



Referenční modely pro zpracování rozptylových studií

**VODNÍ ZDROJE EKOMONITOR SPOL. S R.O.
Hradec Králové, 1. prosince 2011**

Josef Keder, Český hydrometeorologický ústav - keder@chmi.cz

Jan Macoun, Český hydrometeorologický ústav - macoun@chmi.cz



Obsah

- legislativní základ
- základní charakteristiky modelů
- vstupní data
- metodika výpočtu
- výstupní hodnoty
- speciální aplikace
- návrh úpravy metodiky pro výpočet PM_{10} a $PM_{2.5}$



Legislativní základ

- Nařízení vlády 597/2006
 - referenční metody pro modelování
 - SYMOS'97 pro venkovské oblasti do vzdálenosti 100 km od zdroje (bodové, plošné a liniové zdroje, méně reaktivní látky)
 - ATEM pro městské oblasti nad úrovní střech budov do vzdálenosti 100 km od zdroje (bodové, plošné a liniové zdroje, méně reaktivní látky)
 - AEOLIUS pro uliční kaňony v městské zástavbě (znečišťující látky emitované z dopravy)



Referenční model SYMOS'97





Použití

- Podle Nařízení vlády 597/2006
 - referenční metodika pro hodnocení kvality ovzduší ve venkovských oblastech
 - závazná metodika pro výpočty:
 - povolování k umístování staveb zvláště velkých, velkých a středních stacionárních zdrojů (§17 odst. 5 zákona o ochraně ovzduší 86/2002 , 92/2004)
 - pro výpočet výšky komína (§3 odst. 7 zákona o ochraně ovzduší 86/2002, 92/2004)
- popis metodiky
 - Věstník MŽP ČR 3/1998
 - Věstník MŽP ČR 4/2003 - 1. dodatek
 - Věstník MŽP ČR ?/2007 - 2. dodatek



Modelové aplikace

- výpočet znečištění většího počtu bodových, plošných a liniových zdrojů
- výpočet koncentrací plyných látek
- výpočet koncentrace a spadu „těžkého“ prachu
- výpočet znečištění z chladicích věží
- odhad koncentrací pod inverzemi za bezvětří
- stanovení výšky komína s ohledem na splnění imisních limitů
 - do 100 km od zdroje
 - nad úrovní střech budov



Základní charakteristiky modelu

- stacionární řešení rovnice difúze
- předpoklad Gaussova rozdělení
- výpočty v komplexním terénu
- zahrnutí depozice a transformace
- výpočtu koncentrací NO_2
- výpočty pod inverzí za bezvětří



Vstupní údaje

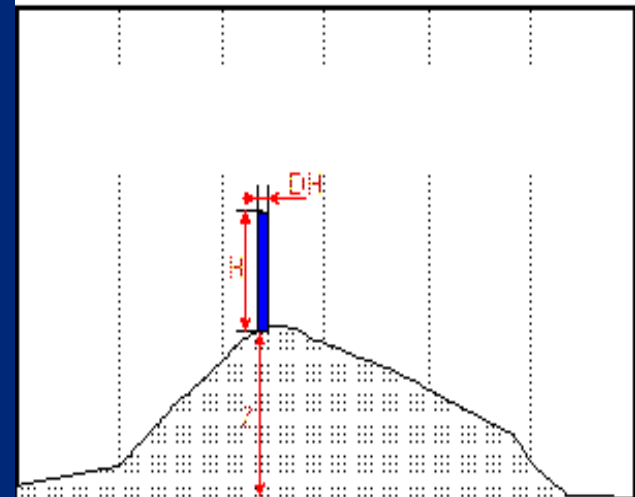
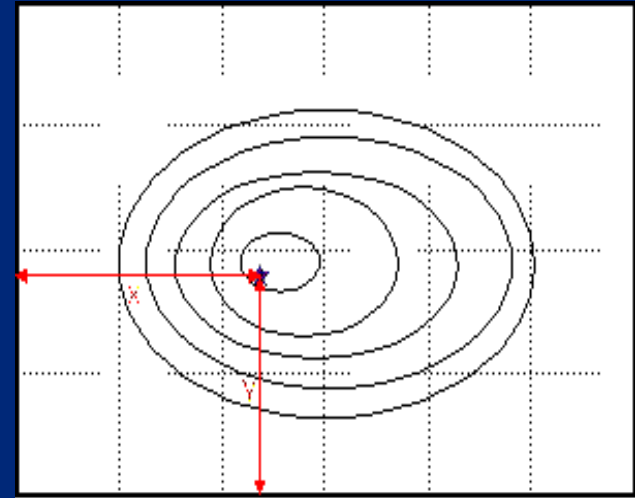
- údaje o zdrojích
- meteorologické údaje
- referenční body
- topografie
- imisní limity



Vstupní údaje

údaje o zdrojích (1/2)

- poloha zdroje ve zvolené síti
- nadmořská výška zdroje
- geometrie zdroje
- výška zdroje na terénu





Vstupní údaje

údaje o zdrojích (2/2)

- podmínky nuceného vznosu znečišťující látky (tepelná vydatnost spalin, rychlost a teplota spalin ...)
- emisní charakteristiky zdroje (množství spáleného paliva, provozní hod... - emisní tok)
- provozní údaje (provozní doba - během roku, během dne)

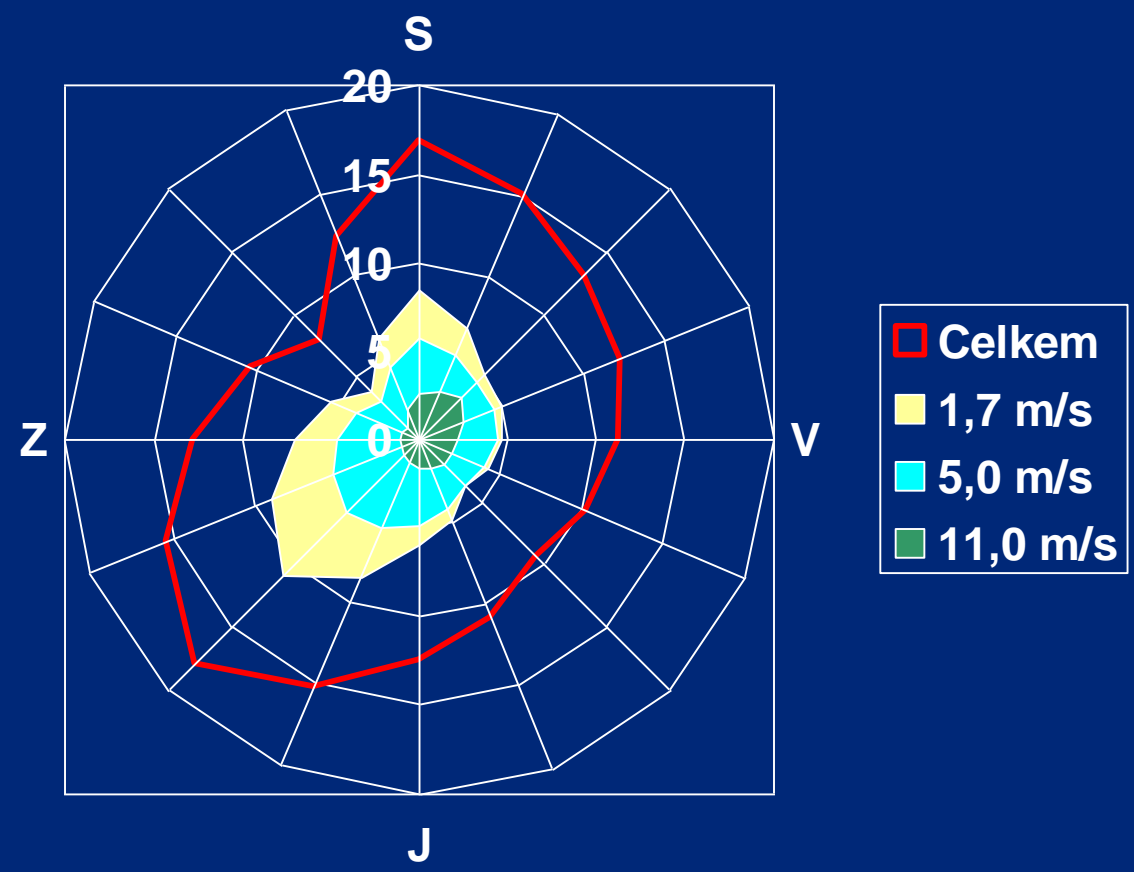


Vstupní údaje meteorologické údaje

- potřebná data obvykle za období 1 roku (možné i výpočty za kratší období - sezóna)
- **větrná růžice** rozdělená do 3 tříd rychlosti
 - 1,7; 5,0; 11,0 m.s⁻¹a 5 tříd stability
 - superstabilní, stabilní, izotermní, normální, konvektivní
 - stabilitní klasifikace Bubník - Koldovský



Vstupní údaje větrná růžice





Vstupní údaje

stabilitní klasifikace Bubník - Koldovský

Třída stability	Vertikální teplotní gradient [°C/100m]	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 gradient, často mírně zhoršené rozptylové podmínky
IV. normální	$0.6 \leq \gamma \leq 0.8$	indiferentní teplotní zvrstvení, běžný případ dobrých rozptylových podmínek
V. konventivní	$0.8 < \gamma$	labilní teplotní zvrstvení, dobré rozptylové podmínky



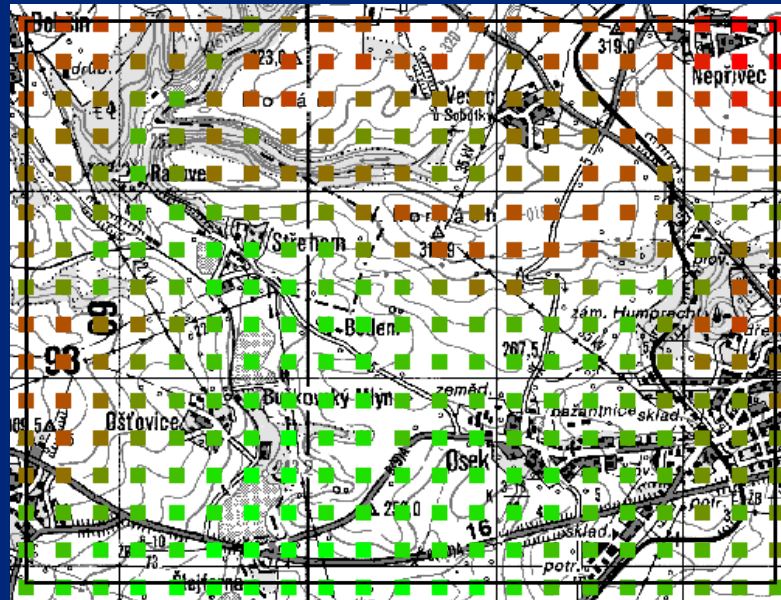
Vstupní údaje referenční body

- poloha bodu v souřadné síti (kartézská síť)
- nadmořská výška v místě referenčního bodu
- výška bodu nad terénem



Vstupní údaje topografie

- pro výpočty prováděné v komplexním terénu je nutné znát konfiguraci terénu
- nejvhodnější způsob je zadat v pravidelné síti nadmořské výšky uzlových bodů

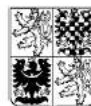




Imisní limity

- výsledné koncentrace je nutno porovnat s imisními limity
 - Nařízení vlády 597/2006, částka 188/2006 Sb.
 - konzultace se SZÚ www.szuz.cz
 - Referenční koncentrace SZÚ

Ročník 2006



SBÍRKA ZÁKONŮ ČESKÁ REPUBLIKA

Částka 188

Rozeslána dne 27. prosince 2006

Cena Kč 65,50

O B S A H:

587. Nařízení vlády, kterým se stanoví podrobnější úprava vzájemného převodu důchodových práv ve vztahu k důchodovému systému Evropských společenství
588. Nařízení vlády, kterým se pro účely nemocenského pojištění upravují částky pro stanovení výpočtových základů
589. Nařízení vlády, kterým se stanoví odchylná úprava pracovní doby a doby odpočinku zaměstnanců v dopravě
590. Nařízení vlády, kterým se stanoví okruh a rozsah jiných důležitých osobních překážek v práci
591. Nařízení vlády o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích
592. Nařízení vlády o podmínkách akreditace a provádění zkoušek z odborné způsobilosti
593. Nařízení vlády o povolání vojáků Armády České republiky k plnění úkolů Policie České republiky v období od 1. ledna 2007 do 31. prosince 2007
594. Nařízení vlády o přepisu znaků do podoby, ve které se zobrazují v informačních systémech veřejné správy
595. Nařízení vlády o způsobu výpočtu základní částky, která nesmí být sražena povinnému z měsíční mzdy při výkonu rozhodnutí, a o stanovení částky, nad kterou je mzda postížitelná srážkami bez omezení (nařízení o nezabavitelných částkách)
596. Nařízení vlády, kterým se stanoví přípustná míra veřejné podpory v regionech soudržnosti České republiky
597. Nařízení vlády o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší
598. Nařízení vlády, kterým se zrušuje nařízení vlády č. 66/2005 Sb., o minimálním množství biopaliv nebo jiných paliv z obnovitelných zdrojů v sortimentu motorových benzínů a motorové nafty na trhu České republiky



Metodika výpočtu

- základní rovnice
- zahrnutí terénu do výpočtu
- efektivní výška zdroje
- proudění
- rozptylové parametry
- depozice a transformace
- zeslabení znečištění na horách



