatý oxid uhličitý metan vyšší uhlovodíky metyl chlorid karbonyl sulfid | 2 roky | $1,59 \cdot 10^{-8}$ |

Ve výpočtu imisních koncentrací prašných částic je člen s koeficientem odstraňování k_u , zahrnující suchou a mokrou depozici a chemické transformace, nahrazen členem s pádovou rychlostí v_g , popisující pokles osy prašné vlečky.

3.2.7 Zeslabení vlivu nízkých zdrojů na znečištění ovzduší na horách

K zeslabení vlivu nízkých zdrojů ve vyšších nadmořských výškách zavádíme korekční koeficient K_h . Ten závisí na rozdílu nadmořských výšek referenčního bodu a efektivní výšky zdroje h (bez korekce na vliv terénu) a na statistické četnosti výskytu horních hranic inverzí mezi těmito dvěma výškami.

Pravděpodobnost, že se horní hranice inverze vyskytne mezi nějakou nadmořskou výškou z a výškou hladiny 850 hPa, udává relativní kumulativní četnost $F(z)$.

tabulka 3.8 Kumulativní četnosti výskytu inverzí mezi zemí a výškovou hladinou 850 hPa.

| z (m n. m.) | $F(z)$ | z (m n. m.) | $F(z)$ |
|---------------|--------|---------------|--------|
| ≤ 350 | 0,445 | 1000 | 0,140 |
| 400 | 0,444 | 1050 | 0,125 |
| 450 | 0,432 | 1100 | 0,111 |
| 500 | 0,401 | 1150 | 0,092 |
| 550 | 0,360 | 1200 | 0,078 |
| 600 | 0,325 | 1250 | 0,061 |
| 650 | 0,292 | 1300 | 0,049 |
| 700 | 0,261 | 1350 | 0,034 |
| 750 | 0,233 | 1400 | 0,025 |
| 800 | 0,213 | 1450 | 0,015 |
| 850 | 0,189 | 1500 | 0,007 |
| 900 | 0,177 | 1550 | 0,001 |
| 950 | 0,157 | 1600 | 0,000 |

Korekční koeficient K_h se vypočte podle vztahu:

$$\begin{aligned}
 K_h &= 1 - (F'(z_z + h_1) - F'(z_r)) && \text{pro } z_r > z_z + h_1 \\
 K_h &= 1 && \text{pro } z_r \leq z_z + h_1
 \end{aligned}
 \tag{3.47}$$

kde pro $F'(z)$ platí:

v I. a II. třídě stability:

$$F'(z) = 2,247 \cdot F(z)$$

ve III. třídě stability:

$$F'(z) = 1,170 \cdot F(z)$$

$$\text{pro } u_{10} \leq 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$F'(z) = 1,170 \cdot F(z) \cdot \left(1 - \frac{u_{10} - 2,5}{5}\right) \quad \text{pro } 2,5 < u_{10} < 7,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}
 \tag{3.48}$$

$$F'(z) = 0$$

$$\text{pro } u_{10} \geq 7,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

ve IV. a V. třídě stability:

$$F'(z) = 0$$

3.2.8 Pádová rychlost prašných částic

Pádová rychlost prašných částic se vypočte podle následujícího vzorce:

$$v_{gi} = -\frac{3 \cdot \pi \cdot \nu}{2 \cdot C_3 \cdot d_i} + \sqrt{\left(\frac{3 \cdot \pi \cdot \nu}{2 \cdot C_3 \cdot d_i}\right)^2 + \frac{C_2 \cdot \rho_c \cdot g \cdot d_i}{C_3 \cdot \rho}} \quad (3.49)$$

| | |
|--|---|
| d_i | je aerodynamický průměr prašné částice [m] |
| ρ_c | je hustota prašných částic [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] |
| $\rho = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ | je hustota vzduchu |
| $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ | je kinematická viskozita vzduchu |
| $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ | je tíhové zrychlení |
| $C_2 = 0,8$ | je konstanta určující poměr mezi objemem částice a jejím charakteristickým rozměrem |
| $C_3 = 0,6$ | je součinitel odporu tření |

3.3 Výpočet hlavních charakteristik znečištění ovzduší

Hlavními charakteristikami znečištění ovzduší způsobeného danými zdroji jsou:

1. Maximální krátkodobé imisní koncentrace znečišťující látky pro každou vyskytující se kombinaci třídy stability ovzduší a třídy rychlosti větru.
2. Maximální krátkodobá imisní koncentrace bez ohledu na třídu stability a rychlost větru.
3. Průměrná roční imisní koncentrace.
4. Doby během roku, po kterou jsou v daném referenčním bodě překročeny nějaké zvolené hodnoty imisní koncentrace (např. imisní limit atd.).

3.3.1 Výpočet maximálních krátkodobých imisních koncentrací

Před vlastním výpočtem krátkodobých imisních koncentrací je třeba vypočítat data dvojího typu:

1. Máme-li N referenčních bodů ($k = 1, \dots, N$) a P zdrojů ($i = 1, \dots, P$), pak pro každou dvojici zdroj - referenční bod se vypočtou pomocí zvláštního programu hodnoty koeficientu ϑ_{ik} a hodnoty maximální výšky terénu na profilu zdroj - referenční bod nad úrovní úpatí komína $z_{m,ik}$. Získají se tak matice hodnot ϑ_{ik} a $z_{m,ik}$.
2. Pro každou dvojici zdroj - referenční bod se určí azimut δ_{ik} (ve stupních), ve kterém se nachází i -tý zdroj při pohledu z k -tého referenčního bodu. Vztah pro výpočet δ_{ik} má tvar:

$$\begin{aligned} \delta_{ik} &= \arctg\left(\frac{x_d}{y_d}\right) + 90 \cdot (2 - \text{sgn}(x_d) \cdot (1 + \text{sgn}(y_d))) && \text{pro } x_d \neq 0 \text{ a } y_d \neq 0 \\ \delta_{ik} &= 180 - 90 \cdot \text{sgn}(x_d) && \text{pro } y_d = 0 \\ \delta_{ik} &= 90 - 90 \cdot \text{sgn}(y_d) && \text{pro } x_d = 0 \end{aligned} \quad (3.50)$$

kde $x_d = x_{zi} - x_{rk}$ (rozdíl x-souřadnic i -tého zdroje a k -tého referenčního bodu)
 $y_d = y_{zi} - y_{rk}$ (rozdíl y-souřadnic i -tého zdroje a k -tého referenčního bodu)

a funkce $\text{sgn}(x)$ je definována:

$$\begin{aligned} \text{sgn}(x) &= 1 && \text{pro } x > 0 \\ \text{sgn}(x) &= 0 && \text{pro } x = 0 \\ \text{sgn}(x) &= -1 && \text{pro } x < 0 \end{aligned} \quad (3.51)$$

Jsou-li tyto údaje připravené, může začít výpočet krátkodobých imisních koncentrací postupně ve všech referenčních bodech. Výpočet se provádí v jednotlivých třídách stability ovzduší pro rychlosti větru podle následující tabulky.

tabulka 3.9 Rozmezí rychlostí větru pro výpočet maximálních krátkodobých imisních koncentrací

| třída stability | rozmezí u_{10} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] |
|-----------------|---|
| I | 1,5 - 2 |
| II | 1,5 - 5 |
| III | 1,5 - 15 |
| IV | 1,5 - 15 |
| V | 1,5 - 5 |

Přitom v rozmezí u_{10} 1,5 – 3 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ se výpočet provádí po 0,1 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,
v rozmezí u_{10} 3 – 7 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ se výpočet provádí po 0,2 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ a
v rozmezí u_{10} 7 – 15 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ se výpočet provádí po 0,5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Azimut směru větru φ se volí postupně od 1° do 360° s krokem 1° (při větším úhlovém kroku by mohlo dojít k tomu, že ve vzdálených referenčních bodech při inverzích bude kouřová vlečka výpočtem zachycena jen z malé části). Po vyčíslení efektivní výšky h každého zdroje je nutné poopravit azimut δ_k o hodnotu stočení směru větru s výškou:

$$\delta'_{ik} = \delta_{ik} - \frac{h_i - 10}{25} \quad (3.52)$$

Pro každý azimut směru větru φ se sčítají imisní koncentrace vypočtené podle vybrané základní rovnice od těch bodových zdrojů, pro které platí

$$\lambda \leq 20 \quad \text{nebo} \quad \lambda \geq 340^\circ \quad (3.53)$$

nebo od těch plošných a liniových zdrojů, pro které platí

$$\lambda \leq 40 \quad \text{nebo} \quad \lambda \geq 320^\circ \quad (3.54)$$

kde

$$\lambda = |\varphi - \delta'_{ik}| \quad (3.55)$$

Tímto způsobem se získají hodnoty imisních koncentrací $c_{\varphi j}$ pro každý směr větru, třídu stability a rychlost větru. Z těchto hodnot se jako charakteristiky znečištění ovzduší vyberou:

1. Maximální $c_{\varphi j}$ pro
 - I. třídu stability a rychlost větru $1,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
 - II. třídu stability a rychlosti větru $1,7$ a $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
 - III. třídu stability a rychlosti větru $1,7, 5$ a $11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
 - IV. třídu stability a rychlosti větru $1,7, 5$ a $11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
 - V. třídu stability a rychlosti větru $1,7$ a $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Těchto 11 hodnot budeme nazývat maximální krátkodobé imisní koncentrace pro dané rozptylové podmínky (ozn. c_j).

2. Maximální $c_{\varphi j}$ bez ohledu na třídy stability ovzduší a rychlost větru. Tuto hodnotu nazveme maximální možná krátkodobá imisní koncentrace a označíme c_{max} . Zároveň bude uvedeno, při jaké třídě stability ovzduší, jaké rychlosti větru a při jakém směru větru se bude vyskytovat.

3.3.2 Výpočet průměrných ročních imisních koncentrací

K výpočtu průměrných ročních imisních koncentrací je nejprve nutné zkonstruovat podrobnou větrnou růžici, tj. stanovit četnosti výskytu směru větru pro každý azimut od 1° do 360° (s krokem 1°) při všech třídách stability a třídách rychlosti větru.

Větrná růžice dělená podle tříd stability a rychlosti větru, která je vstupním údajem, obsahuje relativní četnosti v procentech pro 8 základních směrů větru a četnosti bezvětří ve všech třídách stability. V každé třídě stability nejprve rozpočítáme četnosti bezvětří do všech 8 směrů větru v 1. třídě rychlosti větru podle poměru četností v jednotlivých směrech a získáme tak pro 8 směrů větru přepočtené relativní četnosti $f(\varphi_s)$. Četnosti f_φ v podrobné větrné růžici pak vypočteme:

$$f_\varphi = \frac{1}{4500} \cdot \left[f(\varphi_1) + \frac{\varphi - \varphi_1}{45} (f(\varphi_2) - f(\varphi_1)) \right] \quad (3.56)$$

kde φ_1 a φ_2 jsou sousední směry větru v 8dílné větrné růžici.

Hodnoty f_φ jsou udané jako skutečné relativní četnosti, nikoliv tedy v %. Proto bude platit

$$\sum_j \sum_\varphi f_{\varphi j} = 1 \quad (3.57)$$

kde součet přes j probíhá přes všechny třídy stability a v nich se vyskytující třídy rychlosti větru (celkem 11 různých rozptylových podmínek) a φ probíhá všechny azimuty od 1° do 360° .

