

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ**

ÚSTAV ŘÍDICÍ TECHNIKY A TELEMATIKY



**METODIKA VÝVOJE VLASTNÍHO
ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELU**

**Výzkumná zpráva projektu
SGS10/219/OHK3/2T/16**

**Zpráva číslo
LSS 397/11**

Vypracoval:
Ing. Přemysl Derbek

Praha, leden 2011

METODIKA VÝVOJE VLASTNÍHO ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELU

Přemysl Derbek
(E-mail: derbek@lss.fd.cvut.cz)

Školitel: Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.

Ústav řídicí techniky a telematiky
Fakulta dopravní
České vysoké učení technické v Praze
Konviktská 20
110 00 Praha 1

Projekt vznikl za podpory grantu:
SGS 2010 ČVUT (SGS10/219/OHK3/2T/16)

Projekt vzniká rovněž jako významná podpora disertační práce Ing. Přemysla Derbeka s názvem „Modelování stavu emisního zatížení způsobeného silničními vozidly v okolí silniční a dálniční sítě osazené mýtnými branami“.

Leden 2011

Abstrakt:

Projekt SGS 2010 ČVUT (SGS10/219/OHK3/2T/16) je zaměřen na vývoj nového nástroje – environmentálního modelu, jenž z širokých vstupních informací má být schopen určovat emisní zatížení ze silničních vozidel (mobilních zdrojů) a jeho šíření v blízkém prostoru podél silniční a dálniční sítě osazené mýtnými branami. Úkolem projektu je vytvořit zcela novou, komplexní a plně funkční vlastní aplikaci, jež v sobě plně rozvine a využije všechny důležité parametry vzniku a disperze emisí z dopravy a to i s ohledem na meteorologické vlivy v měřítku meso (v řádech km.).

Jako hlavní vstup pro výpočty modelu vlastního emisního zatížení ze silničních mobilních zdrojů jsou uvažována data, která jsou zaznamenávána na branách dálničního mýtného systému ČR (využití záznamů např. pro výpočet intenzit dopravy), jež shromažďuje tzv. Telematická aplikace (spravuje FD ČVUT pod vedením doc. Ing. Václava Jirovského, CSc.). Druhým vstupním kanálem pro modelování a interakci emisního zatížení s okolními vlivy mají být použita meteorologická data dostupná např. u ČHMU.

Projekt si klade za cíl definování důležitých vstupních parametrů modelu z hlediska samotné dopravy, parametrů konstrukce silniční a dálniční sítě a působení vlivů vnějšího prostředí. Dále je cílem popis, matematické definování modelu, jeho testování a konečný zápis programového skriptu pomocí matematických nástrojů (Matlab, R) s následnou tvorbou počítačové aplikace pro čtení a zpracovávání vstupních informací, komunikace s modelem a interpretaci výsledků, výstupů (Visual Basic, PHP). Výstupy mají být tvořeny, mimo číselných hodnot, i názornými časoprostorovými grafickými emisními mapami.

Klíčová slova:

Model, emisní zátěž, doprava, silniční mobilní zdroje, mýtné brány, meteorologie, disperze

Obsah:

1	Cíl studie	4
2	Význam problematiky environmentálních modelů emisního zatížení	4
3	Současný stav disponibilních modelů emisního zatížení z vozidel	5
3.1	Situace emisního modelování z vozidel v ČR.....	5
3.2	Situace modelování emisí z vozidel v zahraničí	6
3.2.1	VISSIM [1].....	8
3.2.2	Quadstone Paramics	9
4	Možnosti dalšího rozvoje environmentálních modelů emisního zatížení od silničních vozidel	10
5	Relevantní literatura a zdroje	11
6	Metodika tvorby komplexního modelu	16
6.1	Odhad intenzity (těžké kamionové dopravy) [2].....	18
6.1.1	Analýza dat intenzit.....	19
6.2	Modelování počasí (WRF) [4]	21
6.3	Disperzní model [5].....	23
6.4	Dílčí úkoly.....	25
6.5	Přehled možných reálných vstupních dat.....	26
6.5.1	Telematická aplikace ČVUT, FD	26
6.6	Výstupy	27
6.7	Nástroje a podklady pro úspěšné řešení projektu	28
7	Vlastní vývoj modelu emisní zátěže	29
7.1	Emisní model	29
8	Předpokládaný harmonogram práce a cíle projektu	31
9	Přehled vlastních publikací k danému tématu	31
10	Zdroje použité ve studii	32