Metodika výpočtu základní rovnice

- rovnice pro plynné látky

$$c = \frac{M_z}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u_{h1} + V_s} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \exp\left(-k_u \cdot \frac{x_L}{u_{h1}}\right) \cdot K_h \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z' - h_1)^2}{2\sigma_z^2}\right) + (1 - \varrho) \cdot \exp\left(-\frac{(z'' + h_1)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \varrho \cdot \exp\left(-\frac{(z''' - h_1)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

- rovnice pro „těžký“ prach

$$c = \frac{M}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u_{h1} + V_s} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot K_h \cdot \sum_{i=1}^{r_c} \frac{\alpha_{pi}}{100} \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z' - (h_1 - h_{gi}))^2}{2\sigma_z^2}\right) + (1 - \varrho) \cdot \exp\left(-\frac{(z'' + h_1 + h_{gi})^2}{2\sigma_z^2}\right) + \varrho \cdot \exp\left(-\frac{(z''' - (h_1 + h_{gi}))^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$



Metodika výpočtu zahrnutí terénu do výpočtu

- problém horního a dolního odhadu úrovně znečištění

$$\mathcal{G} = \max \left(0, \frac{1}{x \cdot (z_r - z_z)} \cdot \int_0^x (z_1(x') - 2 \cdot z_2(x')) \cdot dx' \right) \quad z_r > z_z$$
$$\mathcal{G} = 0 \quad z_r \leq z_z$$

$$z_1(x') = z(x') - z_z \quad z(x') > z_z$$

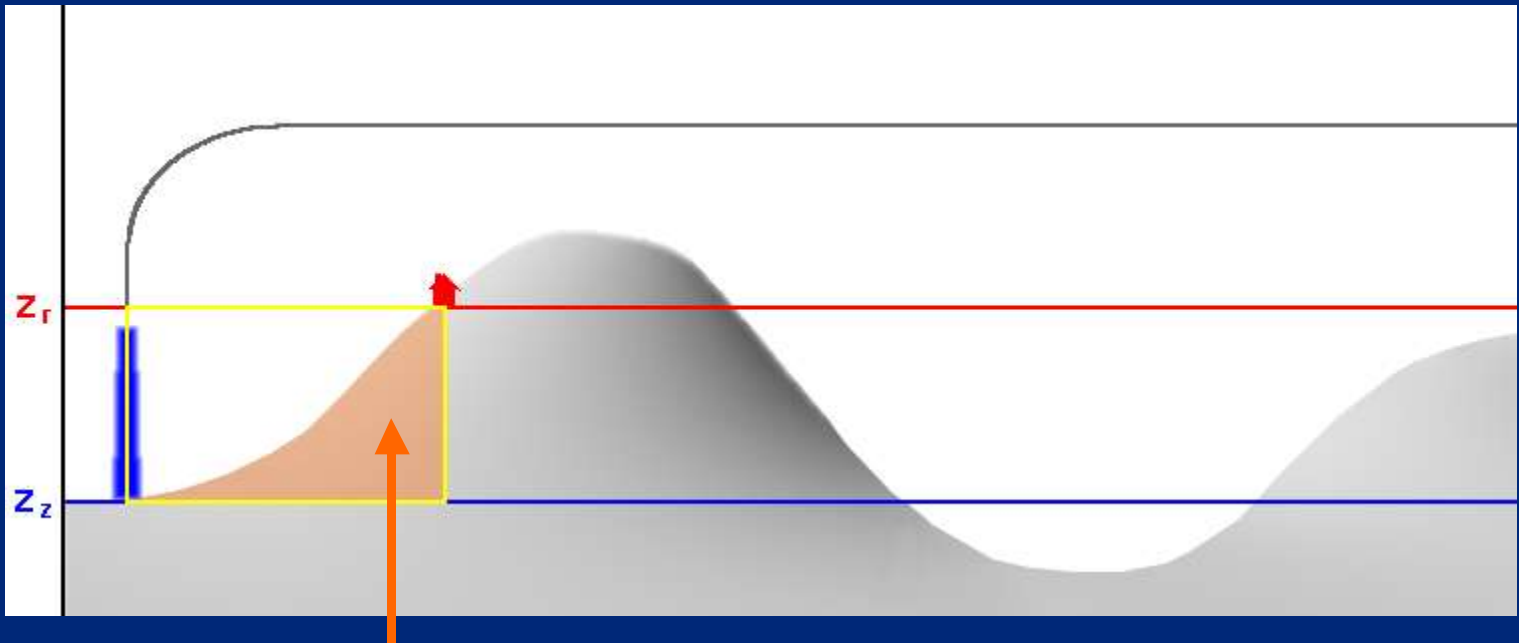
$$z_1(x') = 0 \quad z(x') \leq z_z$$

$$z_2(x') = z(x') - z_r \quad z(x') > z_r$$

$$z_2(x') = 0 \quad z(x') \leq z_r$$



Metodika výpočtu koeficient θ (1/4)

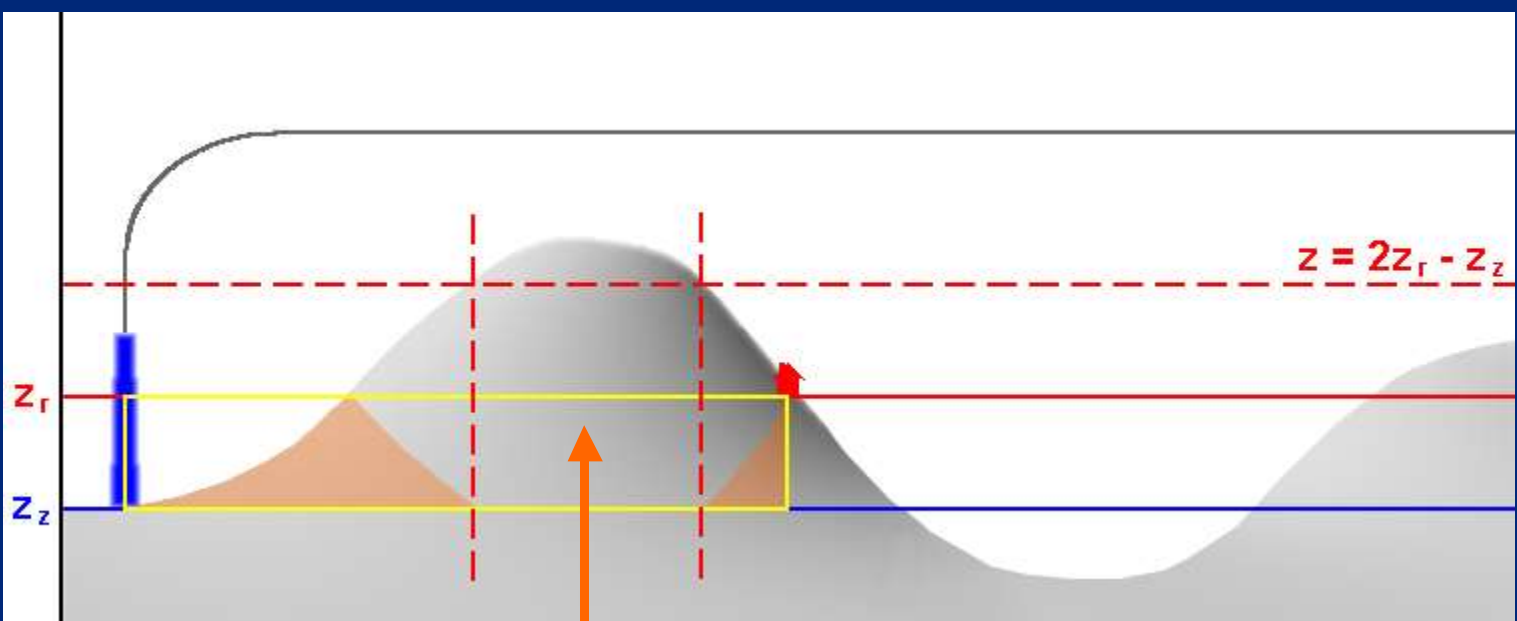


$$\begin{array}{lll} z_r > z_z & z(x') > z_z & z(x') \leq z_r \\ & z_1(x') = z(x') - z_z & z_2(x') = 0 \end{array}$$

$$\theta = \frac{1}{x \cdot (z_r - z_z)} \cdot \int_0^x (z(x') - z_z) \cdot dx'$$



Metodika výpočtu koeficient θ (2/4)

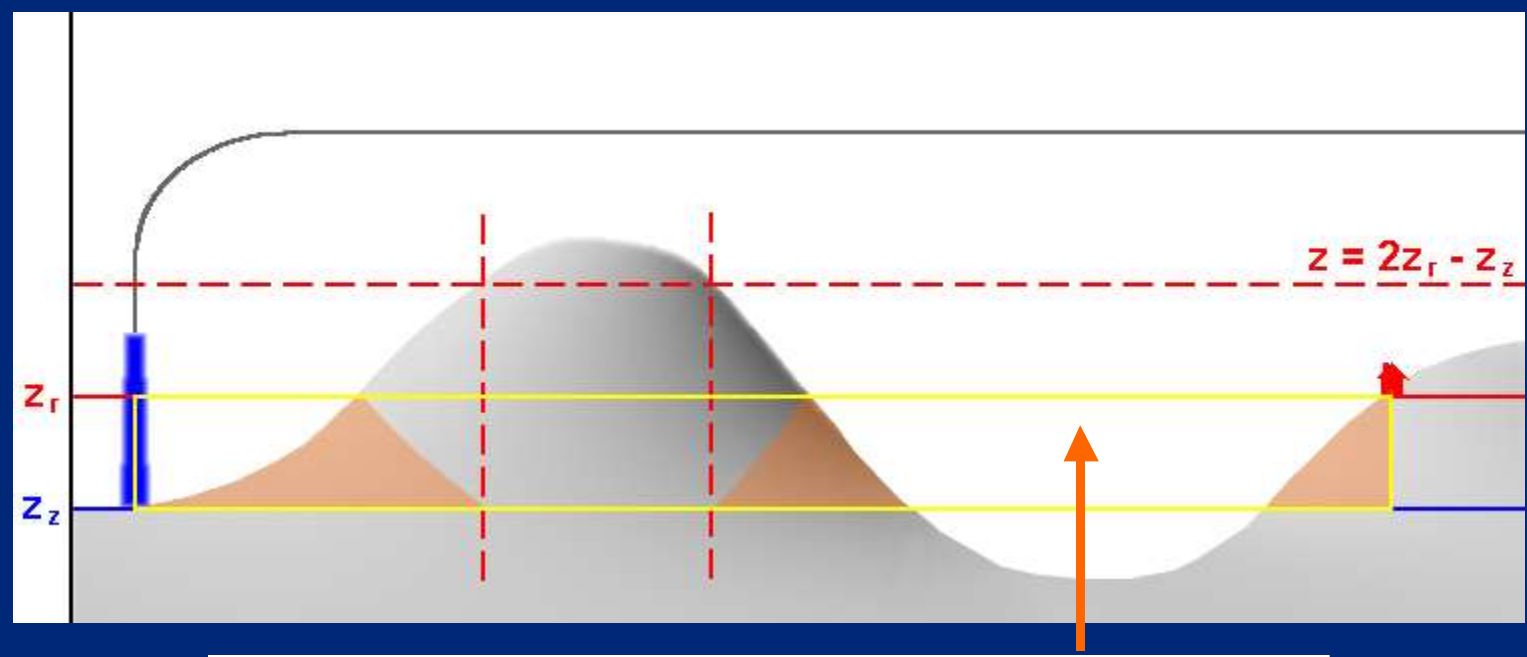


$$\begin{array}{lll} z_r > z_z & z(x') > z_z & z(x') > z_r \\ z_1(x') = z(x') - z_z & & z_2(x') = z(x') - z_r \end{array}$$

$$\theta = \max \left(0, \frac{1}{x \cdot (z_r - z_z)} \cdot \int_0^x (2 \cdot z_r - z_z - z(x')) \cdot dx' \right)$$



