

POLLUTANT DIFFUSION IN THE IDEALIZED BUILD-UP AREA

H. Šeděnková*, Z. Jaňour*, B. Leidl**

Summary: *The essence of the problem consist in the way of pollutant diffusion in the urban build-up area. The measurement of the concentration field of the emission from the point (chimney) and line (street) source in the model of the idealized urban build-up area was done in the boundary layer wind tunnel. Dependence on the location of this source against model and also dependence on the geometric setting of the model (both density of buildings and location of street canyons) was found.*

1. Úvod

Šíření znečišťujících látek v městských aglomeracích je v současné době ožehavým problémem. Zdrojem znečištění může být jak automobilová doprava (v posledních deseti letech vzrostl počet registrovaných osobních automobilů v České republice o třetinu), tak průmyslová výroba a domácí vytápění.

Pro zlepšení stavu ovzduší je především nutno znát dosavadní úroveň znečištění v různých částech města (čtvrtě s různou hustotou a stylem zástavby) i v různých místech konkrétního uličního kaňonu (závětrná – návětrná strana, výška nad povrchem – komfort chodců a obyvatel v různých podlažích). Dále je dobré znát předem alespoň řádově hodnoty imisního zatížení u nově budovaných obytných staveb a komunikací. Jelikož měření přímo v terénu (in-situ) jsou velmi nákladná, dáváme přednost modelování.

2. Modelování

Existující matematické modely, které řeší přímo pohybové rovnice, jsou složité, náročné na výpočetní čas a také velmi závislé na okrajových podmínkách (konkrétní geometrické uspořádání domů ve městě). Modely založené na analytickém řešení pohybových rovnic jsou jednodušší a výpočetně méně náročné. Do vzorce (tj. analytického řešení) stačí zadat jen umístění zdroje a získáme polohu kouřové vlečky pocházející z tohoto zdroje a příslušné koncentrace pasivní příměsi. Bohužel, modely druhého typu jsou silně závislé na parametrech, které dané analytické řešení obsahuje. Dosud známe parametry, které dobře odpovídají volné rovinné krajině, ale pro městskou zástavbu uspokojivé parametry neznáme.

Odlišný postup nabízí metoda fyzikálního modelování. Tato metoda spočívá v analogii mezi prouděním v reálné atmosféře nad určitým terénem a prouděním ve vhodném

* Mgr. Hana Šeděnková, doc. RNDr. Zbyněk Jaňour, DrSc.: Ústav termomechaniky AV ČR, Dolejškova 5, Praha 8, 182 00, email: hased@seznam.cz

** Dr. Bernd Leidl, Universität Hamburg, Meteorologisches Institut, Hamburg

aerodynamickém tunelu nad zmenšeným modelem zkoumané oblasti. Při experimentu musíme dodržet tzv. podmínky dynamické podobnosti:

1. Geometrická podobnost modelu se skutečností (= stejné okrajové podmínky)
2. Geometrická podobnost polí proudnic na modelu a ve skutečnosti

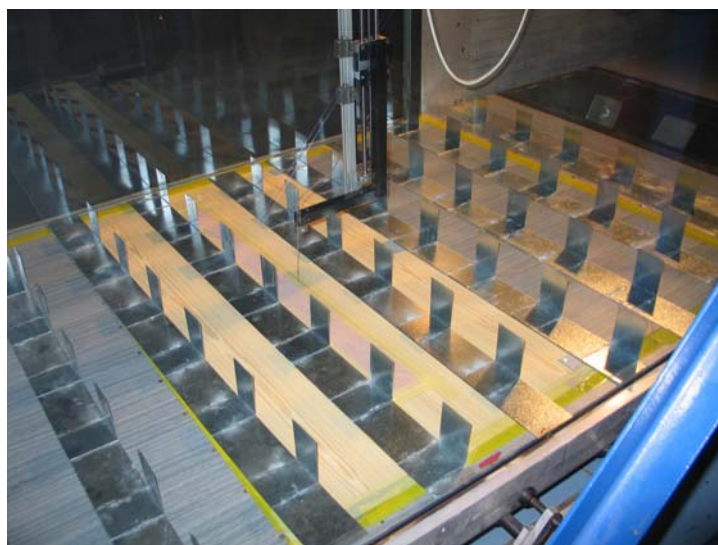
Výsledky získané měřením lze dosadit do rovnic v bezrozměrném tvaru, které popisují mezní vrstvu atmosféry. V bezrozměrných rovnicích se vyskytují koeficienty nazývané podobnostní čísla – jsou to poměry navzájem působících sil. Tyto poměry musí zůstat stejné pro oba případy – model i reálnou situaci, abychom dosáhli dynamické podobnosti obou proudění. Bohužel, při geometrickém zmenšení simulovaného problému to není vždy možné. Proto se používají různé aproximace. V našem případě pro přenos znečišťující příměsi hraje významnou roli turbulence. Podobnostní číslo charakterizující tento jev se nazývá Reynoldsovo a je definováno jako poměr setrvačné a vazké síly:

$$\text{Re} = \frac{L_c U_c}{\nu},$$

kde L_c je charakteristický rozměr, U_c charakteristická rychlost a ν kinematická viskozita vzduchu. Aplikujeme-li tzv. Towsendovu hypotézu - *bezrozměrné střední hodnoty turbulentních charakteristik nezávisí na Reynoldsově číslu, je-li toto dostatečně velké* - můžeme pro dostatečně velká Reynoldsova čísla hodnoty naměřené v tunelu použít po přepočtu na správné měřítko i v reálu.

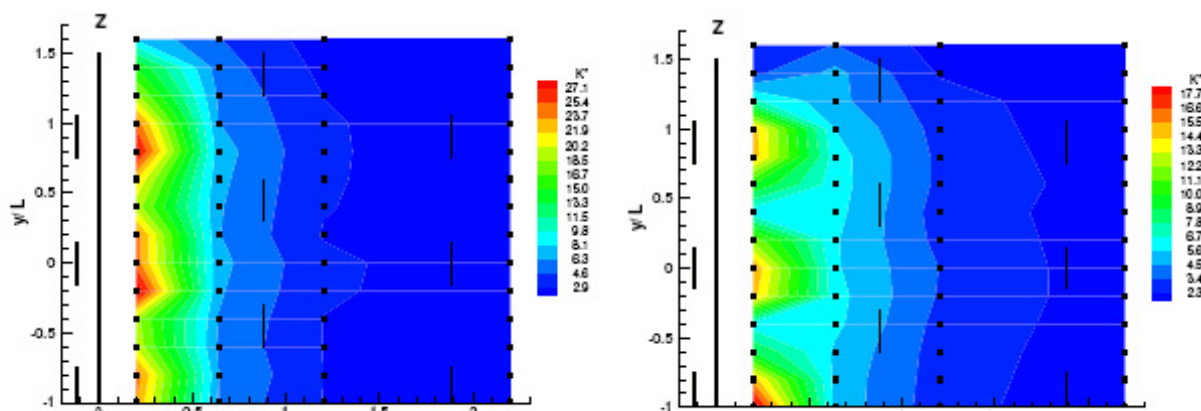
3. Experiment

Na zjednodušeném modelu městské zástavby jsme proměřili kouřovou vlečku od bodového zdroje (simulující např. komín) a od liniového zdroje znečištění (simulující silnici s automobilovou dopravou). Experiment probíhal zčásti v nízkorychlostním aerodynamickém tunelu Ústavu termomechaniky v Novém Kníně a zčásti v nízkorychlostním aerodynamickém tunelu Blasius University Hamburk v Německu. Vzorkovacím plynem (plyn simulující znečištění) byl etan, jehož koncentrace ve vzduchu byly zjišťovány pomocí plamenového ionizačního detektoru.