Dále je k výpočtu ročních průměrů potřeba pro každý zdroj určit tzv. relativní roční využití maximálního výkonu α . Tato hodnota se získá u zdrojů s přibližně stálou emisí znečišťující látky (většinou u technologií) z roční provozní doby P_r [hod.]:

$$\alpha = \frac{P_r}{8760} \quad (3.58)$$

U zdrojů se sezónními výkyvy výkonu (většinou u spalovacích procesů) se α z množství spáleného paliva S_h [$\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$, $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$] za hodinu při jmenovitém výkonu spalovacího zařízení a z ročního množství S_r [$\text{kg}\cdot\text{r}^{-1}$, $\text{m}^3\cdot\text{r}^{-1}$] spáleného paliva:

$$\alpha = \frac{S_r}{8760 \cdot S_h}, \quad (3.59)$$

U liniových zdrojů se pro jednotlivé typy dopravy za α považuje podíl průměrné a maximální intenzity provozu. Jedná se tedy o převrácenou hodnotu z tab. 2.4 vydělenou 24.

Označíme-li tedy α_i relativní roční využití max. výkonu i -tého zdroje a $c_{i\varphi j}$ hodinovou imisní koncentraci způsobenou i -tým zdrojem při směru větru φ a rozptylových podmínkách j , bude pro průměrnou roční imisní koncentraci v daném referenčním bodě platit:

$$\bar{c} = \sum_j \sum_\varphi \left(f_{\varphi j} \cdot \sum_i \alpha_i \cdot c_{i\varphi j} \right) \quad (3.60)$$

3.3.3 Výpočet doby překročení zvolených imisních koncentrací

Před výpočtem doby překročení určité hodnoty imisní koncentrace během roku je nutné:

1. zvolit tuto imisní koncentraci (označíme ji c_R),
2. seřadit všechny zdroje podle klesajícího α . Jako první se bude počítat imisní koncentrace od zdroje s nejvyšším α , jako poslední imisní koncentrace od zdroje s nejmenším α .

Během výpočtu hodnoty $c_{\varphi j}$ (imisní koncentrace od všech zdrojů v daném místě při směru větru φ a rozptylových podmínkách j) postupným načítáním hodnot $c_{i\varphi j}$ (imisních koncentrací od jednotlivých zdrojů) se po každém načtení testuje, zda součet již překročil nebo ještě nepřekročil hodnotu c_R . Jestliže dojde k překročení c_R po načtení imisní koncentrace od r -tého zdroje z řady zdrojů uspořádaných podle jejich α , pak označíme

$$t_{R\varphi j} = \alpha_r \quad (3.61)$$

Při různých směrech větru φ a rozptylových podmínkách j bude k překročení c_R docházet obecně při různých pořadových číslech zdrojů r . Celková doba překročení zvolené imisní koncentrace c_R v daném referenčním bodě se pak dá vypočítat podle vztahu

$$T_R = 8760 \cdot \sum_j \sum_\varphi t_{R\varphi j} \cdot f_{\varphi j} \quad (3.62)$$

a udává se v hodinách za rok.

Čím vyšší je v rozmezí počítaných imisních koncentrací c_j hodnota zvolené imisní koncentrace c_R , tím více znamená T_R horní odhad doby jejího překročení a to ze dvou důvodů:

1. Předpokládáme, že po dobu vyjádřenou nejmenším α_i jsou v provozu všechny zdroje najednou. To je sice pravděpodobné (při nízkých teplotách v zimě bývají všechny kotelny v provozu), ale ne vždy to beze zbytku platí.
2. Předpokládáme provoz všech zdrojů na jejich jmenovitý výkon, což rovněž nemusí být vždy splněno.

Bez těchto dvou předpokladů by však výpočet T_R nebylo možné pro více zdrojů provést, pokud bychom neznali mnoho dalších vstupních údajů.

V praxi je výhodné počítat doby překročení několika zvolených hodnot c_R současně, výsledky pak dávají lepší přehled o úrovni znečištění ovzduší daného místa. Hodnoty c_R se pak obvykle volí jako imisní limit a jeho díly nebo násobky.

4. DALŠÍ APLIKACE VÝPOČTU ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ

4.1 Stanovení výšky komína nebo výduchu (dále jen komína)

4.1.1 Stanovení výšky komína v terénu

Obecný postup stanovení potřebné výšky komína:

1. Stanovit podmínky pro hodnocení polí imisních koncentrací s přihlédnutím k již existujícímu znečištění dané oblasti.
2. Vhodným způsobem zvolit referenční body v okolí komína.
Referenční body by se měly nacházet na nejexponovanějších místech z hlediska znečištění ovzduší daným zdrojem, tj. na vyvýšených místech, na svazích přivrácených ke zdroji a v případě zdroje poblíž zástavby na horních hranách fasád nejvyšších budov. V případě zdroje v rovinném nebo jen málo zvlněném terénu je nutno umístit referenční body do různých vzdáleností od zdroje a do směru, kam bude převládající vítr unášet vlečku.
3. Zvolit určitou výšku komína H a pro ni v referenčních bodech vypočítat charakteristiky znečištění ovzduší podle dříve popsanych pravidel.
4. Srovnat výsledné hodnoty s podmínkami pro hodnocení pole imisních koncentrací předem stanovené v bodě 1.
5. Opakovat výpočty pro novou výšku komína H , až budou podmínky pro hodnocení polí imisních koncentrací předem stanovené podle bodu 1 splněny.

Zdroj, u kterého je třeba stanovit výšku jeho komína, se posuzuje buď samostatně nebo společně s ostatními zdroji v daném závodu nebo provozu. Není přípustné určovat výšku komína s ohledem na znečištění ovzduší, které působí zdroje jiných závodů a provozů.

4.1.2 Korekce vypočtené výšky komína na okolní zástavbu

Nachází-li se zdroj v zástavbě nebo v její blízkosti, je navíc třeba provádět korekci vypočtené výšky komína H , abychom eliminovali ovlivnění proudění vzduchu budovami v nejnižší vrstvě atmosféry.

Za zdroj blízký budově považujeme takový, který je umístěn ve vzdálenosti menší, než je čtyřnásobek výšky budovy. Platí:

$$\begin{aligned} \text{je-li } x_l \leq 4 \cdot l_m, & \text{ považujeme zdroj za umístěný v blízkosti zástavby,} \\ \text{je-li } x_l > 4 \cdot l_m, & \text{ nepovažujeme zdroj za umístěný v blízkosti zástavby,} \end{aligned} \quad (4.1)$$

kde x_l je vzdálenost zdroje od budovy [m]

l_m je výška této budovy.

Korigovaná výška komína H' se vypočte podle vztahu:

$$H' = \frac{H + 1,5 \cdot l_B}{1,6} \quad \text{pro } H < 2,5 \cdot l_m, \quad (4.2)$$

$$H' = H \quad \text{pro } H \geq 2,5 \cdot l_m,$$

kde $l_B = \min(l_m, \max(W, L))$

l_m je výška budovy [m],

W je šířka budovy v m (kolmo na spojnici zdroj - budova),

L je délka budovy v m (ve směru spojnice zdroj - budova).

4.1.3 Obecná pravidla

- Pokud korigovaná výška komína H' vychází nižší než 10 m, je vhodné požadovat výšku rovnou 10 m. Je to z důvodu, že v nejnižší vrstvě atmosféry se často vyskytují značně nepříznivé podmínky pro rozptyl znečišťujících látek, které metodika nepostihuje a které by v případě nízkých komínů mohly vést k vysokým hodnotám znečištění.
- Pokud výška komína vychází vyšší než 200 m, je třeba omezit koncentrace znečišťujících látek prostřednictvím snížení emisí z daného zdroje a nikoliv stavbou velmi vysokých komínů.

4.2 Výpočet spadu prachu

Depozicí (spadem) se rozumí součin imisní koncentrace a pádové rychlosti.

U prachu je postup výpočtu komplikovanější z důvodu, že prašné emise obsahují prašné částice o různých velikostech, tedy částice s různou pádovou rychlostí v_g (viz vzorec 3.49). Proto musíme pádovou rychlostí vynásobit imisní koncentrace pro každou velikost částic samostatně.

Pádová rychlost prašných částic menších než 10 μm je však velmi malá. Depozice takto malých částic je více závislá na vymývání atmosféry srážkami a na dalších procesech, takže použití pádové rychlosti v_g podhodnocuje spad prašné frakce PM_{10} . Proto v případě částic menších než 10 μm použijeme místo pádové rychlosti v_g depoziční rychlost v_d , jejíž hodnota pro tyto částice byla převzata z TA Luft [12] a činí 0,01 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pro částice menší než 2,5 μm činí hodnota depoziční rychlosti v_d 0,001 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ [12].

Se zvyšováním velikosti prašných částic nad 10 μm pádová rychlost částic rychle vzrůstá a stává se hlavní příčinou sedimentace prachu, takže pro větší částice ji lze i nadále ve výpočtu prašného spadu použít.

4.2.1 Spad prachu pro bodový zdroj

Hodnotu prašného spadu v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ pro bodový zdroj při směru větru φ a třídě stability j vypočteme podle následujícího vzorce:

(4.3)

$$W = \frac{10^6 \cdot M}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u_{hl} + V_s} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot K_h \cdot \left[\sum_{i=1}^{r_c} \frac{\alpha_{pi}}{100} \cdot v_{gi} \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z' - (h_1 - h_{gi}))^2}{2\sigma_z^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(z'' + h_1 + h_{gi})^2}{2\sigma_z^2}\right) + \vartheta \cdot \exp\left(-\frac{(z''' - (h_1 + h_{gi}))^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \right]$$

4.2.2 Spad prachu pro plošný zdroj

Hodnotu prašného spadu v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ pro element plošného zdroje při směru větru φ a třídě stability j vypočteme podle následujícího vzorce:

(4.4)

$$W = \frac{10^6 \cdot M_E}{2 \cdot \pi \cdot (\sigma_y + \sigma_{y0}) \cdot (\sigma_z + \sigma_{z0}) \cdot u_{hl}} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2(\sigma_y + \sigma_{y0})^2}\right) \cdot K_h \cdot \left[\sum_{i=1}^{r_c} \frac{\alpha_{pi}}{100} \cdot v_{gi} \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z' - (h_1 - h_{gi}))^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(z'' + h_1 + h_{gi})^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + \vartheta \cdot \exp\left(-\frac{(z''' - (h_1 + h_{gi}))^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) \right] \right]$$

4.2.3 Spad prachu pro liniový zdroj

Hodnotu prašného spadu v $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ pro element liniového zdroje při směru větru φ a třídě stability j vypočteme podle následujícího vzorce:

(4.5)

$$W = \frac{10^6 \cdot M_L \cdot y_0}{2 \cdot \pi \cdot (\sigma_y + \sigma_{y0}) \cdot (\sigma_z + \sigma_{z0}) \cdot u_{hl}} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2(\sigma_y + \sigma_{y0})^2}\right) \cdot K_h \cdot \left[\sum_{i=1}^{r_c} \frac{\alpha_{pi}}{100} \cdot v_{gi} \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z' - (h_1 - h_{gi}))^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(z'' + h_1 + h_{gi})^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) + \vartheta \cdot \exp\left(-\frac{(z''' - (h_1 + h_{gi}))^2}{2(\sigma_z + \sigma_{z0})^2}\right) \right] \right]$$

4.2.4 Roční spad znečišťující látky

Roční spad se vypočte podle vzorce

$$\bar{W} = 31,536 \cdot \sum_j \sum_{\varphi} \left(f_{\varphi j} \cdot \sum_k \alpha_k \cdot W_{k\varphi j} \right), \quad (4.6)$$

kde \bar{W} je roční spad prachu [$\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$],

W_{kji} je krátkodobý spad prachu při směru větru φ a třídě stability j ,

$f_{\varphi j}$ je četnost výskytu větru o směru φ v j -té třídě stability [-] a

α_k je relativní roční využití maximálního výkonu k -tého zdroje podle kapitoly 3.3.2.