Metodika výpočtu koeficient θ (3/4)



$$z_r > z_z$$

$$z(x') \leq z_z$$

$$z(x') \leq z_r$$

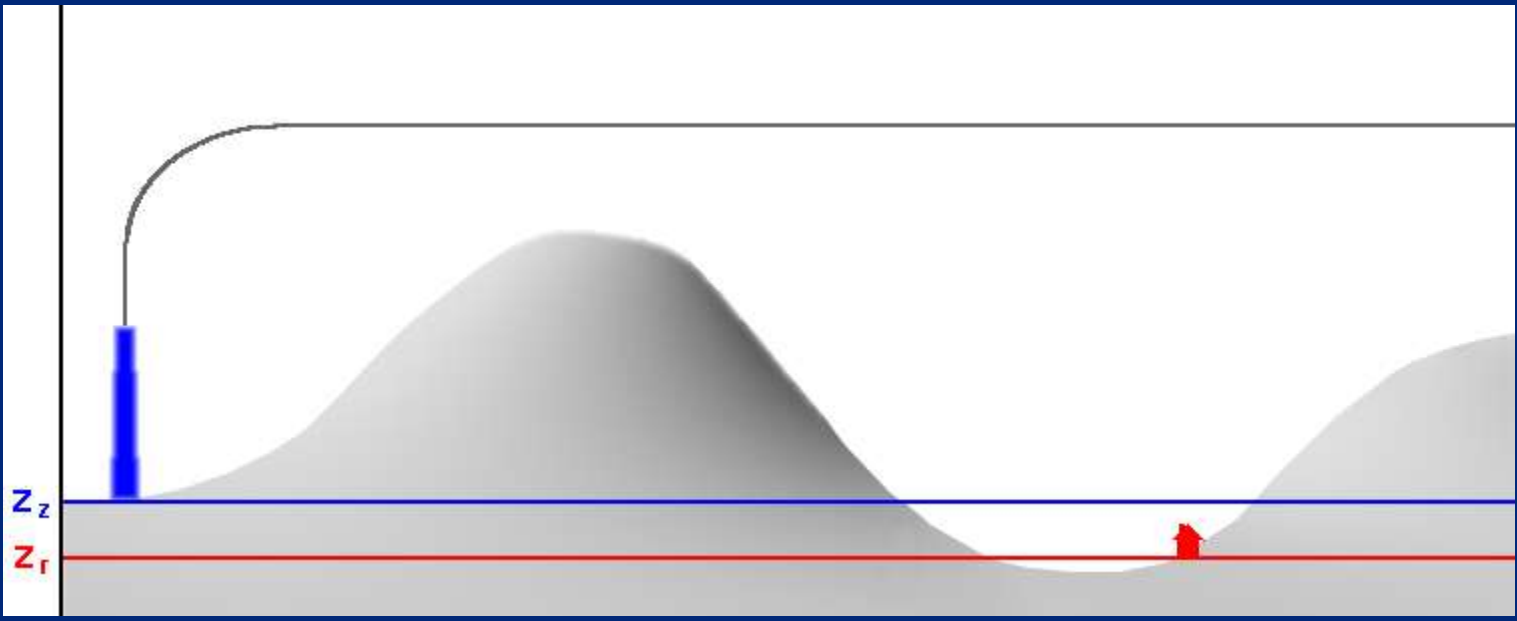
$$z_1(x') = 0$$

$$z_2(x') = 0$$

$$\theta = 0$$



Metodika výpočtu koeficient θ (4/4)



$$z_r \leq z_z$$

$$\theta = 0$$



Metodika výpočtu efektivní výška zdroje (1/4)

- efektivní výška zdroje je součet stavební výšky a vynuceného převýšení

$$h = H + \Delta h$$

- vynucená ventilace + tepelný vznos vlečky

$$\Delta h = \left((1 - \beta) \frac{1.5 \cdot w_o \cdot d}{u_H} + \beta \frac{K_s \cdot A \cdot Q^B}{u_H} \right) \cdot \left(\frac{x}{K_m \cdot \sqrt{Q}} \right)^{2/3}$$

$$x < K_m \cdot \sqrt{Q}$$

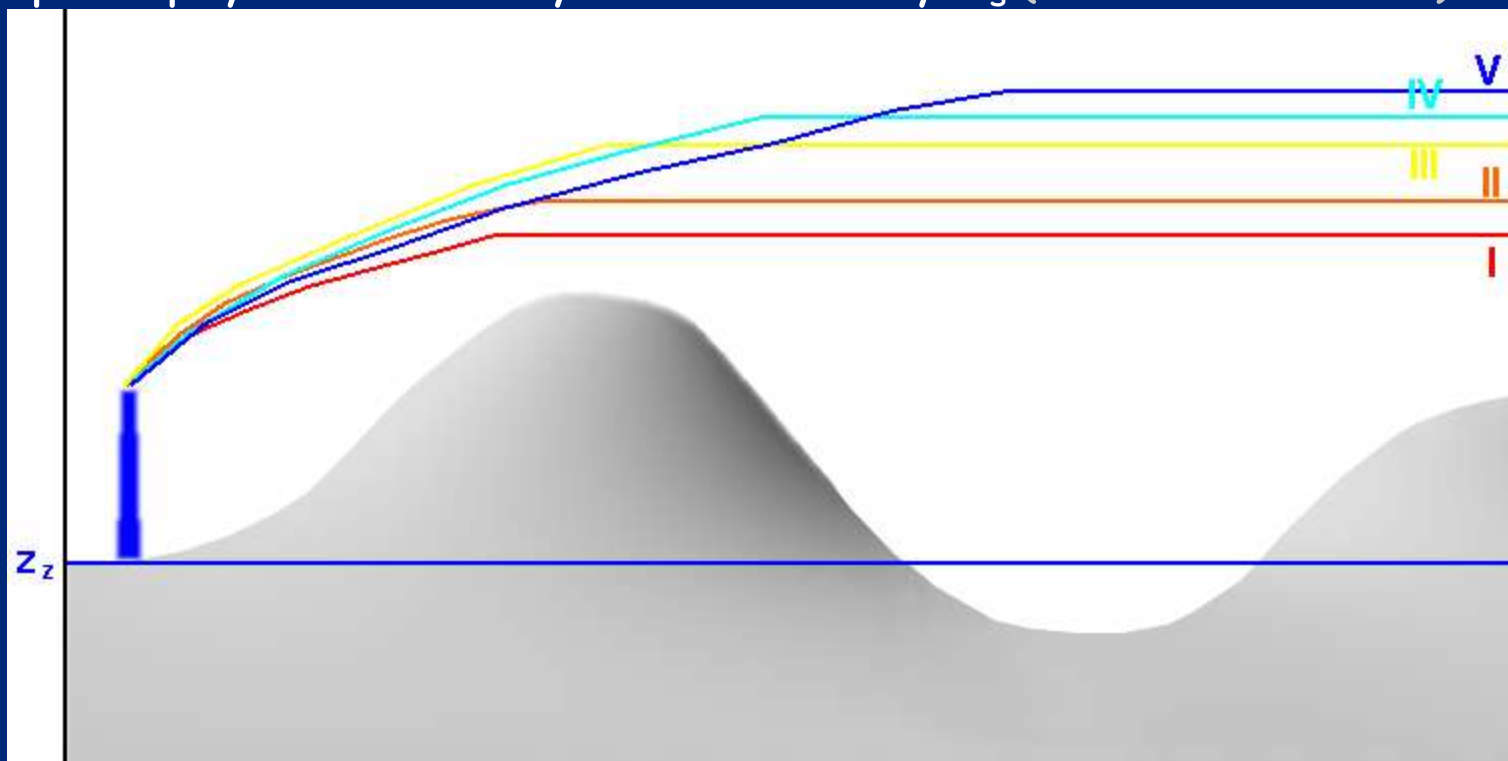
$$\Delta h = \left((1 - \beta) \frac{1.5 \cdot w_o \cdot d}{u_H} + \beta \frac{K_s \cdot A \cdot Q^B}{u_H} \right)$$

$$x \geq K_m \cdot \sqrt{Q}$$



Metodika výpočtu efektivní výška zdroje (2/4)

postupný vznos vlečky a vliv stability K_s (bez vlivu terénu)





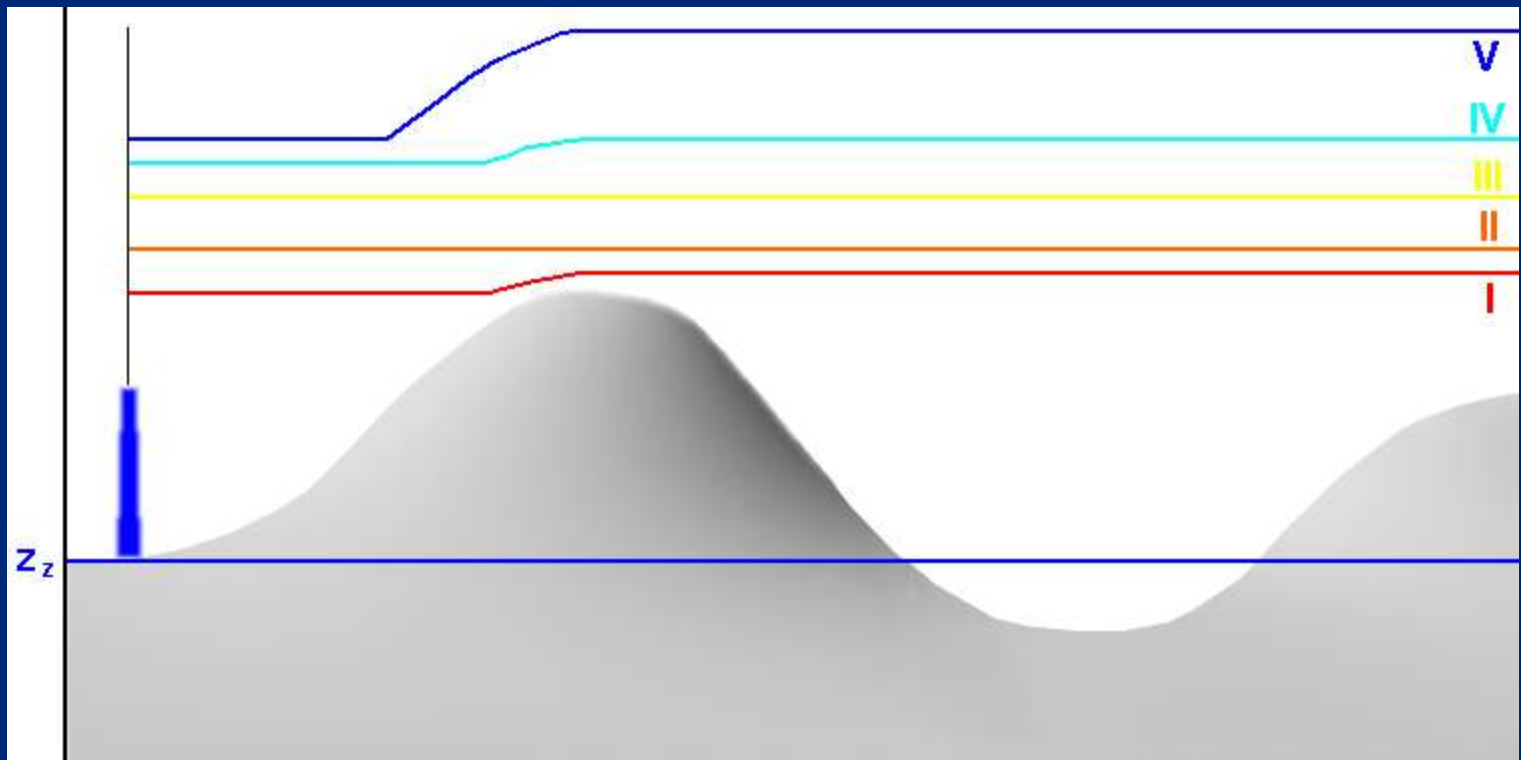
Metodika výpočtu efektivní výška zdroje (3/4)

- **korekce na terén**
 - po opuštění zdroje vlečka stoupá podél terénu
 - terén je „kopírován“ ve vzdálenosti dané parametrem ε , který závisí na třídě stability
- **blízké zdroje**
 - v případě více blízkých zdrojů se jednotlivé vlečky navzájem ovlivňují
 - velikost převýšení vlečky zdroje je touto interakcí zvětšena
 - míra nárůstu převýšení závisí na vzájemné konfiguraci zdrojů



Metodika výpočtu efektivní výška zdroje (4/4)

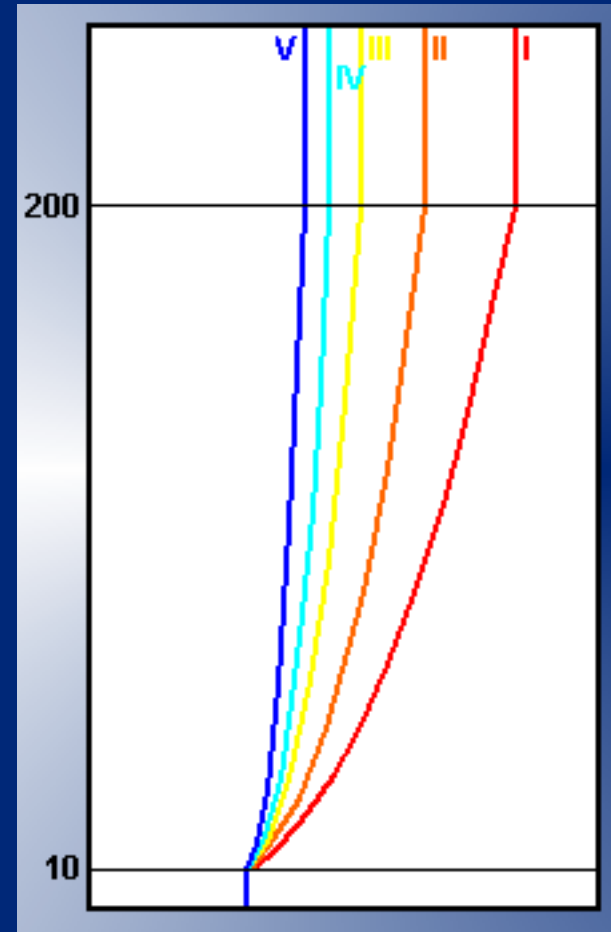
vliv terénu





Metodika výpočtu proudění - rychlost

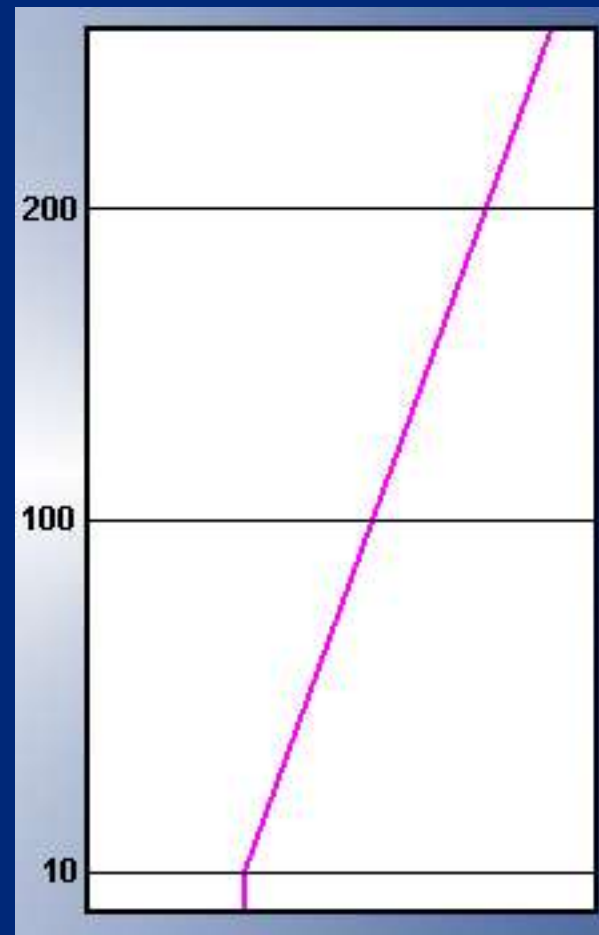
- velikost vektoru proudění se s výškou mění
- pro odhad rychlosti v dané výšce je použit mocninový profil větru
- rychlost je nejprve vypočtena ve stavební výšce zdroje H , a po výpočtu efektivní výšky znovu ve výšce h
- nárůst je uvažován do výšky 200 m





