



Modelování zdravotně významných částic v ovzduší v podmínkách městské zástavby

Jiří Pospíšil, Miroslav Jícha

pospisil.j@fme.vutbr.cz

Vysoké učení technické v Brně
Fakulta strojního inženýrství
Energetický ústav

Specifika popisu šíření suspendovaných částic

Městské oblasti silně zatížené suspendovanými částicemi

- Složitá geometrie oblasti
- Přítomnost pohybujících se automobilů



Potřeba detailního řešení rychlostního pole



Popis pohybu suspendovaných částic

- Korektní popis zdrojů
- Transportní mechanismy
- Interakce s povrchy
- Popis depozice - resuspenze



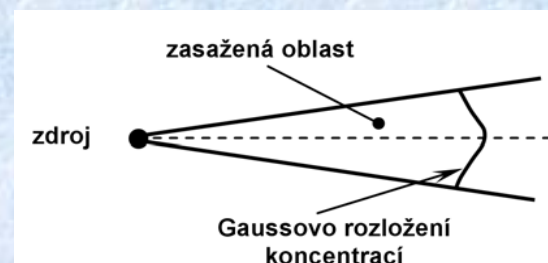
Potřeba modelových nástrojů schopných korektního popisu



Matematické modely pro řešení transportu suspendovaných částic

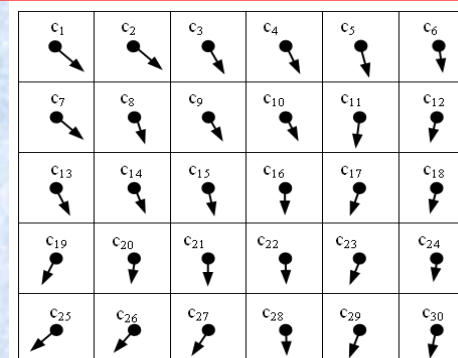
• Gaussovské vlečkové modely

- algebraické řešení rozptylu
- nepostihují detailní geometrii a pohyb automobilů



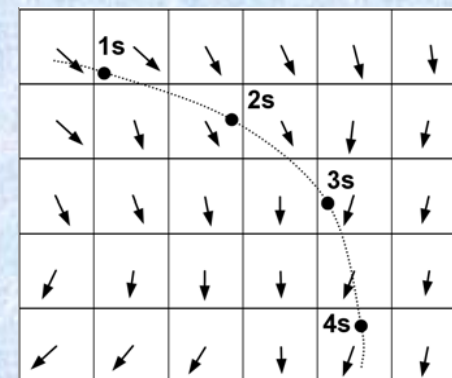
• Eulerovské modely

- numerické řešení soustav diferenciálních rovnic
- postihuje detailní geometrii a pohyb automobilů
- řeší koncentrace látky v uzlových bodech