4.2.5 Měsíční spad znečišťující látky

Pro výpočet měsíční hodnoty spadu prachu \bar{W}_m z krátkodobých hodnot W je možné užít vztah (4.6) z kapitoly 4.2.4. pro výpočet ročního spadu s tím, že konstantu 31,536 nahradíme konstantou 12krát menší, tj. 2,628.

Platí

$$\bar{W}_m = 2,628 \cdot \sum_j \sum_{\varphi} \left(f_{\varphi j} \cdot \sum_k \alpha_k \cdot W_{k\varphi j} \right) \quad (4.6a)$$

kde \bar{W}_m je měsíční spad prachu [$\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{měsíc}^{-1}$],

W_{kji} je krátkodobý spad prachu při směru větru φ a třídě stability j ,

$f_{\varphi j}$ je četnost výskytu větru o směru φ v j -té třídě stability [-] a

α_k je relativní roční využití maximálního výkonu k -tého zdroje podle kapitoly 3.3.2.

4.3 Výpočet podílů jednotlivých zdrojů na znečištění ovzduší

Při zjišťování podílu zdrojů na znečištění ovzduší má smysl počítat pouze podíl jednotlivých uvažovaných zdrojů na vypočtené průměrné roční imisní koncentraci dané znečišťující látky v daném místě. Podíly zdrojů na vypočtených maximálních krátkodobých imisních koncentracích vypovídají o vlivu zdrojů na znečištění ovzduší podstatně méně, proto jejich výpočet zde ani neuvádíme.

Označíme-li α_i relativní roční využití maximálního výkonu i -tého zdroje a $c_{i\varphi j}$ imisní koncentraci způsobenou v referenčním bodě i -tým zdrojem při směru větru φ a rozptylových podmínkách j (j -tá třída stability), pak pro podíl i -tého zdroje na průměrné roční imisní koncentraci v daném bodě bude platit

$$p_i = \frac{100 \cdot \alpha_i}{\bar{c}} \cdot \sum_j \sum_{\varphi} f_{\varphi j} \cdot c_{i\varphi j} \quad [\%] \quad (4.7)$$

kde $f_{\varphi j}$ jsou relativní četnosti směrů větru φ při rozptylových podmínkách j v podrobné větrné růžici a

\bar{c} je průměrná roční imisní koncentrace podle 3.3.2.

Takto vypočtený podíl určitého zdroje na průměrné roční imisní koncentraci znečišťující látky v daném bodě však znamená pouze podíl vzhledem k ostatním uvažovaným zdrojům. Protože platnost metodiky je omezena vzdáleností referenčního bodu od zdroje 100 km, nelze mezi uvažované zdroje nikdy zahrnout všechny zdroje, které ve skutečnosti znečištění ovzduší v daném bodě ovlivňují. **Proto podíly vypočtené podle této kapitoly nemohou nahradit podíly zdrojů počítané podle jiných modelů, které zahrnují transport znečišťujících látek na střední a větší vzdálenosti (např. modely trajektoriové), a vyjadřované vzhledem k celkovému (např. změřenému) znečištění daného místa znečišťující látkou.**

4.4 Výpočet doby překročení zvolených imisních koncentrací pro zdroj se sezónně proměnnou emisí

Tento postup se týká zdrojů znečištění ovzduší, jejichž emise dosahují maximálních hodnot pouze po velmi krátkou dobu v roce a po podstatnou část své roční provozní doby emitují jen menší množství znečišťující látky nebo žádnou. Je to typický případ výtopen a tepláren, jejichž plný výkon je využíván pouze v krátkých obdobích silných mrazů, dále pak cukrovarů apod.

Pokud u takových zdrojů počítáme dobu T_R překročení předem zvolených imisních koncentrací postupem uvedeným dříve, pak u vysokých předem zvolených imisních koncentrací c_R dostáváme vyšší hodnoty T_R a u nízkých c_R menší hodnoty T_R než odpovídá skutečnosti. Chceme-li tento nedostatek odstranit, musíme zvolit následující postup:

Z křivky výkonu zdroje během roku odečteme, po jakou dobu v roce P_{ri} [h] je zdroj provozován na kolik procent (n_i) plného výkonu. Získáme tak p provozních režimů daného zdroje, kde $i = 1, \dots, p$. Je-li M [$\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$] emise znečišťující látky při plném výkonu a V_s [$\text{Nm}^3\cdot\text{s}^{-1}$] objemový tok spalin z komína za normálních podmínek, pak pro jednotlivé provozní režimy bude platit:

$$M_i = M \cdot \frac{n_i}{100} \quad (4.8)$$

$$V_{si} = V_s \cdot \frac{n_i}{100} \quad (4.9)$$

a poměrná doba trvání provozního režimu v roce bude

$$\alpha_i = \frac{P_{ri}}{8760} \quad (4.10)$$

S těmito vstupními parametry provedeme výpočet imisních koncentrací podle základních postupů. Označíme-li $c_{i\varphi}$ imisní koncentraci v referenčním bodě při i -tém provozním režimu, při směru větru φ a při rozptylových podmínkách j , pak dobu trvání překročení zvolené imisní koncentrace c_R můžeme vyjádřit

$$T_R(c_R) = 8760 \cdot \sum_j \sum_{\varphi} \left(f_{\varphi} \cdot \sum_i \alpha_i \right) \quad (4.11)$$

kde součet $\sum_i \alpha_i$ probíhá jen přes takové provozní režimy i , pro které platí $c_{i\varphi} > c_R$.

Hodnoty c_{max} , c_j a roční průměry imisních koncentrací počítáme podle základního postupu. Výpočet maximálních krátkodobých imisních koncentrací je totiž potřeba provádět z hodnot M a V_s při jmenovitém výkonu zdroje a vypočtenou hodnotu ročních průměrů imisních koncentrací by nový postup stejně neovlivnil.

Celý postup popsany v této kapitole je však možné použít jen pro jediný zdroj znečištění ovzduší. Při více proměnných zdrojích bychom se dostali do velkých komplikací při určování vzájemných kombinací jednotlivých provozních režimů zdrojů.

4.5 Výpočet imisních koncentrací NO₂

Zdroje (zejména při spalovacích procesech) emitují převážně NO, který teprve pod vlivem slunečního záření a ozónu oxiduje na NO₂, přičemž rychlost této reakce značně závisí na okolních podmínkách v atmosféře. Pro popis konverze NO na NO₂ využijeme obdobného postupu, jaký se používá pro modelování úbytku znečišťující látky v ovzduší, kdy se zavádí průměrná doba jejího setrvání v atmosféře.

Pro výpočet imisní koncentrace NO a NO₂ v ovzduší platí

$$c_{NO_2} = c'_{NO_2} + c'_{NO} \left[1 - \exp\left(-k_p \cdot \frac{x_L}{u_{hl}}\right) \right] \cdot 0,9 \quad (4.12a)$$

$$c_{NO} = c'_{NO} \left[0,1 + 0,9 \cdot \exp\left(-k_p \cdot \frac{x_L}{u_{hl}}\right) \right] \quad (4.12b)$$

kde c'_{NO_2} resp. c'_{NO} je imisní koncentrace NO₂ resp. NO vypočtená v daném bodě z množství emisí NO₂ resp. NO podle původní metodiky SYMOS'97.

x_L je vzdálenost referenčního bodu od zdroje ve směru větru,

u_{hl} je rychlost větru v efektivní výšce zdroje korigované na tvar terénu h_l a

k_p je koeficient přírůstku NO₂. Jeho hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

tabulka 4.1 Hodnoty koeficientu přírůstku NO₂

| třída stability | koeficient k_p [s ⁻¹] |
|-----------------|--------------------------------------|
| I | $0,96 \cdot 10^{-4}$ |
| II | $1,11 \cdot 10^{-4}$ |
| III | $1,46 \cdot 10^{-4}$ |
| IV | $2,31 \cdot 10^{-4}$ |
| V | $5,56 \cdot 10^{-4}$ |

Poměr zastoupení NO a NO₂ v emisích NO_x je pro jednotlivé typy zdrojů uveden v aktuálním metodickém pokynu MŽP.

4.6 Výpočet denních imisních koncentrací částic PM₁₀ a SO₂

4.6.1 Výpočet maximálních denních imisních koncentrací

Postup výpočtu je stejný jako v odst. 3.3.1. při výpočtu maximálních krátkodobých imisních koncentrací až po načítání hodinových hodnot imisních koncentrací od

jednotlivých zdrojů pro daný směr větru, třídu stability a rychlost větru. Při tomto načítání se v každém kroku celková získaná hodinová imisní koncentrace přepočte na denní imisní koncentraci podle následujících vztahů [9].

Pro SO₂:

$$C_d = 0,7439 \cdot C_h \cdot P_d / 24 \quad \text{pro } C_h \leq 388 \text{ } \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \quad (4.13)$$

$$C_d = (0,0342 \cdot C_h + 275,5) \cdot P_d / 24 \quad \text{pro } C_h > 388 \text{ } \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$$

Pro PM₁₀:

$$C_d = 0,8364 \cdot C_h \cdot P_d / 24 \quad \text{pro } C_h \leq 360 \text{ } \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \quad (4.14)$$

$$C_d = [0,03482 \cdot (\ln C_h)^{5,1144}] \cdot P_d / 24 \quad \text{pro } C_h > 360 \text{ } \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} ,$$

kde C_d je maximální možná průměrná denní imisní koncentrace v průběhu roku,
 C_h je maximální možná hodinová imisní koncentrace v průběhu roku, stanovená modelem SYMOS,
 P_d je počet hodin za den, kdy je zdroj v činnosti.

Přepočtením výsledné hodinové hodnoty (po načtení imisních koncentrací od všech zdrojů připadajících pro daný azimut větru v úvahu) získáme pro každý směr větru, třídu stability a rychlost větru výslednou "denní" imisní koncentraci $C_{d\phi_j}$, se kterou dále zacházíme stejně jako v případě hodinových hodnot. To znamená, že se z těchto hodnot vybere jednak maximální imisní koncentrace C_{dj} pro každou přípustnou kombinaci třídy stability a třídy rychlosti větru (celkem 11 hodnot) a jednak nejvyšší imisní koncentrace C_{dmax} bez ohledu na třídu stability a rychlost větru. Tyto hodnoty budou mít význam maximálních průměrných denních imisních koncentrací, pokud by podmínky, za kterých mohou nastat, trvaly celý den.