Metodika výpočtu proudění - směr

- směr proudění v atmosféře závisí obecně na výšce
- je uvažováno stočení o 4° na každých 100 m výšky ve směru hodinových ručiček
- velikost stáčení nezávisí na stabilitě





Metodika výpočtu rozptylové parametry (1/5)

- rozptylové parametry popisují rychlost rozšiřování vlečky v závislosti na vzdálenosti od zdroje
- použita byla mocninová závislost na vzdálenosti
- koeficienty závisí na třídě stability

$$\sigma_i = a_i \cdot x_L^{b_i}$$



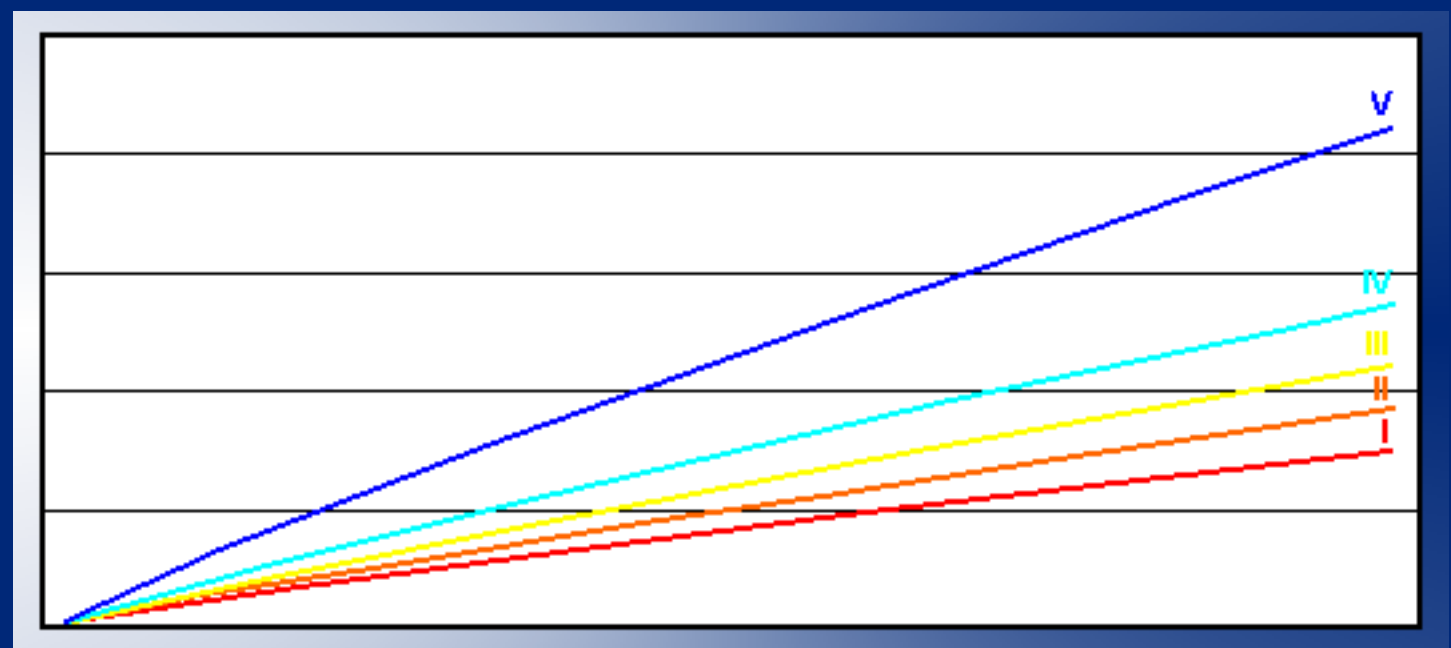
Metodika výpočtu rozptylové parametry (2/5)

- pro plošné a liniové zdroje jsou koeficienty rozptylu modifikovány v závislosti na geometrii zdroje
 - plošné zdroje - závisí na velikosti čtvercového elementu
 - liniové zdroje - závisí na orientaci a délce úseku



Metodika výpočtu rozptylové parametry (3/5)

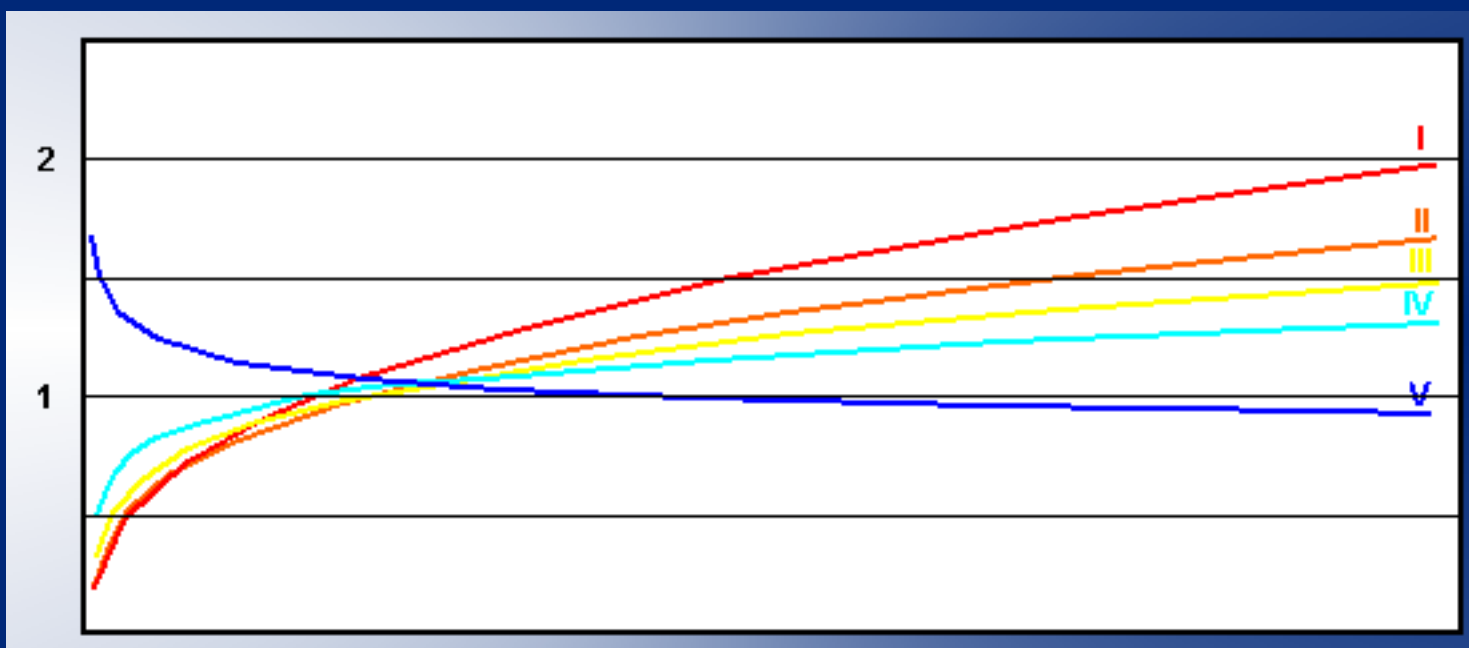
horizontální rozptyl v závislosti na stabilitě





Metodika výpočtu rozptylové parametry (4/5)

poměr σ_y/σ_z v závislosti na stabilitě





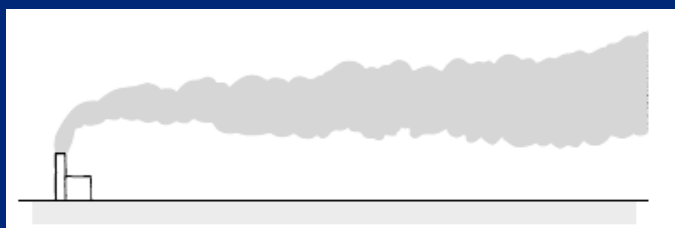
Metodika výpočtu rozptylové parametry (5/5)

Tvar vlečky v závislosti na stabilitě

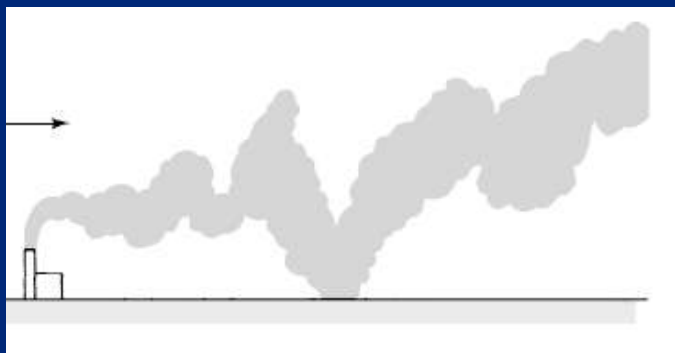
- Stabilní



- Normální



Konvektivní





Metodika výpočtu depozice a transformace

- depozice a chemická transformace jsou modelově parametrizovány v analogii k poločasů rozpadu radioaktivních látek
- jednotlivé látky jsou rozděleny do 3 tříd podle doby setrvání v atmosféře
- pro „těžký“ prach je modelována skutečná pádová rychlost
- výjimka transformace $\text{NO} \rightarrow \text{NO}_2$



Metodika výpočtu

hodnocení z pohledu NO_2 a PM_{10}

- koncentrace NO_2
 - vstupní údaj nadále NO_x (10% NO_2 , 90% NO)
 - transformace $\text{NO} \rightarrow \text{NO}_2$

$$c = c_0 \cdot \left(0,1 + 0,8 \cdot \left(1 - \exp \left(-k_p \cdot \frac{x_L}{u_{h1}} \right) \right) \right)$$

- koncentrace PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$
 - dosazení emise PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ dle:
 - známého rozložení emisní granulometrické křivky
 - průměrných hodnot procentuálního zastoupení frakce PM_{10} v emisích (viz metodika a návrh úprav)
 - pouze primární částice



Metodika výpočtu výpočet spadu

- spad (depozice) = součin koncentrace a pádové rychlosti
- roční spad

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

- pro PM_{10} a $PM_{2.5}$ se používá místo pádové rychlosti depoziční rychlost ($0.01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)



Metodika výpočtu zeslabení znečištění na horách

- znečištění od malých zdrojů je v horských oblastech nadhodnoceno (vlečka v reálné situaci nevystoupí dostatečně vysoko)
- zavedena korekce závislá na:
 - rozdílu výšek zdroj - bod
 - četnosti výskytu horních hranic inverzí mezi těmito výškami
 - stabilitě
- v metodice tabelována kumulativní četnost výskytu inverze mezi zemí a výškou 850 hPa



Výstupní hodnoty

- Metodika umožňuje stanovovat
 - průměrnou roční koncentraci
 - maximální možné krátkodobé koncentrace v dané třídě rychlosti a stability (dle legislativy)
 - maximální možnou koncentraci bez ohledu na třídu stability
 - podíly definovaných skupin zdrojů na celkové imisní zátěži
 - dobu trvání koncentrace převyšující předem zadanou hodnotu
 - doby překročení zvolených koncentrací od zdroje se sezónně proměnnou emisí