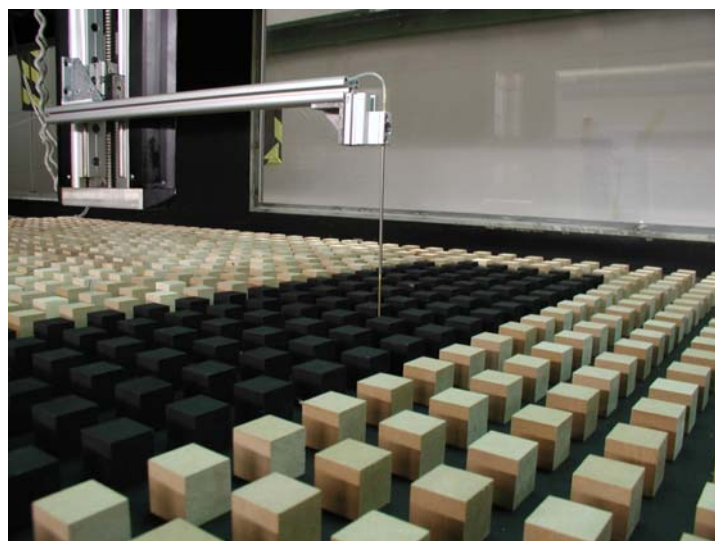
Obr.1 Pohled do tunelu při simulaci liniového zdroje v městské zástavbě

V případě liniového zdroje byla zástavba simulována destičkami umístěnými napříč tunelem, viz obr.1. Zdroj sestával z několika tisíc velmi tenkých jehel uspořádaných vedle sebe. Nezávislost měření na stavebním Reynoldsově čísle byla ověřena v intervalu hodnot $Re_B=(7800;17500)$. Na obr.2 jsou zobrazeny horizontální řezy naměřených hodnot ve výškách $z/H = 0,1$ a $0,3$, kde H je výška drsných elementů – destiček simulujících zástavbu. K^* je bezrozměrná koncentrace, černé tečky jsou měřicí body a černé čárky označují polohu drsných elementů. Měření probíhalo při $Re_B = 15000$.



Obr.2 Půdorys pole koncentrací při simulaci liniového zdroje ve výškách $z/H = 0,1$ a $0,3$

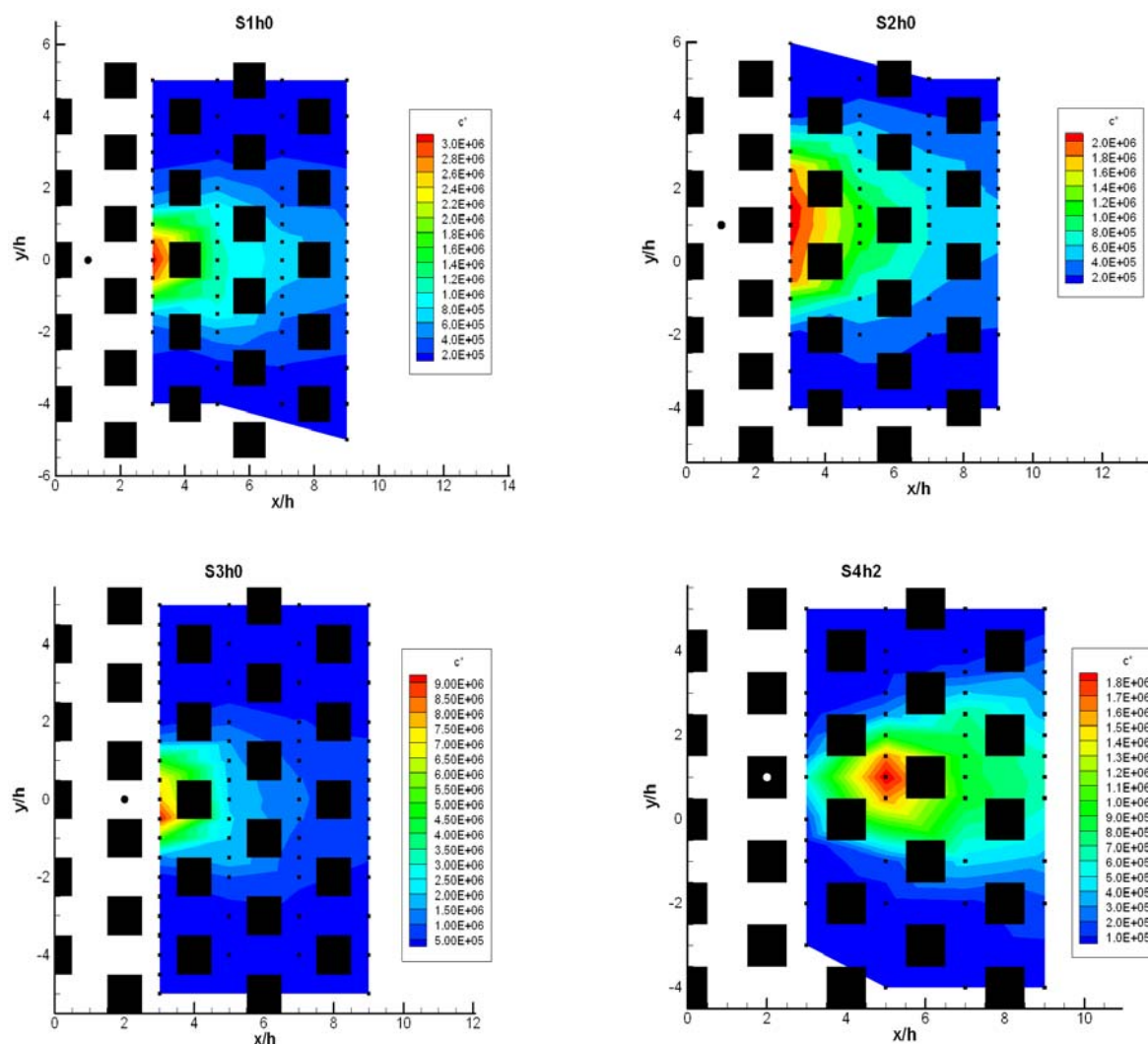
Pro simulaci bodového zdroje byla zvolena konfigurace krychliček, viz obr. 3. Bodovým zdrojem byla trubička s destičkou upevněnou u výduchu, která měla zabránit případným ovlivněním nabíhajícího proudění proudů etanu ze zdroje.