4.6.2 Výpočet počtu případů překročení stanovených hodnot za rok

Postup je obdobný jako v odst. 3.3.3. při výpočtu doby překročení zvolených imisních koncentrací. Během načítání hodinových hodnot imisních koncentrací od jednotlivých zdrojů pro daný směr větru, třídu stability a rychlost větru se v každém kroku celková získaná hodinová imisní koncentrace přepočte na denní imisní koncentraci podle rovnic uvedených v odst. 4.6.1. Po každém načtení a přepočtu se testuje, zda vypočtená "denní" hodnota již překročila nebo ještě nepřekročila zvolenou hodnotu c_R . Další postup je zcela shodný s výpočtem doby překročení u hodinových hodnot (odst. 3.3.3), pouze s tím rozdílem, že se použijí "denní" hodnoty. Výsledná doba překročení stanovených imisních koncentrací (např. imisního limitu) bude i nadále vycházet v hodinách za rok. Je tedy nutné ji přepočítat na dny za rok, aby bylo možné výsledek srovnat s limitem pro počet výskytů denní imisní koncentrace vyšší než imisní limit. Pokud vyjde doba překročení nižší než 24 hodin za rok, bude se předpokládat, že k výskytu nadlimitní hodnoty dojde v průměru jednou za více let, nepřímo úměrně vypočtenému počtu hodin.

4.6.3 Překročení 24hodinového imisního limitu pro suspendované částice PM_{10}

Pro výpočet počtu případů překročení 24hodinového imisního limitu pro suspendované částice PM_{10} ze silnic (VoL) je vhodné použít metodu popsanou v [7] a zde uváděnou. Výsledné hodnoty se zaokrouhlí na celé dny.

- a) Pro hodnoty průměrných ročních imisních koncentrací $PM_{10} \leq 13,3 \mu g \cdot m^{-3}$:

$$VoL = 0 \quad (4.15a)$$

- b) Pro hodnoty průměrných ročních imisních koncentrací $PM_{10} > 13,3 \mu g \cdot m^{-3}$:

$$VoL \doteq a + b \cdot (1 - \exp(- (Ihr - d \cdot \log(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}) - c) / d))^2 \quad (4.15b)$$

kde Ihr je průměrná roční imisní koncentrace suspendovaných částic PM_{10} [$\mu g \cdot m^{-3}$] a konstanty a , b , c , d nabývají následujících hodnot:

$$\begin{aligned} a &= 0,5155 \\ b &= 348,8097 \\ c &= 63,8863 \\ d &= 41,1309 \end{aligned}$$

5. SPECIÁLNÍ POSTUPY VÝPOČTU ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ

5.1 Výpočet extrémního znečištění ovzduší při inverzích a bezvětrí

Použitá metoda Gaussovského rozptylu kouřové vlečky neumožňuje stanovení imisních koncentrací znečišťujících látek v ovzduší za extrémně nepříznivých podmínek, při bezvětrí a inverzích. Přitom tyto podmínky nastávají často zejména v údolích, trvají řadu hodin nebo i dní a jsou příčinou kalamitních situací z hlediska znečištění ovzduší.

Pro odhad imisních koncentrací při těchto situacích použijeme metodu upraveného box-modelu. Předpokládáme uzavřené údolí nebo kotlinu, ve které jsou zdroje znečištění ovzduší, bezvětrí, inverzní teplotní zvrstvení a kde ve výšce L nad dnem kotliny je horní hranice směšovací vrstvy.

Horní hranice směšovací vrstvy se ztotožňuje s horní hranicí přízemní nebo dolní hranicí výškové inverze. Tato horní hranice směšovací vrstvy tvoří plochu, skrz kterou exhalace neprostupují (s výjimkou prorážení inverze kouřovou vlečkou těsně nad komínem) a chová se tedy stejně jako "odrazová" plocha zemského povrchu.

Při použití box-modelu předpokládáme, že po začátku trvání podmínek bezvětrí a inverze jsou imisní koncentrace v kotlině závislé pouze na době trvání inverze, výšce horní hranice směšovací vrstvy a na vertikální souřadnici z . Horizontálně jsou imisní koncentrace v celé kotlině v každém okamžiku stejné.

Vertikální rozptyl exhalací záleží na podmínkách rozptylu v inverzní vrstvě, předpokládáme přitom rozptylové podmínky ve II. třídě stability atmosféry.

Dále je třeba rozlišit, ze kterých zdrojů se exhalace dostanou nad horní hranici směšovací vrstvy a ze kterých nikoliv. Pokud koruna komína zasahuje nad hranici směšovací vrstvy ($H > L$), je zřejmé, že kouřová vlečka se bude pohybovat nad touto hranicí. Pokud efektivní výška $h = H + \Delta h_0$ počítaná pro rychlost větru $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ nedosáhne hranice směšovací vrstvy, je opět zřejmé, že tentokrát exhalace zůstanou pod touto hranicí. V ostatních případech přijmeme následující předpoklad:

$$\text{Je-li} \quad H + \frac{\Delta h_0}{2} > L, \quad (5.1)$$

pak tepelný vznos kouřové vlečky prorazí hranici směšovací vrstvy, exhalace se dostanou nad ní a imisní koncentraci v kotlině neovlivní.

$$\text{Je-li} \quad H + \frac{\Delta h_0}{2} \leq L, \quad (5.2)$$

pak tepelný vznos kouřové vlečky na proražení směšovací vrstvy nestačí a exhalace zůstanou pod touto hranicí. Efektivní výška vlečky je pak rovna výšce směšovací vrstvy L .

Převýšení vlečky získáme ze vztahu $\Delta h_0 = A \cdot Q^B$ (viz kapitola 3.2.3.1).

Údolí, ve kterém se výpočet provádí, rozdělíme vertikálně na n vrstev o tloušťce Δz . Výšky horních hranic těchto vrstev označíme z_k , $k = 1, \dots, n$, potom $z_n = L$.

Plochy údolí ve výškách z_k označíme P_k . Objemy vzduchu v jednotlivých vrstvách pak budou

$$V_k = \frac{\Delta z}{3} \cdot (P_{k-1} + \sqrt{P_{k-1} \cdot P_k} + P_k) \quad (5.3)$$

Ve výškách z_k zároveň vypočítáme fiktivní imisní koncentrace c_{fi} od všech zdrojů, jejichž exhalace zůstávají uvnitř inverze:

$$c_{fi}(z_k) = \frac{10^6 \cdot M_i}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{yi} \cdot \sigma_{zi} \cdot u} \cdot (E_{1i} + E_{2i} + E_{3i} + E_{4i} + E_{5i} + E_{6i}), \quad (5.4)$$

kde

$$\begin{aligned} E_{1i} &= \exp \left[-\frac{(z_k - h_i)^2}{2 \cdot \sigma_z^2} \right] \\ E_{2i} &= \exp \left[-\frac{(z_k + h_i)^2}{2 \cdot \sigma_z^2} \right] \\ E_{3i} &= \exp \left[-\frac{(z_k - h_i - 2 \cdot L)^2}{2 \cdot \sigma_z^2} \right] \\ E_{4i} &= \exp \left[-\frac{(z_k + h_i - 2 \cdot L)^2}{2 \cdot \sigma_z^2} \right] \\ E_{5i} &= \exp \left[-\frac{(z_k - h_i + 2 \cdot L)^2}{2 \cdot \sigma_z^2} \right] \\ E_{6i} &= \exp \left[-\frac{(z_k + h_i + 2 \cdot L)^2}{2 \cdot \sigma_z^2} \right] \end{aligned} \quad (5.5)$$

Výpočtová rovnice popisuje rozptyl exhalací pod hranicí směšovací vrstvy s vyloučením bočního horizontálního rozptylu. Za rychlost větru u se dosazuje hodnota $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a za h_i hodnota $H_i + \Delta h_{0i}$. Dále předpokládáme, že za bezvětří exhalace nevystupují podél svahů vzhůru, takže neplatí vzájemné ovlivňování výšek h_i a z .

Rozptylové parametry σ_y a σ_z závisí na vzdálenosti od zdroje x [m]. V případě výpočtu za bezvětří za hodnotu x bereme vzdálenost, do které by se exhalace dostaly při rychlosti větru $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ za dobu trvání inverze, tj.

$$x = 1800 \cdot T \quad (5.6)$$

kde T je doba trvání bezvětří a inverze v hodinách.

Fiktivní imisní koncentrace c_{fi} od všech zdrojů, jejichž exhalace zůstávají ve směšovací vrstvě, se pro každou výšku sečtou:

$$c_f(z_k) = \sum_i c_{fi}(z_k) \quad (5.7)$$

Označme M_f součet násobků celkových fiktivních imisních koncentrací a objemů vzduchu, ve kterých se vyskytují, přes všechny nadmořské výšky až do horní hranice směšovací vrstvy L (výška hranice nad dnem kotliny). Jedná se vlastně o fiktivní obsah znečišťující látky ve směšovací vrstvě:

$$M_f = \sum_k c_f(z_k) \cdot V_k \quad (5.8)$$

Ve skutečnosti je však za dobu T hodin emitováno do ovzduší celkové množství M_c znečišťující látky:

$$M_c = 3600 \cdot T \cdot \sum_i M_i \quad (5.9)$$

kde M_i jsou emise jednotlivých zdrojů v $\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$ a suma probíhá přes ty zdroje, jejichž exhalace zůstávají ve směšovací vrstvě.

Skutečný vertikální profil imisních koncentrací $c(z)$ pod hranicí směšovací vrstvy pak bude

$$\begin{aligned} c(z_k) &= c_f(z_k) \cdot \frac{M_c}{M_f} && \text{pro } M_f \neq 0 \\ c(z_k) &= 0 && \text{pro } M_f = 0 \end{aligned} \quad (5.10)$$

Pro tento skutečný vertikální profil pak bude platit

$$M_c = \sum_k c(z_k) \cdot V_k \quad (5.11)$$

tj. množství znečišťující látky rozptýlené ve vzduchu v kotlině se rovná jejímu množství emitovanému do ovzduší v kotlině ze zdrojů exhalací za dobu trvání inverze.

Pro výpočet krátkodobé imisní koncentrace v referenčním bodě za podmínek bezvětří a inverze pak postačí z vypočtených hodnot vertikálního profilu imisních koncentrací vypočítat lineární interpolací správnou hodnotu pro danou nadmořskou výšku referenčního bodu.

Určitým nedostatkem této metody je fakt, že tímto způsobem je možné počítat extrémní znečištění pouze v údolích, kotlinách atd. (i když zde k němu dochází nejčastěji), protože v rovinném terénu nejsou zřejmé hranice uzavřeného objemu vzduchu, do kterého zdroje znečištění exhalují. Tento nedostatek se dá obejít v oblastech, kde již delší dobu probíhá měření znečištění ovzduší. V těchto oblastech se hranice uzavřeného objemu vzduchu dají zhruba stanovit v místech, kde podle průměrných ročních imisních koncentrací končí území s vysokým znečištěním ovzduší.

Vzhledem k tomu, že pro převážnou většinu míst v ČR nejsou k dispozici žádná meteorologická data o četnosti výskytu horních hranic inverzí při současném bezvětří ani o době trvání bezvětří při inverzích, je možné popsanou metodu využívat pouze k výpočtu extrémních krátkodobých imisních koncentrací za předem stanovených podmínek.