Výstupní hodnoty průměry za delší časová období

- výpočty 1-h a 8-h průměrných koncentrací
 - prováděny pomocí úpravy rozptylových parametrů σ
- výpočty denních koncentrací (SO_2 , PM_{10})
 - pomocí přepočtu hodinových hodnot na denní

$$C_d = a \cdot C_h$$

$$C_h \leq L$$

$$C_d = b \cdot \ln(C_h) - d$$

$$C_h > L$$

- L - limitní koncentrace vyplývající z tvaru obalové křivky závislosti



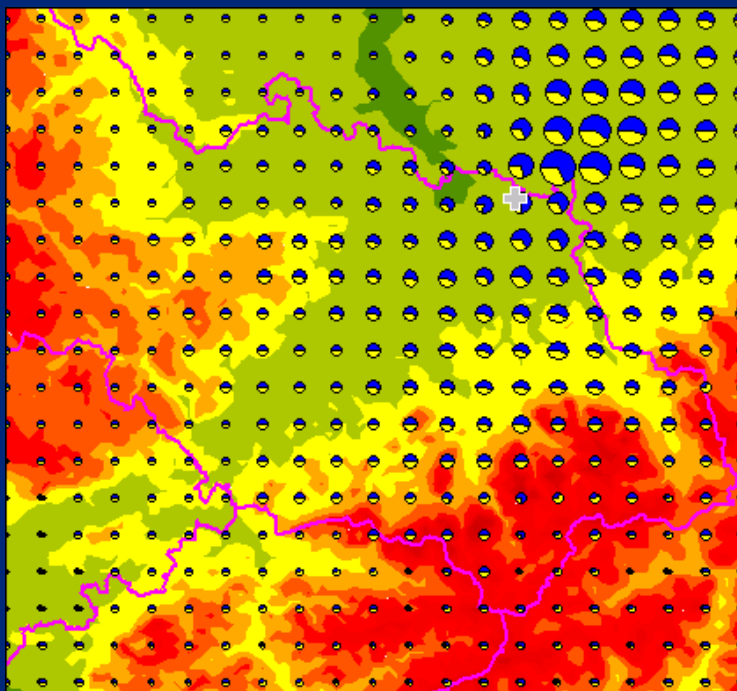
Speciální aplikace

- výpočet znečištění látkami vypouštěnými z chladicích věží
- výpočet znečištění v údolích za inverzí a bezvětří



Speciální aplikace chladicí věže

- spaliny jsou vypouštěny spolu s vlhkým vzduchem chladicími věžemi



hlavní rozdíly ve výpočtu

- způsob stanovení převýšení zdroje (závislost na teplotě a vlhkosti okolního vzduchu a na četnosti výskytu mlh)
- objem a teplota vypouštěných spalin závisí na venkovní teplotě a vlhkosti



Speciální aplikace

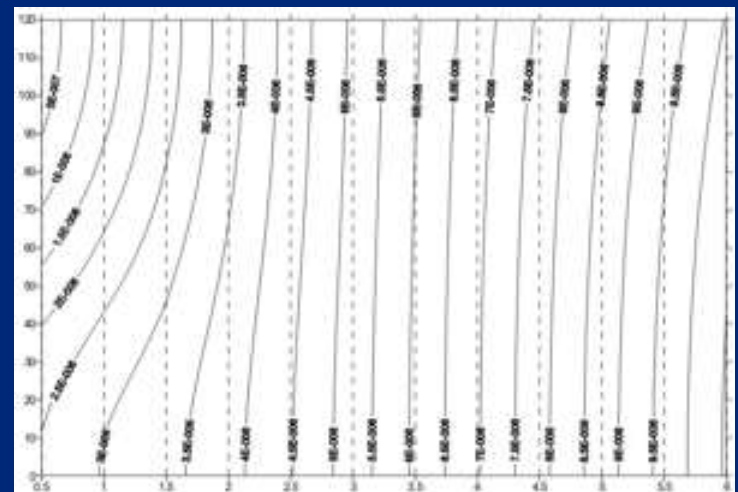
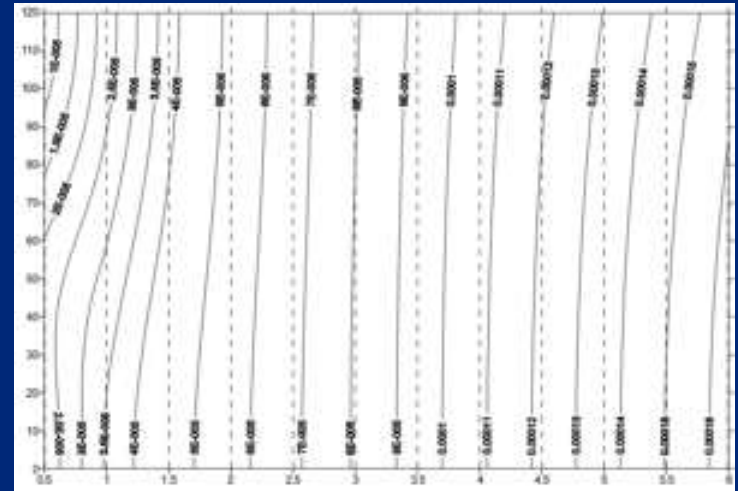
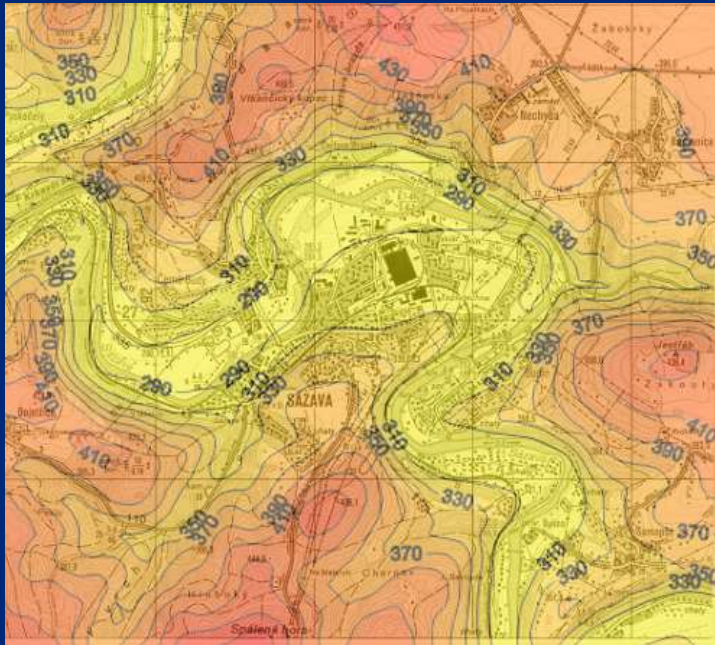
výpočet za inverzí (1/2)

- použity následující předpoklady:
 - uzavřená kotlina s bezvětřím a inverzním teplotním zvrstvením
 - údolí „zakryté“ shora inverzí
 - rovnoměrný rozptyl znečištění v oblasti (v horizontálním směru)
 - veškeré znečištění zůstává v údolí
 - výsledná koncentrace závisí na délce trvání inverze



Speciální aplikace

výpočet za inverzí (2/2)



vertikální profil koncentrací

- osa x čas
- osa y výška nad zemí



Návrhy doplnění metodiky SYMOS'97

- vychází z projektu VaV/740/2/02 (odoponovaná závěrečná zpráva projektu 2003)
- **řešené okruhy:**
 - situace s bezvětřím
 - resuspenze prachu ze zemského povrchu
 - silnice vedené zářezy
 - stanovení výšky komína s ohledem na zástavbu
 - denní koncentrace s přihlédnutím k provozní době
 - modelové hodnocení pachových látek



Referenční model ATEM





Základní charakteristiky modelu

- spolupráce ATEM a MFF UK + MHMP
- Gaussovský model
- metodika umožňuje výpočty:
 - plyných látek a prachu
 - od bodových, liniových a plošných zdrojů
 - zohlednění komplikovaného terénu
 - zahrnutí většího počtu růžic do výpočtu
- zpracování rozptylových studií
- vzdálenosti do 100 km nad střechami budov



Základní charakteristiky modelu modelové hodnoty

- **základní:**
 - maximální krátkodobá koncentrace (celková a třídní)
 - průměrná roční koncentrace
 - doba překročení imisního limitu
- **další:**
 - podíly jednotlivých zdrojů nebo uživatelem definovaných skupin
 - příspěvky z jednotlivých sektorů



Vstupní data

zdroje - bodové

komíny, výduchy

- kód zdroje
- souřadnice zdroje (kartézský souřadný systém)
- nadmořská výška [m]
- stavební výška [m]
- tepelná vydatnost spalin [MW]
- provozní doba zdroje [hod.rok⁻¹]
- typ zdroje
- číslo příslušné větrné růžice
- emise jednotlivých látek [g.s⁻¹]
- pro prach zadáno pevná granulometrická křivka



Vstupní data zdroje - liniové

většinou úseky komunikací nebo železnic

- kód zdroje
- souřadnice obou konců úseku (kartézský souřadný systém)
- nadmořská výška obou konců zdroje [m]
- šířka zdroje (komunikace) [m]
- doba po kterou je zdroj v průběhu roku v provozu [hod.rok⁻¹]
- typ emisního zdroje (dopravní)
- číslo odpovídající větrné růžice
- emise znečišťujících látek [g.s⁻¹.m⁻¹]



Vstupní data

zdroje - plošné

zdroje lokálního vytápění, dopravní zdroje

- kód zdroje
- souřadnice středu zdroje (kartézský souřadný systém)
- nadmořská středu zdroje [m]
- průměrná tepelná vydatnost [MW]
- horizontální rozměr zdroje [m]
- provozní doba [hod.rok⁻¹]
- typ emisního zdroje (dopravní)
- číslo odpovídající větrné růžice
- emise znečišťujících látek [g.s⁻¹.m⁻²]



Vstupní data

transfery / požadové koncentrace

transfery

- parametrizace nezahrnutých zdrojů včetně příspěvku dálkového transportu znečištění
- udávány po jednotlivých směrech
- roční hodnota = vážený průměr hodnot z jednotlivých směrů (váha - četnost proudění)

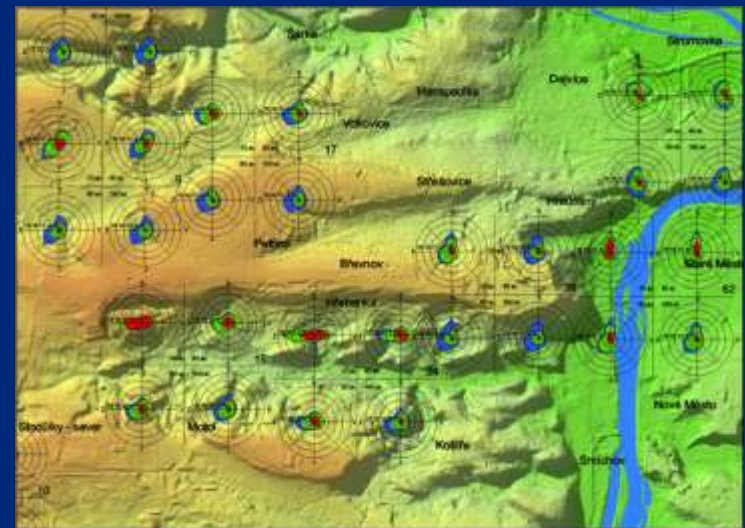
požadové koncentrace

- jednodušší případ
- jedno číslo pro každou znečišťující látku



Vstupní data větrné růžice

- stabilitně členěné větrné růžice (stabilitní klasifikace Bubník - Koldovský, tři třídy rychlosti)
- možnost využití více větrných růžic dle terénu
- výpočet transferů - hladina 850 nebo 925 hPa, pouze IV. třída stability
- 16 směrů





Vstupní údaje referenční body

- poloha bodu v souřadné síti (kartézská síť)
- nadmořská výška v místě referenčního bodu
- výška bodu nad terénem



Imisní limity

- výsledné koncentrace je nutno porovnat s imisními limity
 - Nařízení vlády 597/2006
 - konzultace se SZÚ www.szu.cz
 - Referenční koncentrace SZÚ



Metodika výpočtu

- základní rovnice
- zahrnutí terénu do výpočtu
- efektivní výška zdroje
- proudění
- rozptylové parametry
- depozice a transformace



Metodika výpočtu základní rovnice - plynné látky

- základní rovnice (bodové zdroje)

$$c(x, y, z_T) = \frac{KVDE}{2\pi\sigma_y\sigma_z u_s} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right]$$

- vertikální člen (zohlednění odrazů)

$$V = \exp\left[-0.5\left(\frac{z_T - H_{ef}}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0.5\left(\frac{z_T + H_{ef}}{\sigma_z}\right)^2\right] + \sum_{i=1}^{\infty} \left\{ \exp\left[-0.5\left(\frac{H_1}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0.5\left(\frac{H_2}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0.5\left(\frac{H_3}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0.5\left(\frac{H_4}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$



Metodika výpočtu

základní rovnice - plynné látky

- liniové zdroje
 - počátek souřadné sítě ve středu zdroje
 - RB nesmí být příliš blízko, ani daleko

$$c(x_1, y_1, z_T) = \frac{KVDE}{2\sqrt{2\pi}u_s\sigma_z} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{0,5d_{kom} \sin \theta + y}{\sqrt{2}\sigma_y}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{0,5d_{kom} \sin \theta - y}{\sqrt{2}\sigma_y}\right) \right]$$

- plošné zdroje
 - počátek souřadné sítě ve středu zdroje
 - blízký zdroj - rozdělení na menší (nevypadne celý)

$$c(x, y, z_T) = \frac{KVDdE_p}{4\sqrt{2}u_s\sigma_z} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{r_o'+y}{\sqrt{2}\sigma_y}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{r_o'-y}{\sqrt{2}\sigma_y}\right) \right]$$