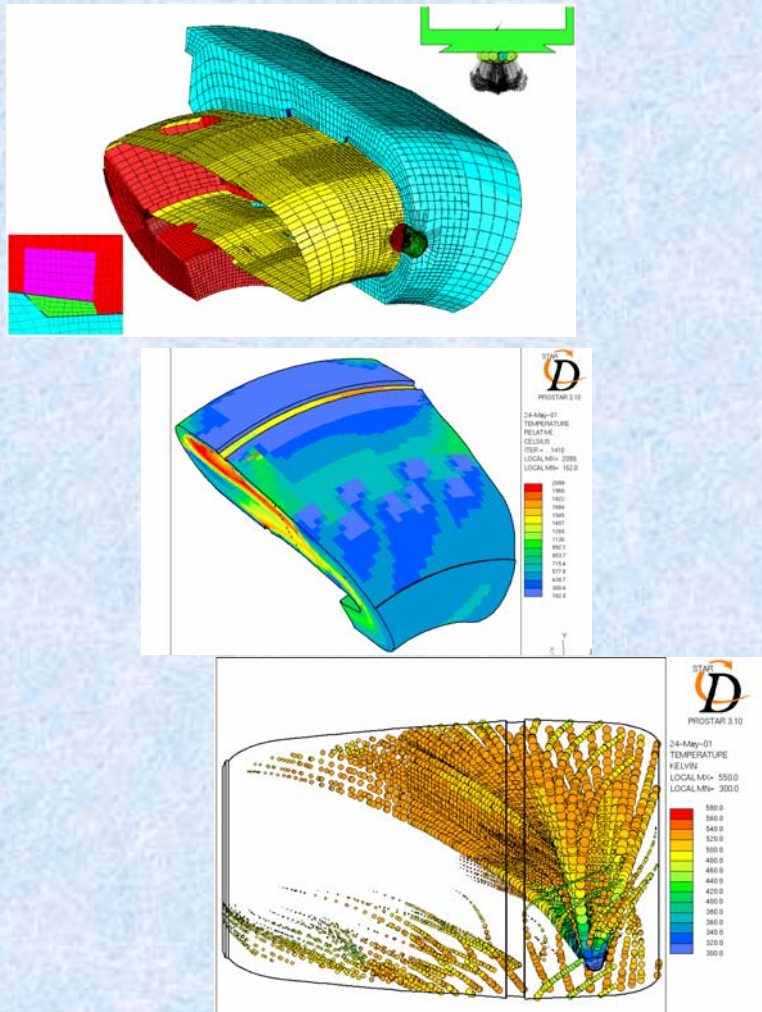
• Lagrangeovské modely

- numerické řešení soustav diferenciálních rovnic
- postihuje detailní geometrii a pohyb automobilů
- řešení sleduje pohyb každé částice
- výpočetně náročné

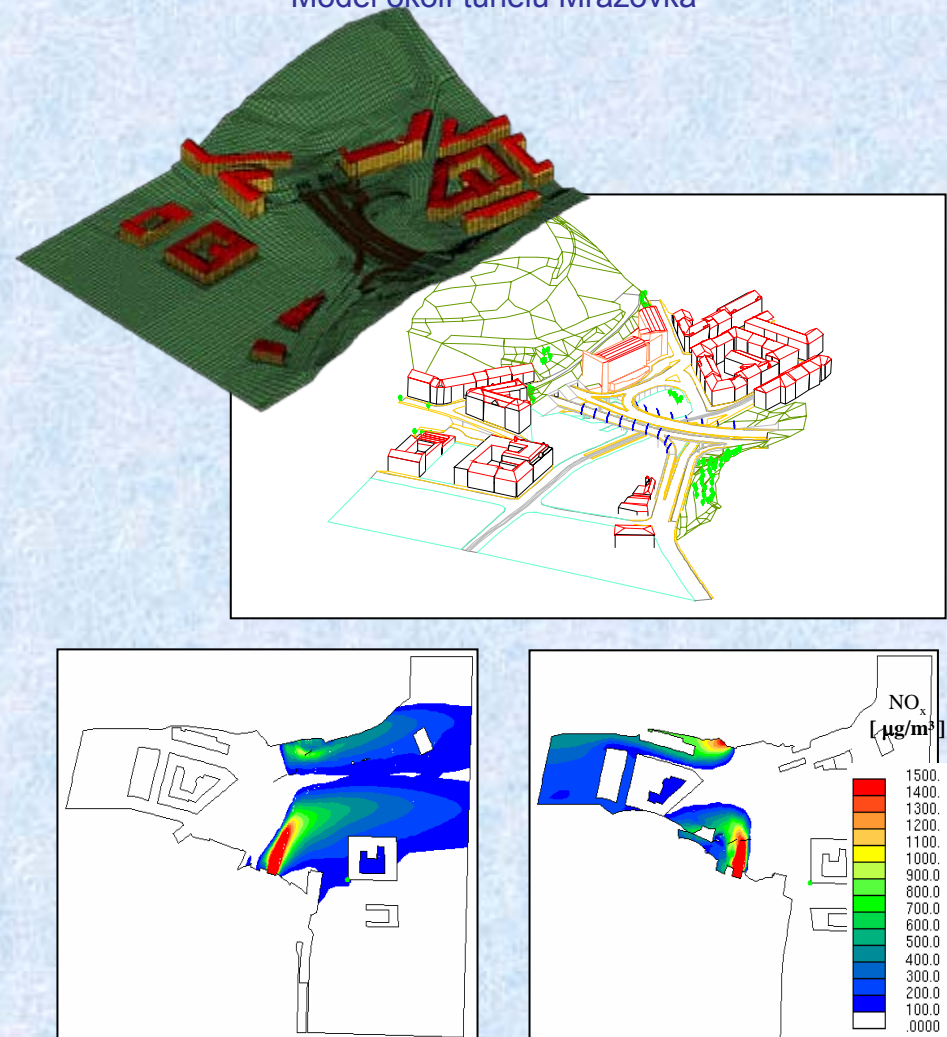


CFD - Computational Fluid Dynamics (počítačové modelování proudění)

Průmyslová aplikace
Spalovací komora leteckého motoru



Řešení rozptylu znečišťujících látek
Model okolí tunelu Mrázovka



CFD - Computational Fluid Dynamics (počítačové modelování proudění)

Metoda konečných objemů - řeší bilance toků veličin na objemových elementech
(zákon zachování hmoty, energie, hybnosti)