5.2 Rozptyl exhalací z chladících věží tepelných elektráren

Metoda výpočtu rozptylu z chladících věží elektráren předpokládá, že spaliny z elektrárny nejsou vypouštěné komínem, ale jsou zavedené do chladících věží a spolu s vlhkým vzduchem z věže unikají do ovzduší.

Pro výpočet převýšení exhalační vlečky z chladících věží platí:

a) pro stabilní teplotní zvrstvení (tj. pro I., II. a III. třídu stability):

$$\Delta h = \frac{1,6 \cdot F^{1/3} \cdot x_L^{2/3}}{u_H} \quad \text{pro } x_L < x'_h \quad (5.12)$$

$$\Delta h = 2,9 \cdot \left(\frac{F}{u_H \cdot s_g} \right)^{1/3} \quad \text{pro } x_L \geq x'_h$$

kde

$$x'_h = \frac{2,4 \cdot u_H}{\sqrt{s_g}} \quad (5.13)$$

$$s_g = \frac{g}{T_e} \cdot (\gamma_d - \gamma) \quad (5.14)$$

| | |
|---|---|
| F [$\text{m}^4 \cdot \text{s}^{-3}$] | je počáteční vztlakový tok vzduchu opouštějícího chladící věž |
| x_L [m] | je vzdálenost referenčního bodu od chladící věže ve směru větru |
| u_H [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] | je rychlost větru ve výšce H |
| H [m] | je výška chladící věže |
| T_e [K] | je teplota vzduchu v okolí chladící věže |
| $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ | je tíhové zrychlení |
| $\gamma_d = 0,01 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$ | je adiabatický vertikální teplotní gradient |
| γ [$^\circ\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$] | je aktuální vertikální teplotní gradient v atmosféře podle tabulky 5.1. |

tabulka 5.1 Hodnoty vertikálního teplotního gradientu v I., II. a III. třídě stability používané ve výpočtech imisních koncentrací z exhalací z chladících věží.

| třída stability | γ [$^\circ\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$] |
|-----------------|---|
| I | -0,020 |
| II | -0,011 |
| III | 0,000 |

b) pro normální a konvektivní podmínky v atmosféře (IV. a V. třída stability):

$$\Delta h = \frac{1,6 \cdot F^{1/3} \cdot (3 \cdot x_L)^{2/3}}{u_H} \quad \text{pro } x_L < x_h'' \quad (5.15)$$

$$\Delta h = \frac{5,56 \cdot F^{3/5} \cdot H^{2/5}}{u_H} \quad \text{pro } x_L \geq x_h''$$

kde

$$x_h'' = 2,16 \cdot F^{2/5} \cdot H^{3/5} \quad (5.16)$$

Počáteční vztlakový tok vzduchu opouštějícího chladicí věž F vypočítáme podle rovnice:

$$F = \frac{w \cdot g \cdot D_v^2}{4} \cdot \left[1 - \frac{T_e}{T_{ch}} + (q_{ch} - q_e) \cdot \left(0,61 + \frac{f_{rt} \cdot L_v}{c_p \cdot T_{ch}} \right) \right] \quad (5.17)$$

kde w [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] je výstupní rychlost vzduchu z chladicí věže

D_v [m] je průměr chladicí věže v koruně

T_e [K] je teplota okolního vzduchu, ($T_e = t_e + 273,15$)

T_{ch} [K] je teplota vzduchu vystupujícího z chladicí věže, ($T_{ch} = t_{ch} + 273,15$)

q_e [-] je směšovací poměr v okolním vzduchu

q_{ch} [-] je směšovací poměr ve vzduchu z chladicí věže

$L_v = 2,5 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ je latentní teplo výparu vody

$c_p = 1004 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ je měrné teplo při stálém tlaku

f_{rt} [-] je korekční faktor na kondenzaci vodní páry

Směšovací poměr v okolním vzduchu q_e vypočteme:

$$q_e = \frac{r}{100} \cdot \frac{0,622}{p_0} \cdot E_T(T_e) \quad (5.18)$$

kde r [%] je relativní vlhkost vzduchu

$p_0 = 101325 \text{ Pa}$ je normální tlak vzduchu na zemi

$E_T(T_e)$ je tlak nasycených vodních par při teplotě T_e . Tento tlak při teplotě T vypočteme podle Clausius-Clapeyronovy rovnice:

$$E_T(T) = E_r \cdot \exp \left[-\frac{L_v}{R_v} \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r} \right) \right] \quad (5.19)$$

kde $E_r = 611 \text{ Pa}$ je tlak nasycených par při teplotě $0 \text{ }^\circ\text{C}$

$T_r = 273,15 \text{ K}$ je normální teplota vzduchu

$R_v = 461 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ je plynová konstanta pro vodní páru

Směšovací poměr q_{ch} ve vzduchu opouštějícím chladicí věž vypočítáme za předpokladu 100 % relativní vlhkost podle

$$q_{ch} = \frac{0,622}{p_0} \cdot E_T(T_{ch}) \quad (5.20)$$

Pro výstupní rychlost w platí:

$$w = \frac{4 \cdot V_{ch}}{\pi \cdot D_v^2} \quad (5.21)$$

kde V_{ch} [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] je objemový tok vzduchu opouštějícího chladicí věž (včetně zavedených spalin). Tento objem se skládá z objemového toku zavedených spalin V_s [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] a objemového toku vzduchu V_{ch}' [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], který prochází věží bez zavedených spalin, tj.

$$V_{ch} = V_s + V_{ch}' \quad (5.22)$$

Hodnota V_s i závislost V_{ch}' na vnější teplotě t_e a relativní vlhkosti r mají být obsažené ve vstupních údajích. Pokud závislost V_{ch}' na teplotě t_e a vlhkosti r počítáme pouze z několika změřených hodnot, předpokládáme o ní, že je lineární vzhledem k t_e a D , kde D je sytostní doplněk ve vzduchu:

$$D = \frac{100 - r}{100} \cdot \frac{E_T(T_e)}{R_v \cdot T_e} \quad (5.23)$$

protože podstatné je, kolik vlhkosti je vzduch ještě schopen pojmout.

Podobně teplota vzduchu T_{ch} odcházejícího z chladicí věže (včetně zavedených spalin) se dá vyjádřit pomocí teploty spalin T_s [K] a teploty T_{ch}' [K] vzduchu, který odchází z věže, pokud spaliny do ní nejsou zavedené:

$$T_{ch} = \frac{M_s \cdot T_s + M_{ch}' \cdot T_{ch}'}{M_s + M_{ch}'} \quad (5.24)$$

kde M_s je hmotnost spalin vypouštěných do chladicí věže za jednotku času

$$M_s = \frac{p_0 \cdot V_s}{R_s \cdot T_s} \quad (5.25)$$

$$R_s = R_d(1 + 0,61 \cdot s_m) \quad (5.26)$$

$$s_m = \frac{0,622 \cdot W}{100 - 0,378 \cdot W}, \quad (5.27)$$

kde W je obsah vodní páry ve skutečných spalinách (vzdušnině) v %, M_{ch}' je hmotnost vzduchu, který prochází chladicí věží za jednotku času bez zavedených spalin:

$$M'_{ch} = \frac{p_0 \cdot V'_{ch}}{R'_{ch} \cdot T'_{ch}} \quad (5.28)$$

$$R'_{ch} = R_d (1 + 0,61 \cdot s_1(T'_{ch})) \quad (5.29)$$

Ve vzorci $R_d = 287 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ je plynová konstanta pro suchý vzduch a $s_1(T'_{ch})$ značí měrnou vlhkost nasycených vodních par, která závisí na teplotě T'_{ch} :

$$s_1(T'_{ch}) = \frac{0,622 \cdot E_T(T'_{ch})}{p_0 - 0,378 \cdot E_T(T'_{ch})} \quad (5.30)$$

Teplota T'_{ch} bude podobně jako objemový tok V'_{ch} záviset na vnější teplotě t_e a relativní vlhkosti r . Pokud tato závislost nebude známá a bude nutné ji počítat z několika změřených hodnot, budeme ji považovat rovněž za lineární vzhledem k t_e a D , kde D je sytostní doplněk.

Závislosti $V'_{ch} = V'_{ch}(t_e, D)$ a $T'_{ch} = T'_{ch}(t_e, D)$ jsou vnitřními parametry dané chladící věže, obecně jsou pro každou věž jiné a měly by být obsahem vstupních údajů.

Bezrozměrný parametr f_{rt} vyjadřuje průměrné relativní množství zkondenzované vodní páry při dané kombinaci teploty t_e a relativní vlhkosti r okolního vzduchu. V praxi se dá nahradit poměrem

$$f_{rt} = \frac{D_{m,rt}}{D_{rt}} \quad (5.31)$$

kde $D_{m,rt}$ je trvání situací s výskytem mlhy při relativní vlhkosti r a teplotě t_e

D_{rt} je celková doba trvání situací s relativní vlhkostí r a teplotou t_e

Matice hodnot f_{rt} pro různé třídy t_e a r musí být obsahem klimatických vstupních údajů pro dané místo zdroje.

Popsaným způsobem se tedy pro danou třídu t_e a r a danou třídu stability ovzduší vypočte veličina F a z ní převýšení Δh . Jestliže stojí více chladících věží vedle sebe, provede se dále korekce Δh na možné vzájemné ovlivnění vleček (jejich efektivních výšek). Získáme tak převýšení vlečky Δh_{jrt} při třídě stability j , třídě okolní teploty t a třídě relativní vlhkosti r . Efektivní výška vlečky se pak vypočte:

$$h_{jrt} = H + D h'_{jrt} \quad (5.32)$$

Protože tímto způsobem získáme velké množství hodnot efektivní výšky (při 10 třídách t_e , 7 třídách r a 5 třídách stability je to 350), což je pro další výpočty zcela nepraktické, zprůměrujeme hodnoty efektivních výšek pro každou třídu stability ovzduší pomocí váženého průměru. Vahou zde bude četnost výskytu dané kombinace třídy teploty t_e a třídy vlhkosti r v dané třídě stability j . Matice těchto relativních četností g_{rt} musí být pro každou třídu stability obsahem klimatických vstupních údajů. Pro efektivní výšku h_j vlečky při třídě stability j pak bude platit

$$h_j = \sum_r \sum_t h_{jrt} \cdot g_{jrt} \quad (5.33)$$

S takto získanými hodnotami efektivní výšky pro danou třídu stability (a danou rychlost větru) pak již počítáme stejně jako při výpočtu znečištění z bodových zdrojů.

U tepelných elektráren často nastává stav, kdy jeden nebo více bloků (a tedy jedna nebo více chladících věží) není v provozu. Proto je vhodné přepočítat dobu překročení T_R zvolených imisních koncentrací c_R na základě jednotlivých provozních režimů (viz kapitola „4.4 Výpočet doby překročení zvolených imisních koncentrací pro zdroj se sezónně proměnou emisí“). Tento postup však lze provést pouze pro jediný zdroj a nikoliv pro více chladících věží současně. Protože však výpočty znečištění ovzduší od elektráren se obvykle provádějí pro větší území (nikoliv na velmi krátké vzdálenosti), dopustíme se pouze zanedbatelné chyby, pokud chladící věže elektrárny nahradíme věží jednou umístěnou v geometrickém středu nahrazovaných věží. Všechny ostatní vstupní údaje přitom zůstanou stejné, až na emisi znečišťujících látek, která bude součtem emisí z jednotlivých věží, které budou v jednotlivých provozních režimech v provozu. Stejně tak při výpočtu převýšení vlečky při chladných exhalacích počítáme se skutečným počtem provozovaných chladících věží při daném provozním režimu.