Metodika výpočtu

základní rovnice - pevné látky

- jiné vyjádření vertikálního členu
 - výpočet depoziční rychlosti ve vertikálním členu

$$V = \left\langle \exp \left[-0.5 \left(\frac{z_T - H_{ef}}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \gamma_n \exp \left[-0.5 \left(\frac{z_T + H_{ef}}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right. \\ \left. \sum_{i=1}^{\infty} \left\{ \gamma_n^{i-1} \exp \left[-0.5 \left(\frac{A_1}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \gamma_n^i \exp \left[-0.5 \left(\frac{A_2}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \gamma_n^i \exp \left[-0.5 \left(\frac{A_3}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \gamma_n^{i+1} \exp \left[-0.5 \left(\frac{A_4}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \right\rangle$$



Metodika výpočtu zahrnutí terénu do výpočtu

- využití více větrných růžic
- vertikální souřadnice

$$z_T = \begin{cases} (z_R - z_p) & \text{pro } (z_R - z_p) > 0 \\ 0,8H_{ef} & \text{pro } (z_R - z_p) \geq 0,8H_{ef} \\ 0 & \text{pro } (z_R - z_p) \leq 0 \end{cases}$$

- korekce efektivní výšky

$$H_{ef} = H_{ef0} + T_{stab}(z_R - Z_p)$$



Metodika výpočtu efektivní výška zdroje

- základní vztah

$$H_{ef0} = h_s + \frac{fQ_s^{1/4}}{u_s}$$

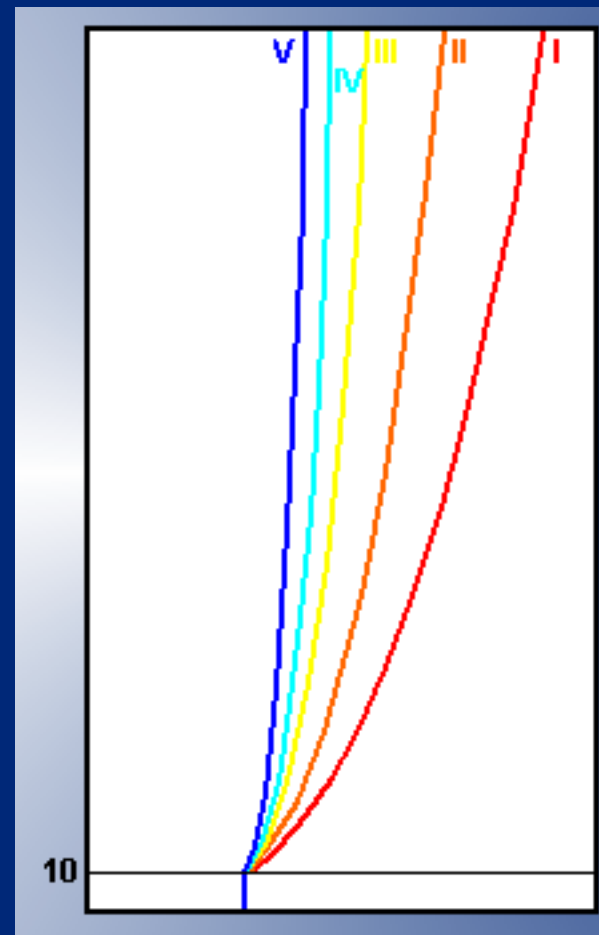
- postupný vznos do vzdálenosti

$$x_0 = \left(\frac{20}{3}\right) L_b \Delta H \left(\frac{h_s + \Delta H}{2}\right)^a$$



Metodika výpočtu proudění - rychlost

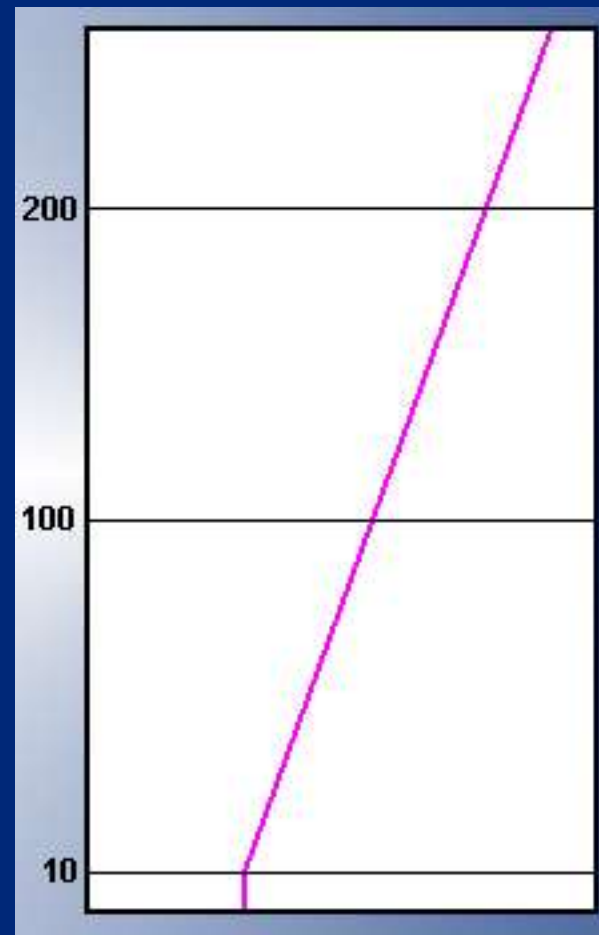
- velikost vektoru proudění se s výškou mění
- pro odhad rychlosti v dané výšce je použit mocninový profil větru
- **nárůst je uvažován bez omezení - rozdíl oproti SYMOS**





Metodika výpočtu proudění - směr

- směr proudění v atmosféře závisí obecně na výšce
- je uvažováno stočení o 4° na každých 100 m výšky ve směru hodinových ručiček
- velikost stáčení nezávisí na stabilitě





Metodika výpočtu rozptylové parametry

- základní vztah

$$\log_{10} \sigma_y = A_y \log_{10} \left(\max \left(1, \frac{x}{100} \right) \right)^{B_y} + C_y$$

$$\sigma_z = A_z x^{B_z}$$

- odlišné vyjádření σ_{i0} pro dopravní zdroje
- liniové a plošné zdroje parametrizovány pomocí virtuálních zdrojů
- minimální hodnoty pro krátké vzdálenosti



Metodika výpočtu depozice a transformace

- depozice a chemická transformace jsou modelově parametrizovány v analogii k poločasů rozpadu radioaktivních látek
- zadané střední doby setrvání v atmosféře
- pro „těžký“ prach je modelována skutečná pádová rychlost - zahrnuto ve vertikálním členu
- výjimka transformace $\text{NO} \rightarrow \text{NO}_2$



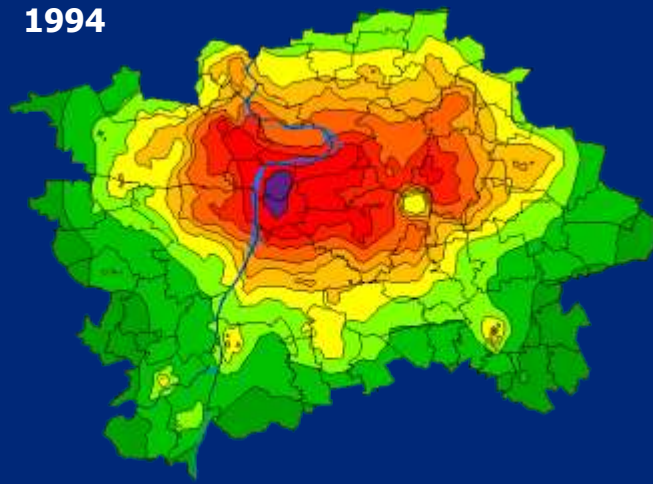
Výstupní hodnoty

- metodika umožňuje stanovovat
 - průměrnou roční koncentraci
 - maximální možné krátkodobé koncentrace v dané třídě rychlosti a stability (dle legislativy)
 - maximální možnou koncentraci bez ohledu na třídu stability
 - podíly definovaných skupin zdrojů na celkové imisní zátěži
 - dobu trvání koncentrace převyšující předem zadanou hodnotu
 - doby překročení zvolených koncentrací od zdroje se sezónně proměnnou emisí