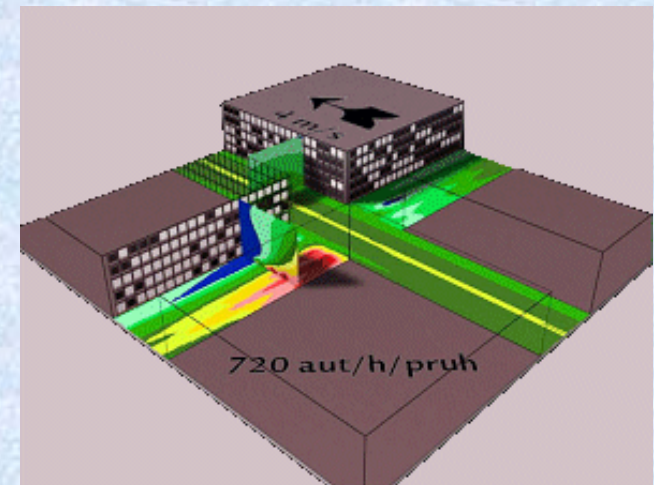
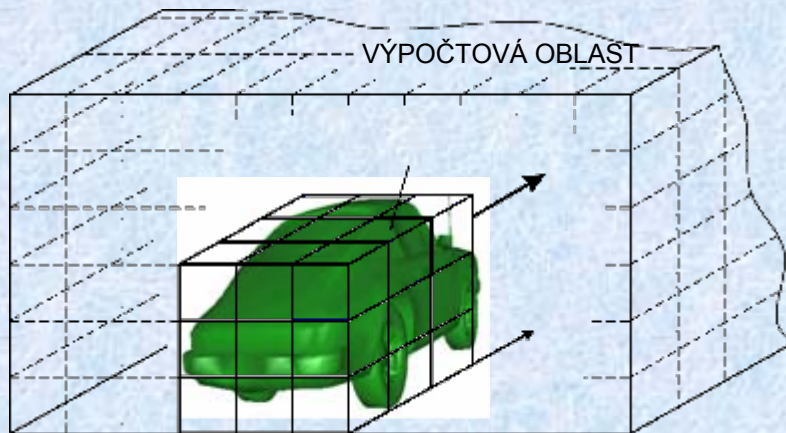
- poskytuje pole v, p, T, c

Zahrnutí pohybu automobilů

- dodatečná hybnost
- dodatečná turbulence

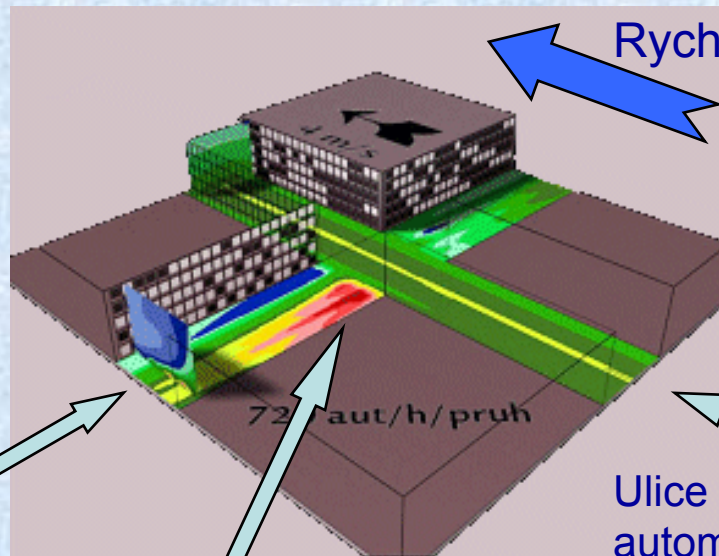
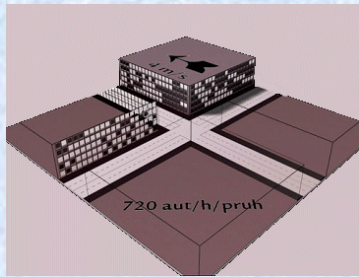
Způsob řešení