6. ROZPTYLOVÉ PODMÍNKY DLE STABILNÍ KLASIFIKACE BUBNÍKA A KOLDOVSKÉHO

Stabilní klasifikace podle Bubníka a Koldovského rozeznává pět tříd stability s rozdílnými rozptylovými podmínkami. Klasifikace zahrnuje tři třídy stabilní, jednu třídu normální a jednu třídu labilní:

I. třída stability – superstabilní: vertikální teplotní gradient je menší než $-1,6 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$, rozptyl znečišťujících látek v ovzduší velmi malý nebo téměř žádný. Kouřové vlečky jsou viditelné do velké vzdálenosti od zdrojů. Imisní koncentrace při zemi jsou nízké a ve vlečce velmi vysoké. Proto ve značně vyvýšených polohách (vzhledem k efektivní výšce komína) jsou v této třídě stability počítány absolutní maxima imisních koncentrací. Pro prach toto tvrzení platí i v rovině (jako důsledek pádové rychlosti částic).

II. třída stability – stabilní: vertikální teplotní gradient je v rozmezí od $-1,6$ do $-0,7 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$. Rozptylové podmínky jsou stále nepříznivé, i když lepší než v I. třídě stability.

III. třída stability – izotermní: vertikální teplotní gradient je v rozmezí od $-0,6$ do $+0,5 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ (vertikální teplotní gradient se pohybuje kolem nuly, teplota s výškou se mění jen málo), rozptylové podmínky se vylepšují. Jedná se o přechodovou třídu stability mezi stabilními třídami a třídou normální.

IV. třída stability – normální: vertikální teplotní gradient je v rozmezí od $+0,6$ do $+0,8 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$, rozptylové podmínky jsou dobré. Tato třída stability se v atmosféře vyskytuje nejčastěji (v rovině a málo nebo mírně zvlněné krajině). Proto se nazývá normální třída. Ve významně zvlněné krajině se však část její četnosti výskytu přesouvá do III. třídy stability.

V. třída stability – konvektivní: rozptylové podmínky jsou sice nejlepší (vertikální teplotní gradient je větší než $+0,8 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$), ale v důsledku intenzivních vertikálních konvektivních pohybů se mohou vyskytnout v malých vzdálenostech od zdroje nárazově vysoké imisní koncentrace.

Tato typizace předpokládá, že v celé vrstvě, kde dochází k rozptylu znečišťujících látek, je konstantní vertikální teplotní gradient a to již od zemského povrchu. To znamená, že při výpočtu v I. a II. stabilitě předpokládáme, že zdroje exhalují do přízemní inverze (ve III. třídě do izotermie) a že celý rozptyl se děje uvnitř této inverze (ve III. třídě uvnitř izotermie).

Z definičních důvodů se mohou v I. třídě stability vyskytnout pouze rychlosti větru menší než $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ve II. a V. třídě stability menší než $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Ve III. a IV. třídě stability není rychlost větru omezena.

SEZNAM SYMBOLŮ

| | | | |
|------------------------|---|---------|---|
| <i>A</i> | | 2.1.1 | převodní rozměrový koeficient, jehož rozměr závisí na rozměru počtu jednotek <i>P</i> , na které je vztažen emisní faktor a stanovený tak, aby výsledná emise znečišťující látky měla rozměr $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| <i>A</i> | [-] | 3.2.3.1 | konstanta pro výpočet převýšení vlečky |
| <i>A_p</i> | [%] | 2.1.1 | obsah popelovin v původním vzorku paliva |
| <i>A_s</i> | [%] | 2.1.1 | obsah popelovin v sušině paliva |
| <i>a_y</i> | [-] | 3.2.5.1 | koeficient pro výpočet příčného horizontálního rozptylového parametru σ_y |
| <i>a_z</i> | [-] | 3.2.5.1 | koeficient pro výpočet vertikálního rozptylového parametru σ_z |
| <i>B</i> | [-] | 3.2.3.1 | konstanta (exponent) pro výpočet převýšení vlečky |
| <i>b_y</i> | [-] | 3.2.5.1 | koeficient (exponent) pro výpočet příčného horizontálního rozptylového parametru σ_y |
| <i>b_z</i> | [-] | 3.2.5.1 | koeficient (exponent) pro výpočet vertikálního rozptylového parametru σ_z |
| <i>C₂</i> | [-] | 3.2.8 | konstanta ze vzorce pro výpočet pádové rychlosti částic určující poměr mezi objemem částice a jejím charakteristickým rozměrem (0,8) |
| <i>C₃</i> | [-] | 3.2.8 | součinitel odporu tření ze vzorce pro výpočet pádové rychlosti částic (0,6) |
| <i>C_p</i> | $[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$ | 5.2 | měrné teplo vzduchu při stálém tlaku ($1004 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) |
| <i>c</i> | $[\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}]$ | 3.1 | krátkodobá imisní koncentrace znečišťující látky |
| <i>c_f</i> | $[\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}]$ | 5.1 | fiktivní imisní koncentrace znečišťujících látek od všech zdrojů, jejichž exhalace zůstávají uvnitř inverze |
| <i>c_{fi}</i> | $[\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}]$ | 5.1 | fiktivní imisní koncentrace znečišťujících látek od i-tého zdroje, jejichž exhalace zůstávají uvnitř inverze |
| <i>c_{iφj}</i> | $[\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}]$ | 3.3 | imisní koncentrace znečišťující látky způsobená i-tým zdrojem při směru větru φ a středě stability <i>j</i> . |
| <i>c_{φj}</i> | $[\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}]$ | 3.3 | imisní koncentrace od zdroje v daném referenčním bodě při směru větru φ a třídě stability <i>j</i> |
| <i>c_{max}</i> | $[\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}]$ | 3.3.1 | maximální imisní koncentrace stanovená ze všech hodnot <i>c_{φj}</i> bez ohledu na třídy stability a rychlosti větru |
| <i>c_R</i> | $[\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}]$ | 3.3.3 | imisní koncentrace znečišťující látky pro výpočet doby jejího překročení, např. hodnota imisního limitu |
| <i>c_s</i> | $[\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}]$ | 2.1.1 | měrné teplo exhalací |
| <i>D</i> | $[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ | 5.2 | sytostní doplněk |
| <i>d</i> | [m] | 3.2.8 | průměr prašné částice |
| <i>d</i> | [m] | 2.1.1 | vnitřní průměr koruny komína (výduchu) |
| Δh | [m] | 3.2.3 | převýšení vlečky nad ústím komína |
| Δh_{jrt} | [m] | 5.2 | převýšení vlečky z chladicí věže při třídě stability <i>j</i> , třídě |

| | | | |
|-----------------|--|---------|---|
| | | | okolní teploty t a třídě relativní vlhkosti r |
| Δh_o | [m] | 5.1 | efektivní výška zdroje při rychlosti větru $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| $D_{m,rt}$ | | 5.2 | doba trvání situací s výskytem mlhy při teplotě t a relativní vlhkosti r za dané období (rozměr musí být shodný s rozměrem D_{rt}) |
| D_{rt} | | 5.2 | celková doba trvání situací s teplotou t a relativní vlhkosti r (rozměr musí být shodný s rozměrem $D_{m,rt}$) |
| D_v | [m] | 2.1.5 | vnitřní průměr chladicí věže v koruně |
| Δx | [m] | 3.2.3.2 | vzdálenost dvou nejvzdálenějších zdrojů ve shluku |
| Δz | [m] | 5.1 | tloušťka jedné vrstvy vzduchu, na které je údolí rozděleno |
| E_{Fj} | $[\text{g}\cdot\text{km}^{-1}\cdot\text{auto}^{-1}]$ | 2.1.3 | emisní faktor pro j -tou skupinu vozidel |
| E_{ni} | [-] | 3.2.3.2 | faktor vzrůstu převýšení vlečky i -tého zdroje |
| E_r | [Pa] | 5.2 | tlak nasycených vodních par při teplotě $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ($E_r = 611 \text{ Pa}$) |
| E_T | [Pa] | 5.2 | tlak nasycených vodních par |
| F | $[\text{m}^4\cdot\text{s}^{-3}]$ | 5.2 | vztakový tok vzduchu opouštějícího chladicí věž |
| $F(z)$ | [-] | 3.2.7 | relativní kumulativní četnost výskytu horní hranice inverze mezi stanovenou výškou a výškou hladiny 850 hPa |
| $f(\varphi_i)$ | [-] | 3.3.2 | relativní četnost větru proudícího ze směru φ_i v základní osmidílné větrné růžici |
| f_E | $[\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}]$ | 2.1.1 | emisní faktor pro pevná a kapalná paliva |
| f_E | $[\text{g}\cdot\text{m}^{-3}]$ | 2.1.1 | emisní faktor pro plynná paliva |
| f_φ | [-] | 3.3.2 | relativní četnost větru proudícího ze směru φ v podrobné větrné růžici |
| $f_{\varphi j}$ | [-] | 3.3.2 | relativní četnost větru proudícího ze směru φ a při výskytu třídy stability j v podrobné větrné růžici |
| f_{rt} | [-] | 2.2.3 | matice průměrného relativního množství z kondenzované vodní páry ve vzduchu při teplotě t a relativní vlhkosti vzduchu r v dané třídě stability |
| G | $[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$ | | tíhové zrychlení ($9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) |
| g_{rt} | [-] | 2.2.3 | matice relativních četností výskytu situací s teplotou t a relativní vlhkosti vzduchu r v dané třídě stability |
| H | [m] | 2.1.5 | výška chladicí věže |
| H | [m] | 2.1.1 | výška koruny komína (konce výduchu) nad terénem |
| H' | [m] | 4.1.2 | výška komína korigovaná na vliv blízké budovy |
| \bar{H} | [m] | 3.2.3.2 | vážený průměr výšek komínů ve shluku |
| H | [m] | 3.2.3 | efektivní výška zdroje (bez korekce na vliv terénu) |
| h_l | [m] | 3.2.3 | efektivní výška zdroje po provedení všech korekcí |
| h_{gi} | [m] | 3.1.2 | pokles efektivní výšky zdroje vlivem pádové rychlosti prašných částic pro velikost částic o průměru d_i |
| h_j | [m] | 5.2 | vážený průměr efektivních výšek podle tříd stability j |
| h_{jrt} | [m] | 5.2 | efektivní výška chladicí věže při třídě stability j , třídě okolní teploty t a třídě relativní vlhkosti r |