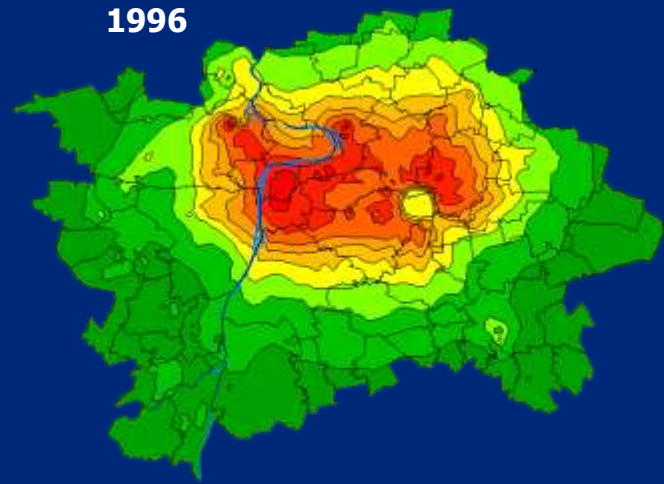


Příklad výpočtu vývoj koncentrací SO₂ na území Prahy

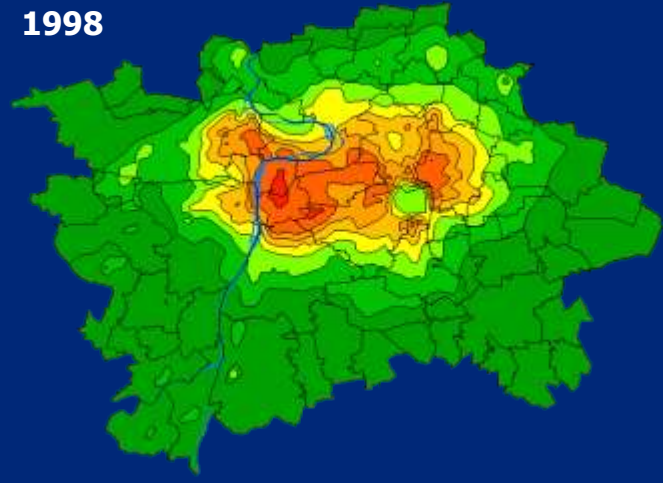
1994



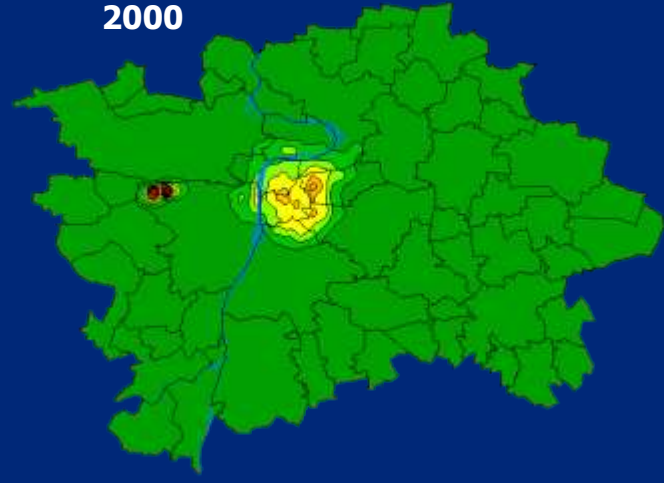
1996



1998



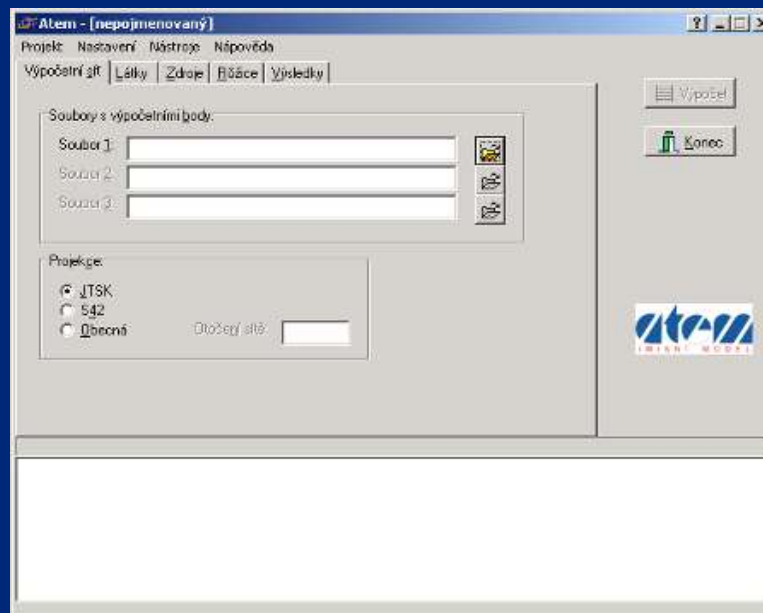
2000





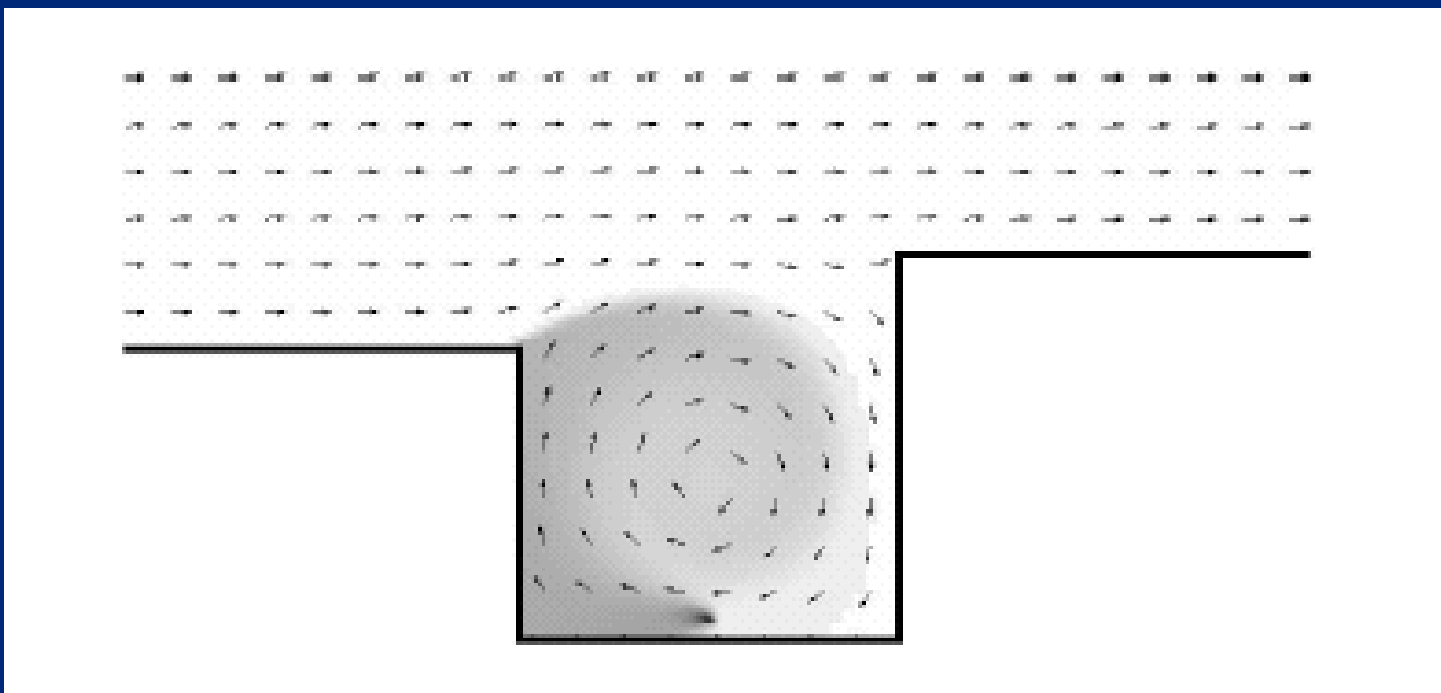
Dostupnost modelu

- demo verze - www.atem.cz
- možnost zakoupit plnou verzi





Model AEOLIUS





Modely pro studium lokálního vlivu dopravy

- Dosud málo rozšířeny
- Podmínky proudění vzduchu a šíření znečišťujících látek v městském prostředí určovány zejména charakterem městské zástavby
- Zvláště vysoké koncentrace v ulicích obklopených vysokými budovami - uliční kaňon

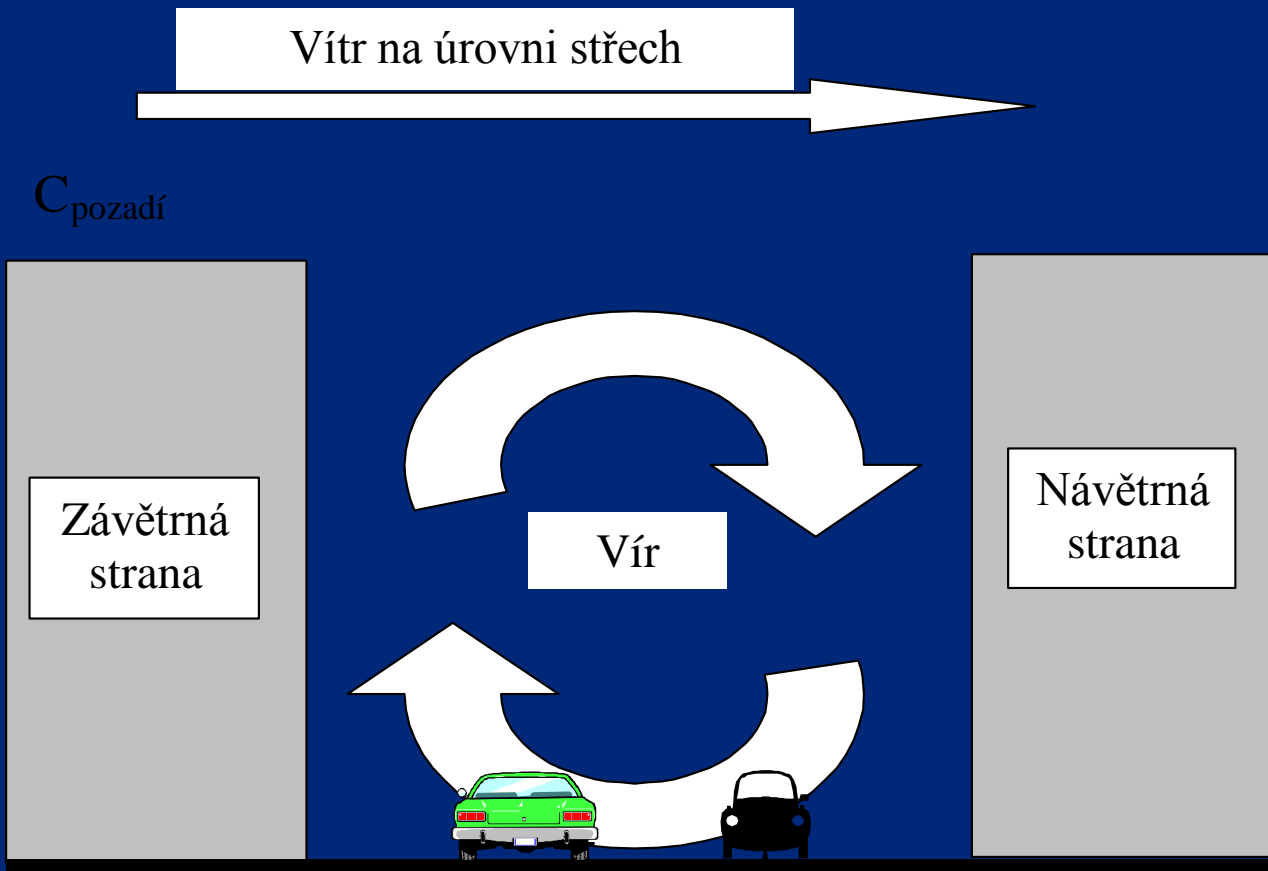


Schema proudění v kaňonu (1/2)

- Vítr na úrovni střech budov pod určitým úhlem s podélnou osou ulice
- Mezi budovami se tvoří vír s horizontální osou
- Na úrovni vozovky směr větru opačný než je směr proudění na úrovni střech



Schema proudění v kaňonu (2/2)



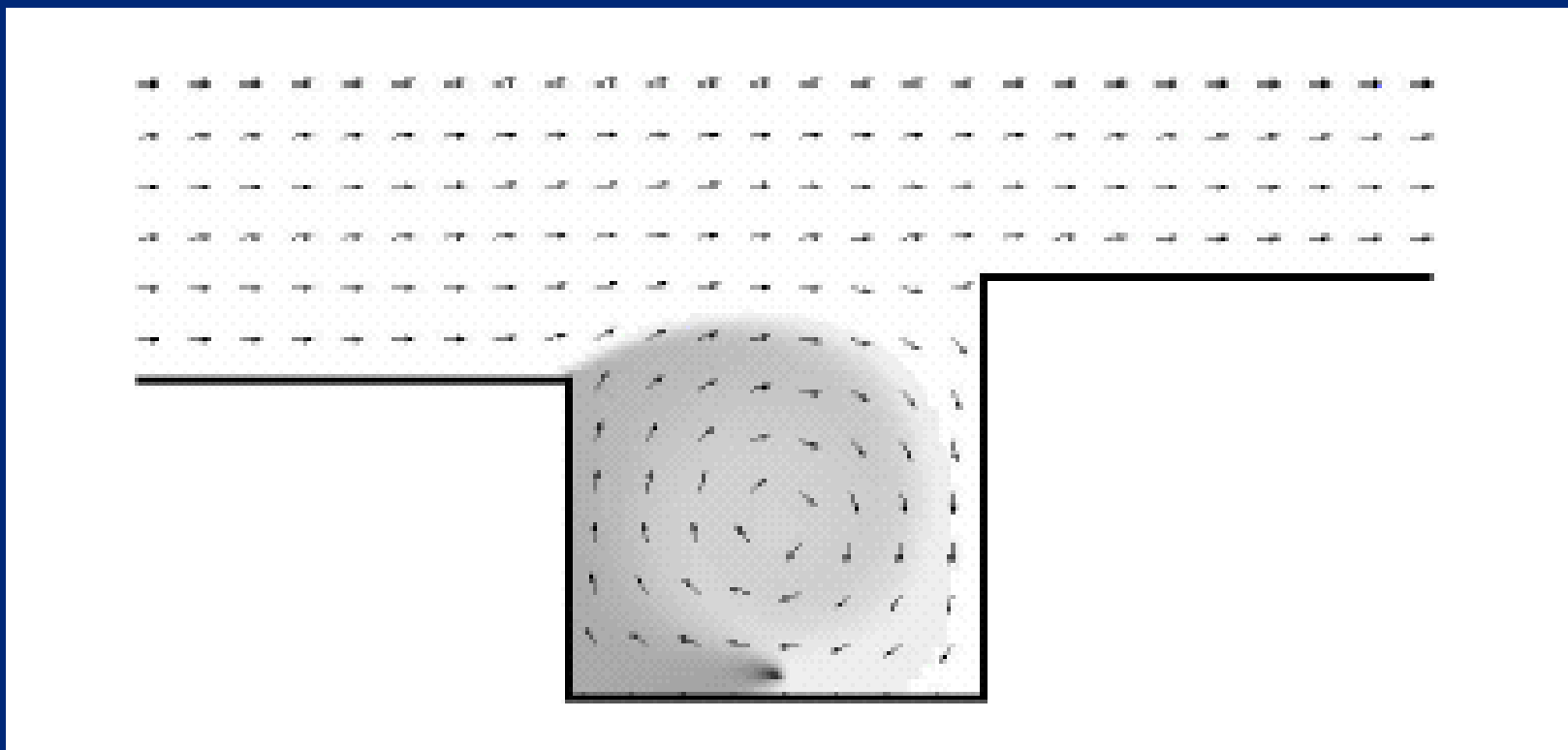


Schema proudění v kaňonu

- Znečišťující látky emitované dopravou zachyceny v pomalu cirkulujícím víru a pouze zvolna jsou vyplavovány z kaňonu ulice nad úroveň střech budov
- Koncentrace na návětrné straně nižší ve srovnání s koncentracemi na straně závětrné
- Klasické vlečkové gaussovské modely v těchto případech nevhodné



Rozložení koncentrace v kaňonu





Používané modely (1/2)

- Operational Street Pollution Model (OSPM) (Hertel a Berkowitz ,1991). Zabudován jako modul pro řešení uličních kaňonů do systému ADMS-Urban (Atmospheric Dispersion Modelling System), US EPA 1998
- SIRANE (Soulhac a kol., 2001), zdokonalení, nepoužívá předpoklad, že se jedná o ulici nekonečně dlouhou, umožňuje řešit pronikání znečištění do vedlejších ulic a situaci na křižovatkách.