- stacionární výpočet
- časově závislé řešení



Získáno korektní rychlostní pole vzduchu v řešené oblasti

Stacionární řešení



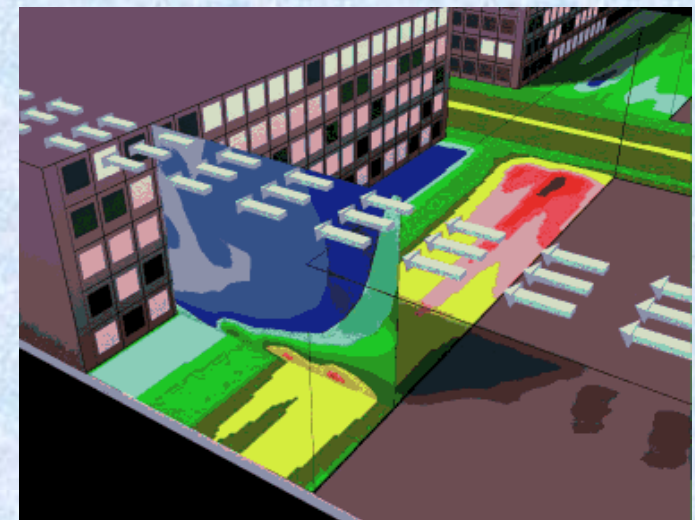
Rychlost větru 4 m/s

Hustota provozu:
720 aut/h/jízdní pruh
rychlost jízdy: 50 km/hour

Ulice s pohyblivými se
automobily

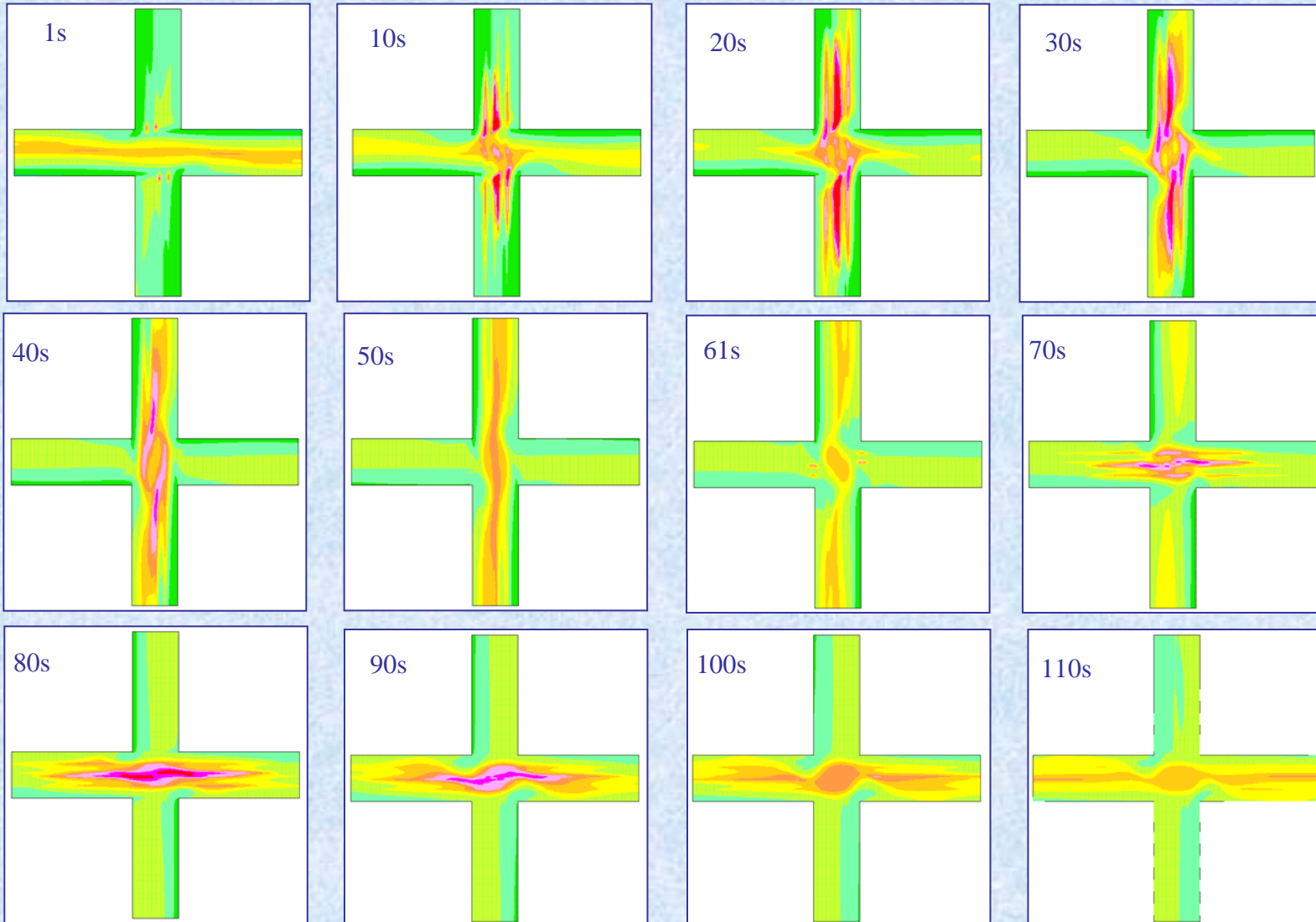
Ulice se stojícími automobily
před semaforem