| | | | |
|-----------|---------------------------------------|---------|--|
| h_p | [m] | 5.1 | výška emitující plochy nad zemí |
| K_1 | [-] | 2.1.1 | konstanta závisující na typu a výkonu topeniště a na skupenství paliva pro výpočet tepelné vydatnosti zdroje |
| K_2 | [-] | 2.1.1 | konstanta závisující na typu a výkonu topeniště a na skupenství paliva pro výpočet tepelné vydatnosti zdroje |
| K_3 | [m ³ ·kg ⁻¹] | 2.1.1 | množství spalin v m ³ vznikající při spálení jednoho kg pevného nebo kapalného paliva |
| K_3 | [m ³ ·m ⁻³] | 2.1.1 | množství spalin v m ³ vznikající při spálení jednoho m ³ plynného paliva |
| K_E | [mg·Nm ⁻³] | 2.1.1 | koncentrace znečišťující látky ve spalinách za normálních podmínek |
| K_{Er} | [mg·m ⁻³] | 2.1.1 | koncentrace znečišťující látky v referenčních spalinách (vzdušnině) |
| K_h | [-] | 3.2.7 | koeficient zeslabení vlivu nízkých zdrojů na referenční body ve větších nadmořských výškách |
| K_m | [-] | 3.2.3.1 | korekční koeficient na postupný vznos vlečky v blízkosti zdroje |
| K_s | [-] | 3.2.3.1 | korekční koeficient převýšení vlečky na teplotní stabilitu ovzduší |
| k_u | [s ⁻¹] | 3.2.6 | koeficient odstraňování, zahrnující suchou a mokrou depozici a chemické transformace |
| L | [m] | 4.1.2 | délka budovy (ve směru spojnice zdroj - budova) |
| L | [m] | 2.2.2 | výška horní hranice inverze nad dnem údolí |
| L_g | [m] | 3.2.3.2 | maximální rozměr shluku zdrojů |
| L_v | [J·kg ⁻¹] | 5.2 | latentní teplo výparu vody (2,5·10 ⁶ J·kg ⁻¹) |
| l | [m] | 3.2.1.2 | výška referenčního bodu nad povrchem země (výška budovy apod.) |
| l_B | [m] | 4.1.2 | parametr pro výpočet korigované výšky zdroje na vliv budovy |
| l_m | [m] | 4.1.2 | výška budovy |
| M | [g·s ⁻¹] | 4.4 | emise znečišťující látky při plném výkonu zdroje |
| M | [g·s ⁻¹] | 2.1.5 | množství znečišťující látky odcházející komínem, výduchem nebo chladicí věží |
| M_c | [g] | 5.1 | celkové množství emisí znečišťující látky za dobu T |
| M_E | [g·s ⁻¹] | 2.1.2 | emise znečišťující látky z elementu plochy |
| M_f | [g] | 5.1 | fiktivní obsah znečišťující látky ve směšovací vrstvě |
| M_{ch}' | [kg·s ⁻¹] | 5.2 | hmotnost vzduchu, který prochází chladicí věží za jednotku času bez zavedených spalin |
| M_i | [g·s ⁻¹] | 4.4 | emise znečišťující látky při předem stanoveném výkonu zdroje |
| M_L | [g·m ⁻¹ ·s ⁻¹] | 2.1.3 | délková intenzita emise znečišťující látky |
| M_p | [g·m ⁻² ·s ⁻¹] | 2.1.2 | plošná intenzita emise |
| M_s | [kg·s ⁻¹] | 5.2 | hmotnost spalin vypouštěných do chladicí věže za |

| | | | |
|----------|---|---------|---|
| | | | jednotku času |
| M_z | | 3.1 | obecná emise znečišťující látky |
| N | | 2.1.5 | počet chladících věží |
| A | [-] | 3.2.3.2 | počet zdrojů ve shluku |
| N_j | [auto·den ⁻¹] | 2.1.3 | frekvence vozidel j-té skupiny za den |
| n_j | [%] | 4.4 | relativní doba provozu zdroje na předem stanovený výkon (index j znamená pořadí stanoveného výkonu) |
| O_r | [%] | 2.1.1 | obsah kyslíku v referenčních spalínách (vzdušnině) |
| O_s | [%] | 2.1.1 | obsah kyslíku ve skutečných spalínách (vzdušnině) |
| P | | | počet jednotek, na které je vztažen emisní faktor |
| P_d | [hod] | 4.6.1 | počet hodin za den, kdy je zdroj v činnosti |
| P_k | [m ²] | 5.1 | velikost horizontální plochy údolí ve výšce z_k |
| P_r | [h·r ⁻¹] | 2.1.1 | počet provozních hodin za rok |
| P_{rj} | [h·r ⁻¹] | 2.1.5 | počet provozních hodin j-té chladící věže za rok |
| p | [-] | 3.2.4.1 | exponent z mocninového profilu větru |
| p | [Pa] | 2.1.1 | tlak vzduchu |
| p_i | [%] | 4.3 | podíl i-tého zdroje na průměrné roční imisní koncentraci v daném bodě |
| p_o | [Pa] | 5.2 | normální tlak při zemi (101325 Pa) |
| Q | [MW] | 2.1.1 | tepelná vydatnost zdroje |
| q | [kJ·kg ⁻¹] | 2.1.1 | výhřevnost pevného nebo kapalného paliva |
| q | [kJ·m ⁻³] | 2.1.1 | výhřevnost plynného paliva |
| q_e | [-] | 5.2 | směšovací poměr v okolním vzduchu |
| q_{ch} | [-] | 5.2 | směšovací poměr ve vzduchu z chladící věže |
| R_d | [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹] | 5.2 | měrná plynová konstanta pro suchý vzduch |
| R_s | [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹] | 5.2 | měrná plynová konstanta pro vlhký vzduch |
| R_v | [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹] | 5.2 | měrná plynová konstanta pro vodní páru (461 J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹) |
| r | [%] | 5.2 | relativní vlhkost okolního vzduchu |
| r_c | [-] | 3.2.1 | celkový počet tříd zastoupení prašných frakcí podle průměru částic |
| S | [10 ³ ·m ³ ·h ⁻¹] | 2.1.1 | spotřeba plynného paliva |
| S | [t·h ⁻¹] | 2.1.1 | spotřeba pevného nebo kapalného paliva |
| S_h | [kg·h ⁻¹] | 2.1.1 | spotřeba pevného nebo kapalného paliva za hodinu při instalovaném výkonu spalovacího zařízení |
| S_h | [m ³ ·h ⁻¹] | 2.1.1 | spotřeba plynného paliva za hodinu při instalovaném výkonu spalovacího zařízení |
| S_p | [%] | 2.1.1 | obsah síry v původním vzorku paliva |
| S_r | [kg·r ⁻¹] | 2.1.1 | roční spotřeba pevného nebo kapalného paliva |
| S_r | [m ³ ·r ⁻¹] | 2.1.1 | roční spotřeba plynného paliva |
| S_s | [%] | 2.1.1 | obsah síry v sušině paliva |
| s_l | | 5.2 | měrná vlhkost nasycených vodních par |

| | | | |
|-----------|-------------------------------------|----------------|--|
| T | [h] | 2.2.2 | doba nepřetržitého trvání podmínek inverze a bezvětrí |
| T_e | [K] | 5.2 | teplota vzduchu v okolí chladicí věže, $T_e = t_e + 273,15$ |
| T_{ch} | [K] | 5.2 | teplota vzduchu vystupujícího z chladicí věže, $T_{ch} = t_{ch} + 273,15$ |
| T_{ch}' | [K] | 5.2 | teplota vlhkého vzduchu opouštějící chladicí věž bez zavedení spalin do věže, $T_{ch}' = t_{ch}' + 273,15$ |
| T_R | [h] | 3.3.3 | počet hodin s překročením imisní koncentrace c_R za rok |
| T_r | [K] | 5.2 | normální teplota vzduchu ($273,15 \text{ K} = 0 \text{ °C}$) |
| T_s | [K] | 5.2 | teplota odcházejících exhalací v koruně komína, výduchu nebo chladicí věže, $T_s = t_s + 273,15$ |
| t_{ch}' | [°C] | 5.2 | teplota vlhkého vzduchu opouštějící chladicí věž bez zavedení spalin do věže |
| t_o | [°C] | 2.1.1 | teplota venkovního vzduchu |
| t_e | [°C] | 5.2 | teplota venkovního vzduchu u chladicí věže |
| t_{ch} | [°C] | 5.2 | teplota vlhkého vzduchu opouštějící chladicí věž včetně zavedených spalin do věže |
| t_s | [°C] | 2.1 | teplota odcházejících exhalací v koruně komína, výduchu nebo chladicí věže |
| u_{10} | [m·s ⁻¹] | 3.2.4.1 | rychlost větru ve výšce 10 m nad povrchem země |
| u_h | [m·s ⁻¹] | 3.2.4.1 | rychlost větru ve výšce h |
| u_H | [m·s ⁻¹] | 3.2.4.1 | rychlost větru ve výšce koruny komína |
| u_{h1} | [m·s ⁻¹] | 3.2.4.1 | rychlost větru ve výšce h_1 |
| V_{ch} | [m ³ ·s ⁻¹] | 5.2 | objemový tok vlhkého vzduchu opouštějící chladicí věž včetně zavedených spalin do věže |
| V_{ch}' | [m ³ ·s ⁻¹] | 5.2 | objemový tok vlhkého vzduchu opouštějící chladicí věž bez zavedení spalin do věže |
| V | [m ³ ·s ⁻¹] | 2.1 | objemový tok spalin nebo vzdušiny z komína za skutečných podmínek za teploty t_s a tlaku p |
| V_s | [Nm ³ ·s ⁻¹] | 2.1.1, 4.4 | objemový tok spalin nebo vzdušiny z komína přepočtený na normální podmínky (0 °C , 101325 Pa). Normální metr krychlový [Nm ³] označuje objem vztažený k normálním podmínkám. |
| V_s | [m ³ ·s ⁻¹] | 2.1.5., 5.2 | objemový tok spalin vypouštěných do každé chladicí věže za skutečných podmínek při teplotě t_s a tlaku p |
| V_{si} | [Nm ³ ·s ⁻¹] | 4.4 | objemový tok spalin nebo vzdušiny z komína přepočtený na normální podmínky (0 °C , 101325 Pa) při i -tém provozním režimu. Normální metr krychlový [Nm ³] označuje objem vztažený k normálním podmínkám. |
| V_{sR} | [m ³ ·s ⁻¹] | | objemový tok spalin přepočtený na suchý plyn a referenční obsah kyslíku |
| v_{gi} | [m·s ⁻¹] | 3.2.8 | pádová rychlost částic o průměru d_i |
| W | [%] | 2.2.1 | obsah vodní páry ve skutečných spalinách (vzdušnině) |
| W | [m] | 4.1.2 | šířka budovy (kolmo na spojnici zdroj - budova) |