Používané modely (2/2)

- **AEOLIUS** (Assessing the Environment Of Locations In Urban Streets)
- Vyvinula Britská meteorologická služba (UKMO) na bázi rovnic Hertela a Berkowitze
- Model určen pro podporu rozhodování místních autorit a je dotažen do podoby kladoucí minimální nároky na uživatele
- Volně dostupný na internetových stránkách britské meteorologické služby
<http://www.met-office.gov.uk/environment/>



AEOLIUS - charakteristika

- Umožňuje počítat hodinové průměry koncentrací NO_x , NO_2 , CO , SO_2 , PM_{10} , benzenu a 1,3-butadienu
- Verze „screen“ rovněž počítá 98 percentil koncentrací NO_2 a maximální osmihodinová koncentrace CO
- Vstupy a výstupy interaktivní („screen“) nebo formou dávkových souborů (verze „full“)



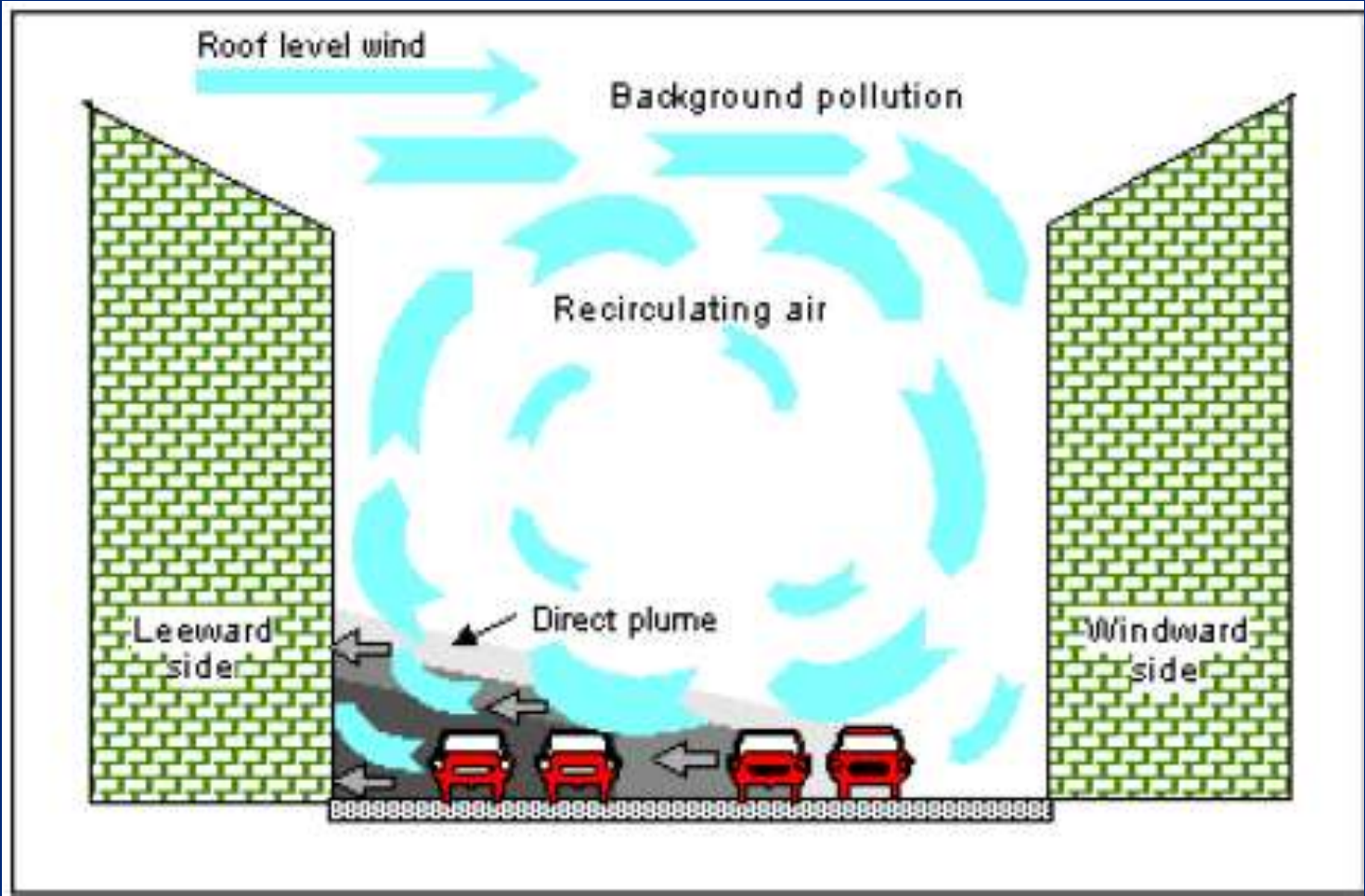
AEOLIUS - principy (1/2)

- Výsledná koncentrace = bezprostřední příspěvek liniového zdroje + příspěvek zachycený v cirkulujícím víru
- Bezprostřední příspěvek - vlečkový model
- Recirkulační část - box model
- Zahrnuta turbulence produkovaná pohybem vozidel, tudíž k promíchávání dochází i za bezvětří
- Rovnice lze najít
Berkowicz, R. (2000) OSPM - A parameterised street pollution model, Environmental Monitoring and Assessment, Volume 65, Issue 1/2, pp. 323-331.

http://www.dmu.dk/1_viden/2_Miljoe-tilstand/3_luft/4_spredningsmodeller/5_OSPM/5_description/default_en.asp



AEOLIUS - principy (2/2)





AEOLIUS - struktura souborů

- 5 vstupních souborů v pevném formátu
- Řídicí soubor DATAFILE.DAT (název povinný) obsahuje zejména
 - názvy vstupních datových souborů
 - geometrii ulice
 - emisní faktory
 - zadání modelované látky
 - azimut receptorového bodu
 - délku modelovaného období

AEOLIUS - struktura souborů (1/2)

Další datové soubory (názvy volné) obsahují

SMALLVPH.DAT

- hodinové průměry frekvence malých vozidel v ulici

LARGEVPH.DAT

- hodinové průměry frekvence velkých vozidel v ulici

SPEEDMPH.DAT

- hodinové průměry rychlosti všech vozidel v ulici

LEGE0595.DAT

- **meteorologické informace:** rok, měsíc, den, hodinu, průměrný směr větru (ve stupních), teplotu (°C), tlak (hPa) a průměrnou rychlost větru v 10 m nad zemí (m/s), pro každou hodinu každého uvažovaného dne.





AEOLIUS - struktura souborů (2/2)

Výstupní soubor (název volný) POLL.DAT

1. rok (4 číslice)
2. měsíc (1 nebo 2 číslice; 1 = leden)
3. den (1 nebo 2 číslice)
4. den hodina dne (1 až 2 číslice; 0 = půlnoc, začátek dne; 23 = 11 pm, konec dne)
5. průměrný směr větru během hodiny (stupně)
6. rychlost větru na úrovni ulice (m/s)
7. rychlost větru na úrovni střechy (m/s)
8. celkové předpokládané koncentrace znečištění (ppb, pro CO: ppm a PM10: $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Jestliže je NO₂ specifikováno jako sledovaná látka, potom celková koncentrace je udána v kategoriích: NO, NO₂ a NO_x.



Struktura řídicího souboru

Data file to run with FORTRAN program : AEOLIUSF.FOR
Job description
Test run for traffic using vehicles per hour (DRM 16/1/1997)
Name of Pollution output file (12 character string)
poll_mph.dat
Pollutant under consideration (CO, NO2, O3, C6H6, SO2, PM10)
NO2
Molecular weight of Pollutant
e.g. CO (28.01), NO2 (46.0047), C6H6 (78.1134), SO2 (64.058), PM10 (0.0)
46.0047
Emission factor for small vehicles (g/km/vehicle)
1.429
Emission factor for large vehicles (g/km/vehicle)
9.23
Background concentration of pollutant (ppb except CO:ppm and PM10:ug/m3)
0.0
Name of file containing MET data (12 character string)
birm0595.dat
Number of days to be modelled (max 31)
1
Name of file detailing frequency: Small Vehicles/hour (12 character string)
smallvph.dat
Name of file detailing frequency: Large Vehicles/hour (12 character string)
largevph.dat
Name of file detailing average speed (mph) of Vehicles (12 character string)
speedmph.dat
Compass bearing to receptor (degrees clockwise from north) from across street
0.0
Width of Street (m)
20.0
Average height of Street Buildings (m)
20.0
Average surface area of small vehicle (m*m)
4.0
Average surface area of large vehicle (m*m)
16.0
Effective height of release of pollutant (m)
2.0
Surface Roughness length (m)
0.6



Struktura souboru meteodat

METEOROLOGICAL DATA FOR AEOLIUS:FULL VERSION

STATION PRAHA KARLOV

DCNN NUMBER 4446

YEAR	MM	DD	HR	DIR	TEMP	PRESS	U10
1995	5	1	0	210	9.1	1024.9	3.086
1995	5	1	1	220	9.1	1025.1	2.058
1995	5	1	2	140	6.5	1024.7	2.058
1995	5	1	3	160	4.7	1025.1	2.058
1995	5	1	4	170	4.2	1025.1	1.543



Struktura souboru dopravních dat (počty vozidel)

LEGEROVA TRAFFIC COUNTS: LARGE VEHICLES/HOUR
(AT HOUR ENDING 01 TO 24)

SUN	MON	TUE	WED	THU	FRI	SAT
18.0	14.4	32.4	14.4	14.4	28.8	28.8
10.8	7.2	14.4	10.8	3.6	10.8	21.6
10.8	3.6	10.8	7.2	10.8	7.2	10.8
10.8	3.6	10.8	10.8	3.6	10.8	10.8
7.2	3.6	7.2	3.6	3.6	3.6	7.2
3.6	3.6	10.8	7.2	7.2	10.8	14.4
10.8	14.4	18.0	10.8	14.4	14.4	25.2



Struktura výstupního souboru

AEOLIUSF Street Canyon Model

Meteorological Office, Bracknell, Berkshire RG12 2SZ

AEOLIUS FULL version 1.4 dated 05 March 1997

© Crown Copyright 1997

DATAFILE datafile.DAT HAS BEEN OPENED

Test run for traffic using vehicles per hour (DRM 16/1/1997)

Emission factor: Small= 1.4290 Large= 9.2300

Date of first entry: 1/ 5/1995

Input files:- birm0595.dat, smallvph.dat, largevph.dat, speedmph.dat

Input data:-

Pollutant: NO₂ , Molecular Weight: 46.005

Number Days: 1, Surface Rough: .6

Backgrd Poll: .0, Receptor Bearing: .0

Street Height: 20.0, Street Width: 20.0

S.Area Car: 4.0, S.Area lorry: 16.0

Height Source: 2.0, Street Axis: 90.0

YY	MM	DD	HR	Wind Dirn	U	Street	U Rooftop	NO ₂ ppb	NO ppb	NOX ppb
1995	5	1	0	210.00	1.09	3.85	6.15	2.36	8.51	
1995	5	1	1	220.00	.75	2.57	9.50	3.87	13.37	
1995	5	1	2	140.00	.75	2.57	3.90	1.50	5.40	
1995	5	1	3	160.00	.72	2.57	.76	.29	1.05	
1995	5	1	4	170.00	.53	1.92	.49	.19	.68	



Aplikace modelu

- Model je ve Spojeném království využíván místními autoritami, zodpovědnými za kvalitu ovzduší, pro přípravu zpráv o kvalitě ovzduší v sídelních celcích a k odhadu vývoje očekávaného znečištění z dopravy
- Ověření modelu na datech ze dvou britských měst provedl Buckland (1998).



Aplikace modelu v ČR

- Jako referenční model pro výpočet očekávaného znečištění z dopravy v městských oblastech, v jednotlivých ulicích
- Zatím bez rozsáhlejších praktických zkušeností
- Ověření modelu provedeno na datech nové „hot-spot“ stanice v Praha-Legerova ulice



Závěry

- **Výhody** - jednoduchý, snadná dostupnost, nenáročný na počítač
- V UK rozšířen a široce používán, viz například *AIR QUALITY IN BRADFORD ON AVON A Report for the Air Quality Working Group of Bradford on Avon Preservation Trust Professor Bryan Harris, Materials Research Centre, Department of Engineering & Applied Science, University of Bath, August 2002.*
- **Nevýhody** - „black box“, nejsou rovnice a zdrojový program, dokumentace strohá



Podíl PM_{10} a $PM_{2.5}$ v emisích TZL

- *Ve stavu návrhu*
- *Diskutován mezi OEZ ČHMÚ a OOO MŽP*
- *Podíl primárních částic PM_{10} a $PM_{2.5}$ v emisích TZL, členěno podle*
 - *druhu technologie*
 - *typu odlučovače*
 - *druhu paliva*

Podíl PM_{10} a $PM_{2.5}$ v emisích TZL Podle druhu technologie

Typ technologie	Podíl emisí v TZL	
	PM10 %	PM2,5 %
mechanický vznik manipulace s materiálem, mletí, prosívání a sušení materiálu (např. lomy, čištění uhlí)	51	15
mechanický vznik jemné mletí, broušení, nanášení barev a laků vypalování a jiné tepelné úpravy	85	30
aglomerace rud, jílu apod. manipulace se zrnem	53	18
sklizeň obilí, manipulace s obilím, zpracování dřeva zpracování zrnin	15	1
mletí obilí, sušení, třídění tavení kovů (mimo hliníku)	61	23
všechny primární i sekundární výrobní procesy probíhající za vysokých teplot, výroba minerální vlny	92	82
kondenzace, hydratace, absorpce, destilace uzení masa, výroba dřevěného uhlí, kalení	94	78

Podíl PM_{10} a $PM_{2.5}$ v emisích TZL Podle typu odlučovače

Druh odlučovače	Podíl emisí v TZL	
	PM10	PM2,5
FILTRY	85	60
F - textilní s regenerací ON LINE	85	60
F - textilní s regenerací OFF LINE	85	60
F - ze slinutých poréznych vrstev	85	60
F - se zrnitou vrstvou	85	55
ELEKTRICKÉ ODLUČOVAČE	85	55
E - suchý	85	55
E - mokrý	85	55
SUCHÉ MECHANICKÉ ODLUČOVAČE		
S - vírový jednočlánkový (cyklon)	65	35
S - multicyklon	70	45
MOKRÉ MECHANICKÉ ODLUČOVAČE	75	40
M - rozprašovací	90	60
M - pěnový	90	60
M - vírový	90	50
M - hladinový	90	50
M - proudový	95	75
M - rotační	95	75
M - kondenzační	85	55
ODSIŘOVÁNÍ		
mokré metody	80	60
polosuché metody	80	60
adsorpční metody	90	70
JINÉ PROCESY K OMEZOVÁNÍ EMISÍ		
absorpce plynů	95	75



Podíl PM_{10} a $PM_{2.5}$ v emisích TZL Podle druhu paliva

Druh paliva	Podíl emisí v TZL	
	PM10	PM2,5
	%	%
Tříděné druhy uhlí	40	25
Dřevo	95	90
Prachové druhy uhlí	35	10
Jiná biomasa	95	90
Lignit, proplástek	23	6
Topné oleje	83	67
Koks	40	20
Plynná paliva	100	100