- Maximální koncentrace se nachází v blízkosti závětrné stěny

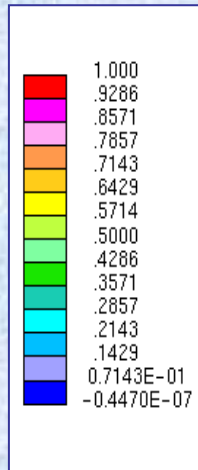


Časově závislé řešení

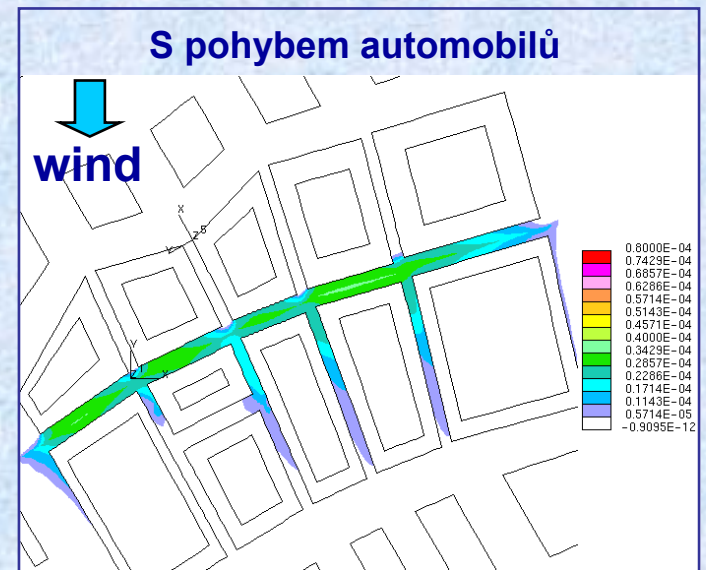
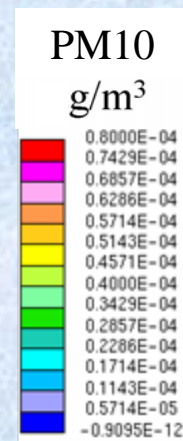
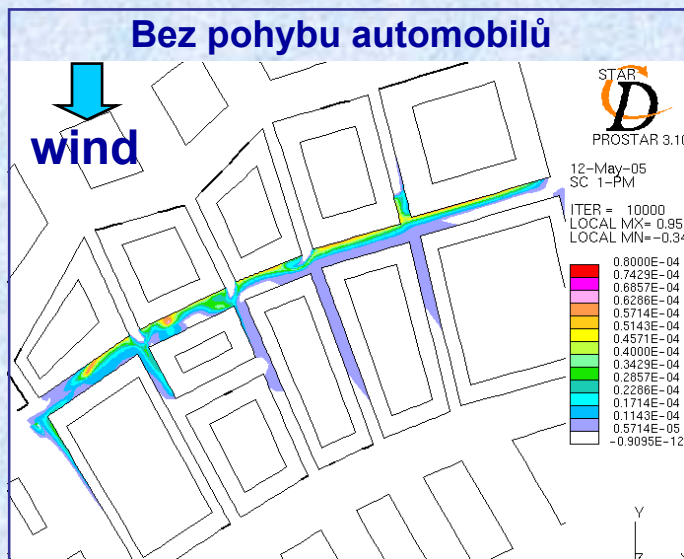
Koncentrační pole znečišťujících látek v prostoru světelné křižovatky



Concentration
 $C^* [1]$

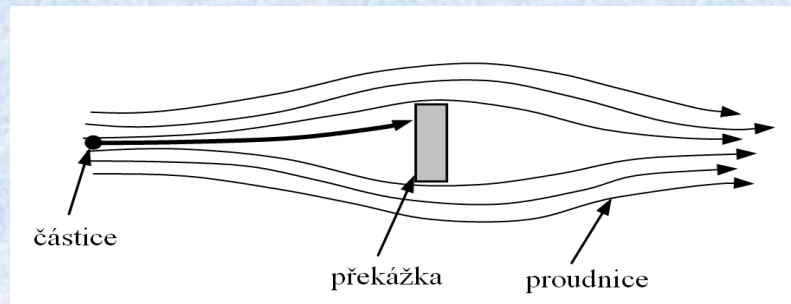
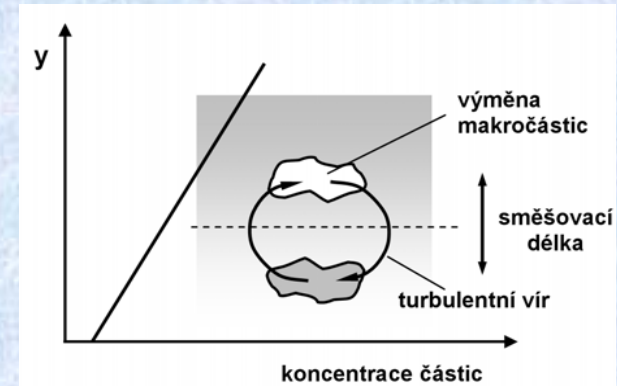