| | | | |
|------------------|---|---------|--|
| W | $[\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}]$ | 4.2 | hodnota prašného spadu |
| $W_{k\varphi i}$ | $[\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}]$ | 4.2.4 | krátkodobý spad prachu při směru větru φ , třídě stability j a i -té třídě velikosti částic |
| W_p | $[\%]$ | 2.1.1 | obsah vody v palivu |
| \bar{W} | $[\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}]$ | 4.2.4 | hodnota ročního spadu prachu |
| \bar{W}_m | $[\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{měsíc}^{-1}]$ | 4.2.5 | hodnota měsíčního spadu prachu |
| w | $[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$ | 5.2 | výstupní rychlost vzduchu z chladicí věže |
| w_o | $[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$ | 2.1.1 | výstupní rychlost exhalací z komína (výduchu) |
| x | $[\text{m}]$ | 3.2.1.1 | vzdálenost referenčního bodu od zdroje |
| x_d | $[\text{m}]$ | 3.3.1 | rozdíl x -souřadnic i -tého zdroje a k -tého referenčního bodu |
| x_L | $[\text{m}]$ | 3.2.1.1 | vzdálenost referenčního (uzlového) bodu od zdroje ve směru větru |
| x_l | $[\text{m}]$ | 4.1.2 | vzdálenost zdroje od budovy |
| x_0 | $[\text{m}]$ | 2.1.3 | šířka liniového zdroje |
| x_0' | $[\text{m}]$ | 3.2.5 | vzdálenost nejbližšího referenčního bodu od zdroje |
| x_r | $[\text{m}]$ | 2.3.1 | souřadnice X (mířící k východu) referenčního bodu |
| x_s | $[\text{m}]$ | 3.2.3.2 | souřadnice X komína ve skupině blízkých zdrojů (pro nejvzdálenější zdroj ke zdroji se souřadnicí x_t) |
| x_t | $[\text{m}]$ | 3.2.3.2 | souřadnice X komína ve skupině blízkých zdrojů (pro nejvzdálenější zdroj ke zdroji se souřadnicí x_s) |
| x_ζ | $[\text{m}]$ | 3.2.5.3 | vzdálenost, po kterou proudění prochází nad elementem silnice |
| x_z | $[\text{m}]$ | 2.1 | souřadnice X (mířící k východu) paty komína bodového zdroje nebo chladicí věže, středu plošného zdroje nebo středu elementu liniového zdroje |
| x_{z1} | $[\text{m}]$ | 2.1.3 | souřadnice X (mířící k východu) počátečního bodu liniového zdroje |
| x_{z2} | $[\text{m}]$ | 2.1.3 | souřadnice X (mířící k východu) konečného bodu liniového zdroje |
| y_d | $[\text{m}]$ | 3.3.1 | rozdíl y -souřadnic i -tého zdroje a k -tého referenčního bodu |
| y_L | $[\text{m}]$ | 3.2.1.1 | vzdálenost referenčního (uzlového) bodu od zdroje ve směru kolmém na směr větru |
| y_0 | $[\text{m}]$ | 2.1.3 | délka elementu liniového zdroje |
| y_0 | $[\text{m}]$ | 2.1.2 | délka strany elementu (čtverce) plošného zdroje |
| y_r | $[\text{m}]$ | 2.3.1 | souřadnice Y (mířící k severu) referenčního bodu |
| y_s | $[\text{m}]$ | 3.2.3.2 | souřadnice Y komína ve skupině blízkých zdrojů (pro nejvzdálenější zdroj ke zdroji se souřadnicí y_t) |
| y_t | $[\text{m}]$ | 3.2.3.2 | souřadnice Y komína ve skupině blízkých zdrojů (pro nejvzdálenější zdroj ke zdroji se souřadnicí y_s) |
| y_ζ | $[\text{m}]$ | 3.2.5.3 | průmět délky elementu liniového zdroje ve směru větru |
| y_z | $[\text{m}]$ | 2.1 | souřadnice Y (mířící k severu) paty komína bodového |

| | | | |
|----------------|--------------|---------|---|
| | | | zdroje nebo chladicí věže, středu plošného zdroje nebo středu elementu liniového zdroje |
| y_{z1} | [m] | 2.1.3 | souřadnice Y (mířící k severu) počátečního bodu liniového zdroje |
| y_{z2} | [m] | 2.1.3 | souřadnice Y (mířící k severu) konečného bodu liniového zdroje |
| z | [m] | 3.2.1.2 | převýšení referenčního bodu nad patou komína (výduchu) |
| z' | [m] | 3.2.1.2 | korigovaná vertikální souřadnice referenčního bodu v členu pro přímý rozptyl |
| z'' | [m] | 3.2.1.2 | korigovaná vertikální souřadnice referenčního bodu v členu popisujícím odraz v dolním odhadu |
| z''' | [m] | 3.2.1.2 | korigovaná vertikální souřadnice referenčního bodu v členu popisujícím odraz v horním odhadu |
| $z_1(x')$ | [m] | 3.2.2. | funkce převýšení terénu nad rovinou procházející patou komína mezi zdrojem a referenčním bodem |
| $z_2(x')$ | [m] | 3.2.2 | funkce převýšení terénu nad rovinou procházející referenčním bodem mezi zdrojem a referenčním bodem |
| z_k | [m] | 5.1 | Výška horní hranice k-té vrstvy vzduchu, na které je údolí rozděleno |
| z_0 | [m] | 3.2.5.3 | výška, do které se přízemní exhalace dostanou vlivem turbulence způsobené průjezdem automobilů |
| z_r | [m] | 2.3.1 | nadmořská výška terénu středu referenčního bodu |
| z_ζ | [m] | 3.2.5.3 | výška, do které sahá přibližně rovnoměrná imisní koncentrace znečišťující látky nad silnicí |
| z_z | [m] | 2.1 | nadmořská výška terénu v místě paty komína bodového zdroje nebo chladicí věže, středu plošného zdroje nebo středu elementu liniového zdroje |
| z_{z1} | [m] | 2.1.3 | nadmořská výška terénu počátečního bodu liniového zdroje |
| z_{z2} | [m] | 2.1.3 | nadmořská výška terénu konečného bodu liniového zdroje |
| α | [-] | 3.3.3 | relativní roční využití maximálního výkonu |
| α_i | [-] | 4.4 | relativní doba trvání předem stanoveného provozního režimu za rok |
| α_k | [-] | 4.4 | relativní roční využití maximálního výkonu k-tého zdroje |
| α_p | [%] | 2.1.1 | zastoupení jednotlivých prašných frakcí v závislosti na průměru prašných částic d |
| α_{pi} | [%] | 3.1 | procentuální zastoupení v jednotlivých třídách velikosti prašných částic |
| β | [-] | 3.2.3.1 | korekční koeficient převýšení vlečky na teplotu exhalací |
| γ | [°C/(100 m)] | 2.2.1 | vertikální teplotní gradient |
| γ_d | [°C/(100 m)] | 5.2 | adiabatický vertikální teplotní gradient (1 °C/(100 m)) |
| δ_{ik} | [deg] | 3.3.1 | azimut i-tého zdroje od k-tého referenčního bodu |
| δ_{ik}' | [deg] | 3.3.1 | azimut i-tého zdroje od k-tého referenčního bodu, |

| | | | |
|--------------------|------------------------------------|---------|---|
| | | | opravený na efektivní výšku zdroje vlivem stažení směru větru s výškou |
| ε | [-] | 3.2.3.1 | korekční koeficient převýšení vlečky na vliv terénu |
| ζ | [deg] | 3.2.5.3 | úhel mezi směrem elementu silnice a směrem větru |
| η | [%] | 2.1.1 | účinnost opatření omezujících únik znečišťující látky (odsiřovacího zařízení, odlučovačů popílku, různých filtrů apod.) |
| ϑ_{ik} | [-] | 3.2.2 | matice hodnot ϑ (i je číslo zdroje a j je číslo referenčního bodu) |
| ϑ | [-] | 3.2.2 | koeficient vlivu terénu |
| λ | [deg] | 3.3.1 | úhel mezi směrem větru a spojnicí zdroj - referenční bod |
| ν | [m ² ·s ⁻¹] | | kinematická viskozita vzduchu (15,10 ⁻⁶ m ² ·s ⁻¹) |
| ρ | [kg·m ⁻³] | | hustota vzduchu (1,3 kg·m ⁻³) |
| ρ_c | [kg·m ⁻³] | 3.2.8 | měrná hustota prašných částic |
| $\sigma_y(x_L)$ | [m] | 3.2.5.1 | příčný horizontální rozptylový parametr |
| $\sigma_{y0}(x_L)$ | [m] | 3.2.5 | počáteční příčný horizontální rozptylový parametr pro plošné a liniové zdroje |
| $\sigma_z(x_L)$ | [m] | 3.2.5.1 | příčný vertikální rozptylový parametr |
| $\sigma_{z0}(x_L)$ | [m] | 3.2.5 | počáteční příčný vertikální rozptylový parametr pro plošné a liniové zdroje |
| φ | [deg] | 3.3.2 | azimut směru větru |
| φ_{10} | [deg] | 3.2.4.2 | směr větru ve výšce 10 m nad povrchem země |
| φ_h | [deg] | 3.2.4.2 | směr větru v efektivní výšce zdroje referenčního bodu) |
| ψ | [deg] | 3.2.5.3 | azimut směru elementu silnice |

LITERATURA

- [1] Výpočet znečištění ovzduší pro stanovení a kontrolu technických parametrů zdrojů. Praha, MLVH ČSR 1979.
- [2] Bubník, J. - Keder, J. - Macoun, J. - Maňák, J.: Základní část metodiky výpočtu znečištění ovzduší ze stacionárních zdrojů. Rešerše literatury a konstrukce základních rovnic výpočetního modelu. Státní program péče o životní prostředí MŽP ČR, projekt GA/3224/93. [Závěrečná zpráva za úkoly plánované na rok 1993.] Praha, EKOAIR - Služby čistotě ovzduší, ČHMÚ 1993.
- [3] Bubník, J. - Maňák, J.: Metodika výpočtu znečištění ovzduší ze stacionárních zdrojů. Popis modelu a kontrolní výpočet. Státní program péče o životní prostředí MŽP ČR, projekt 49/6.2/1/95. [Závěrečná zpráva za úkoly plánované na rok 1995.] Praha, EKOAIR - Služby čistotě ovzduší, ČHMÚ 1995.
- [4] Bubník, J. - Koldovský, M.: Typizace počasí se zřetelem ke znečištění ovzduší. In: Böhm, B. a kol.: Znečištění ovzduší v Podkrušnohoří. Sborník prací HMÚ Praha, sv. 20, 1974, s. 101-106.
- [5] Bednář, J. - Zikmunda, O.: Fyzika mezní vrstvy atmosféry. Praha, Academia 1985.
- [6] Bubník, J.: Problémy interpretace výsledků modelových výpočtů znečištění ovzduší. Seminář Hradec Králové, červen 1994. In: Metody výpočtu a právní aspekty rozptylových studií v ochraně ovzduší. Pardubice, Vědeckotechnický informační servis FINISH v.o.s., s. 38-52.
- [7] Návrh postupu pro stanovení četnosti překročení 24hodinového imisního limitu pro suspendované částice PM₁₀. Zpráva projektu TA ČR č. TA02030664 „Souhrnná metodika pro hodnocení vlivů provozu silničních komunikací na obyvatele v jejich okolí.“, březen 2013
- [8] Výzkum, vývoj a implementace nových měřicích metod pro hodnocení znečištění ovzduší a využití v rámci legislativy ES. Závěrečná zpráva projektu VaV/740/2/02, prosinec 2003
- [9] Zdokonalení a zpřesnění modelování znečištění ovzduší a získání podkladů pro predikci zdravotního rizika. Závěrečná zpráva VaV/1a4/107/07, prosinec 2011.
- [10] <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>, cit [20. 5. 2013]
- [11] Tyle, P.: Přehled o dodávkách a jakosti tuhých paliv na území ČR v roce 2011 pro účely registrů emisních zdrojů. TEKO, Praha, 2012
- [12] Ta Luft02 - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz. Vom 24. Juli 2002 (GMBl. Nr. 25 - 29 vom 30. 7. 2002 S. 511).
On-line [10. 7. 2013]:
www.umweltbundesamt.de/luft/messeinrichtungen/TALuft_020724.pdf