Obr.3 Simulace emisí z bodového zdroje v městské zástavbě

Byla ověřena nezávislost měření na Reynoldsově čísle i nezávislost bezrozměrných koncentrací na vydatnosti zdroje. Obr.4 znázorňuje horizontální řezy polem koncentrací ve výšce $h/2$, kde h je délka hrany krychliček; směr proudění je zleva doprava. Označení $h0$

znamená, že výduch bodového zdroje byl v úrovni podložky, označení h2, že zdroj byl ve výši střechy. Polohu zdroje určuje černé, resp. bílé kolečko.



Obr.4 Horizontální řezy polem koncentrací od bodového zdroje v různých polohách vůči okolním stavbám

4. Závěr

Bylo proměřeno pole koncentrací od liniového zdroje v idealizované městské zástavbě. Drsné elementy velmi ovlivňují tvar koncentračního pole, především těsně za zdrojem. Ve větších výškách je nehomogenita pole patrná i dále od zdroje, ale již po několika dalších řadách budov se koncentrace napříč tunelem díky turbulenci homogenizují. Se vzrůstající vzdáleností od zdroje se kouřová vlečka zvedá.

V případě bodového zdroje byla nalezena velká závislost tvaru pole koncentrací na poloze zdroje vůči stavbám (poloha zdroje v uličním kaňonu, na střeše budovy). Je velmi dobře patrné, že čím blíže budově po směru proudění je zdroj umístěn, tím je pole koncentrací rozmytější napříč tunelem. Úplně jiný tvar lze pozorovat při poloze zdroje na střeše budovy.

5. Poděkování

Tato práce vznikla za podpory GA ČR (205/04/0311), MPO – FORMADE a výzkumného záměru AVOZ20760514.

6. Literatura

Bednář J., Zikmunda O. (1985): Fyzika mezní vrstvy atmosféry, Academia, Praha

Jaňour Z. (2001): Modelování mezní vrstvy atmosféry, Karolinum, Praha

Stull R. B. (1988): An Introduction to Boundary Layer Meteorology, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht

Šeděnková H. (2004): Odhad rozložení přízemních koncentrací od liniového zdroje v městské zástavbě a volné krajině, diplomová práce, MFF UK, Praha