Vliv pohybujících se automobilů na koncentrační pole PM10



Transport suspendovaných částic

- **Advektivní transport**
 - unášení částic proudícím vzduchem
- **Turbulentní difúze**
 - přenos rotací turbulentních vírů
- **Brownova difúze**
 - souvisí s tepelným pohybem molekul prostředí
 - postihuje částice menší než $1\ \mu\text{m}$
- **Působení vnějších sil**
 - působení tíhové síly – pádová rychlost – významná nad $5\ \mu\text{m}$
 - elektrická síla – velký specifický povrch částic umožňuje kumulování náboje
- **Působení setrvačné síly**
 - při změnách směru proudu – obtékání překážek (vegetace)



Interakce částic s povrchy

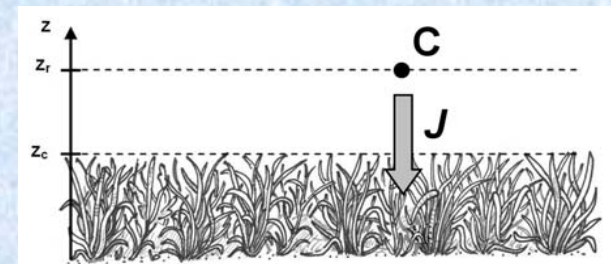
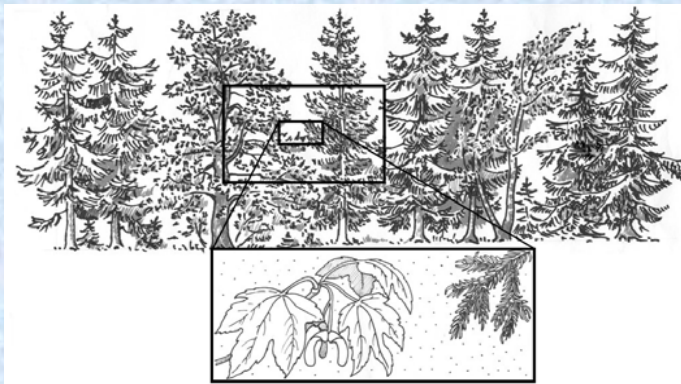
Svislé stěny

- ulpění – kapalná frakce ($<1\mu\text{m}$)
- odraz

Vodorovná plocha

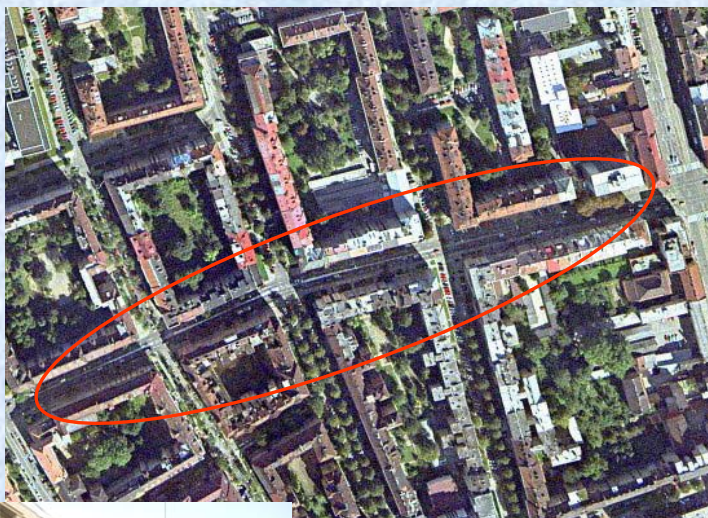
- depozice
- resuspenze

Depozice na vegetaci



Řešení lokální oblasti

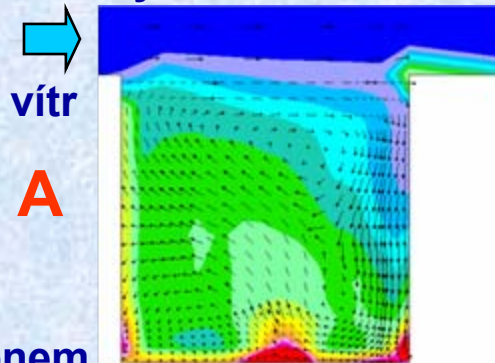
Modelový uliční kaňon



Vypočtená koncentrační pole PM10



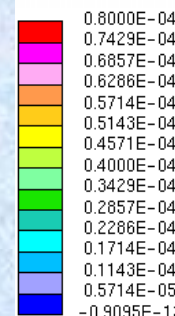
Příčný řez uličního kaňonu



Podélný řez příčným uličním kaňonem



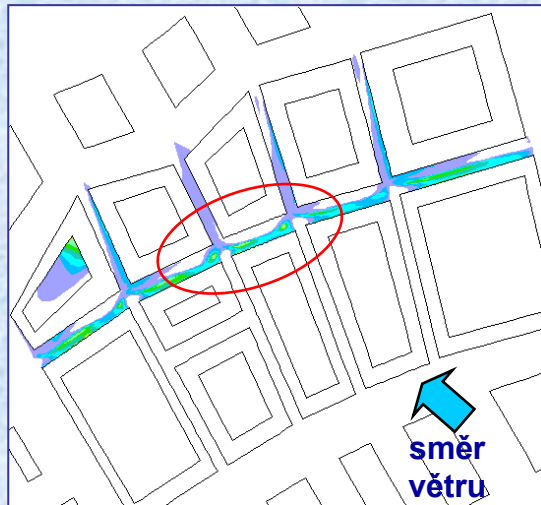
PM10
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



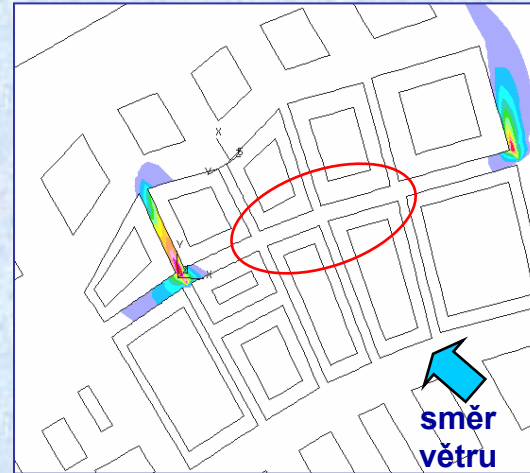
Stanovení příspěvků jednotlivých zdrojů

Celková koncentrace PM = automobily + lokální zdroje + lokální pozadí

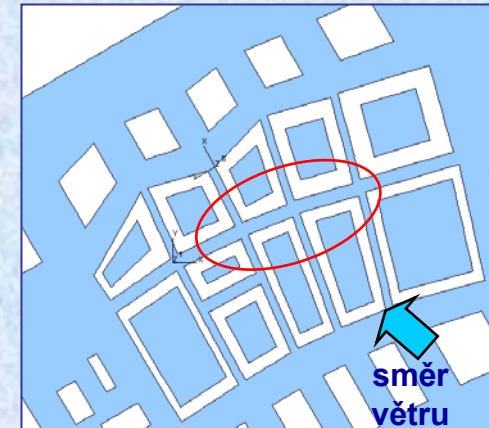
Příspěvek liniového zdroje



Příspěvek velkých křižovatek

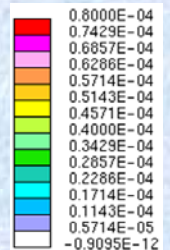


Lokální pozadí



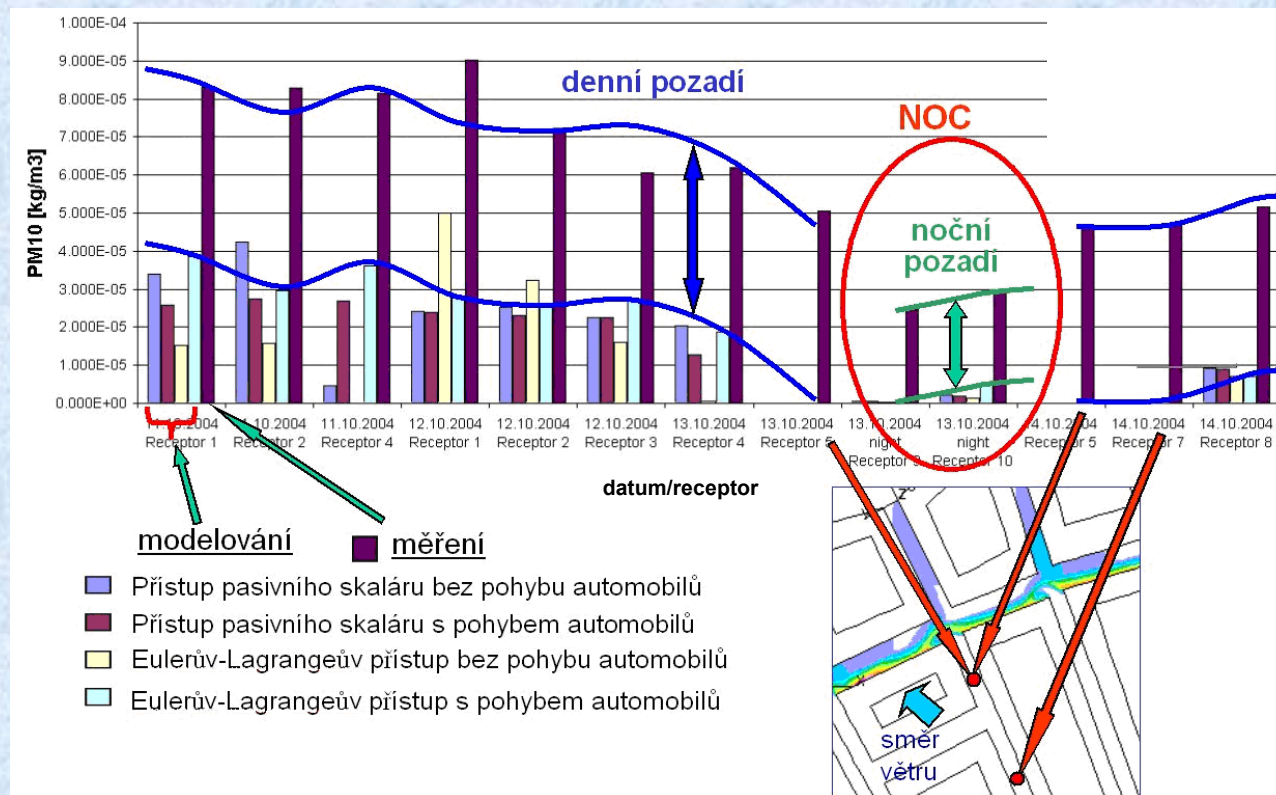
- Řezy vedeny 1,5 m nad povrchem
- Zahrnut vliv pohybujících se automobilů

PM10
[g/m³]



Inverzní modelování skutečného emisního faktoru komunikace

1. Využití naměřené koncentrace částic
2. Určení koncentrace lokálního pozadí
3. Matematické modelování použito ke stanovení emisního faktoru korespondujícího s naměřenými hodnotami



Celkový zdroj PM = Primární zdroj PM + Sekundární zdroj PM

$$0,0375 \text{ g/km} = 0,0179 \text{ g/km} + 0,0196 \text{ g/km}$$

Zvolená regionální modelová oblast

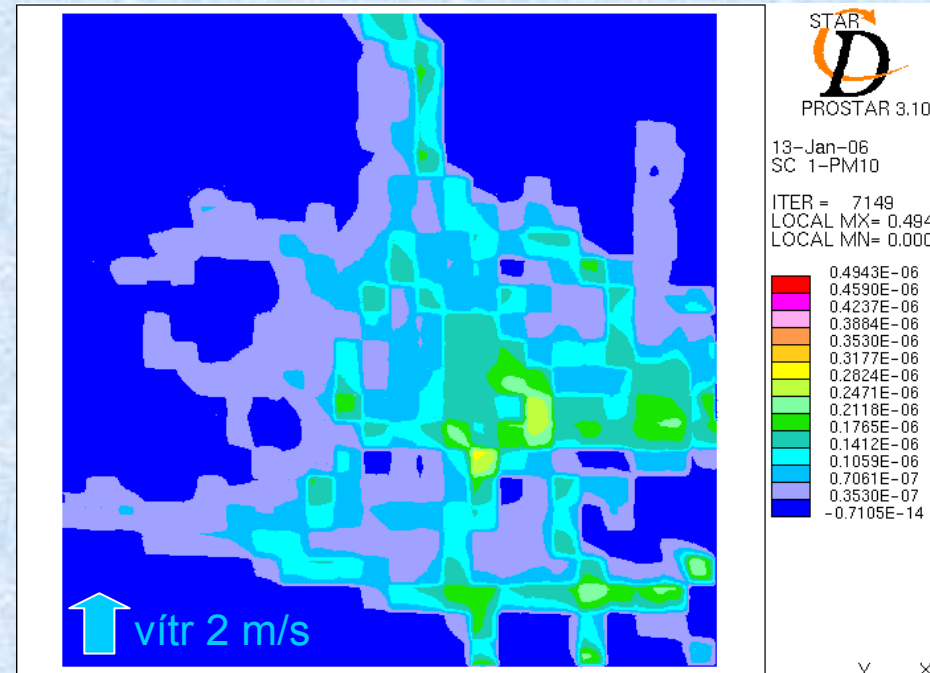
- Regionální modelová oblast zahrnuje většinu městských částí města Brna
- Rozloha 144 km² (12×12 km)



Výpočet koncentračního pole suspendovaných částic

- částice v modelu řešeny jako pasivní skalár
- rychlost větru zadána pomocí rychlostní hladiny

- získána 3D koncentrační pole PM10 v celé řešené oblasti
- výpočet proveden pro jižní směr větru, 2 m/s
- řez veden ve výšce 3 m nad terénem



Počítačové modelování představuje důležitý nástroj při studiu zdrojů prachových částic, jejich disperzi a hodnocení následků jejich působení.

Jeho předností je možnost zviditelňovat děje, které jsou běžně zrakem nepostihnutelné.

Vždy ale zůstává modelováním (napodobením) reality, a tuto skutečnost je nutné mít obezřetně na vědomí.