1 Cíl studie

Cílem této studie je provést rozvalu o možnostech vytvoření environmentálního modelu umožňujícího mapování emisního zatížení pocházejícího od mobilních zdrojů (silničních vozidel) podél pozemních komunikací osazenými mýtnými branami a představit dílčí dosažené cíle. Předpokladem je, že pro tvorbu modelu jsou jako dominantní použita data získaná senzory na mýtných branách, nicméně se uvažuje o možnosti jejich doplnění z dalších sekundárních datových zdrojů.

2 Význam problematiky environmentálních modelů emisního zatížení

Rostoucí význam v oblasti plánování snižování emisí nejen na úrovni národní, ale i oblastní zdůrazňuje reálnou potřebu návrhů vyváženého prostředí, které je dlouhodobě udržitelné jak pro nezbytný silniční provoz, tak i pro samotné chodce a hlavně pro dobré životní podmínky obyvatel zatížených oblastí. Takové prostředí, jež je bezpečné a zároveň příjemné chodcům, citlivé a šetrné k životnímu prostředí.

Chceme-li se vypořádat se znečišťováním životního prostředí, je potřeba porozumět stávajícím procesům znečištění, umět rozpoznat konkrétní zdroje znečištění, být schopni zaznamenat a měřit jednotlivé faktory znečištění apod.

Studie umožňuje rozšíření strategie hodnocení dopravy nejen z hlediska operační efektivity, ale také z hlediska ochrany životního prostředí. Projekt má tak význam pro následující oblasti dopravního a environmentálního inženýrství.

- Dopad na novou infrastrukturu.
- Plánování „pracovních“ oblastí (tzv. workzones).
- Schémata zmírnění dopravního/emisního přetížení.
- Nastavování hranic produkce uhlíkových emisí.

- Srovnávání situací před a po analýze.
- Analýzy následujících let.

Projekt také řeší aktuální přínos ve využití a vícenásobném zhodnocení telematických systémů a mýtných bran ČR druhotným použitím jejich dat právě pro emisní modelování.

Ve výsledném řešení zkoumané problematiky by měl model stavu emisního zatížení mobilních zdrojů v závislosti na parametrech počasí posloužit jako veřejně přístupná webová aplikace vykreslující aktuální a historické mapové přehledy tvorby emisního zatížení z mobilních zdrojů v okolí sledovaných komunikací v rámci ČR obsahující systém mýtných bran.

3 Současný stav disponibilních modelů emisního zatížení z vozidel

Všechny uvedené publikace v následující části jsou podrobněji identifikovány v kapitole „Relevantní literatura a zdroje“.

3.1 Situace emisního modelování z vozidel v ČR

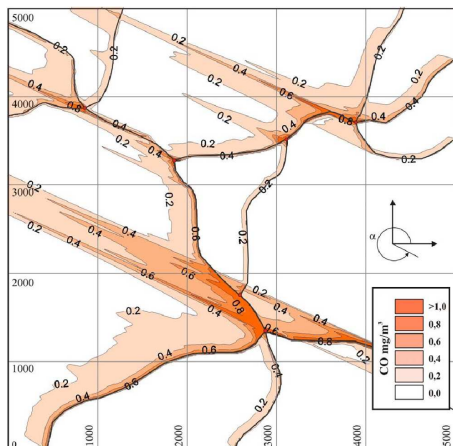
Podobný, nebo alespoň vzdáleně podobný výzkum odhadů emisního zatížení mobilních zdrojů využívající myšlenky druhotného zhodnocení záznamů dat dálničního mýtného systému není zatím v ČR znám.

Mgr. Pavel Juruš, Ph.D. se ve své disertační práci „*Modelování atmosféry v regionálním měřítku s aplikacemi v dopravě*“ zabývá mimo jiné návrhem a implementací deterministického systému pro komplexní simulace úniků nebezpečných látek za předpokladu využití realistického a aktuálního popisu atmosféry. Jeho poznatky v oblasti numerických modelů atmosféry, modelování počasí a transportních modelů vůbec mohou velkou měrou přispět k úspěšnému řešení implementace vlivů počasí a šíření znečišťujících látek do uvažovaného environmentálního modelu emisního zatížení.

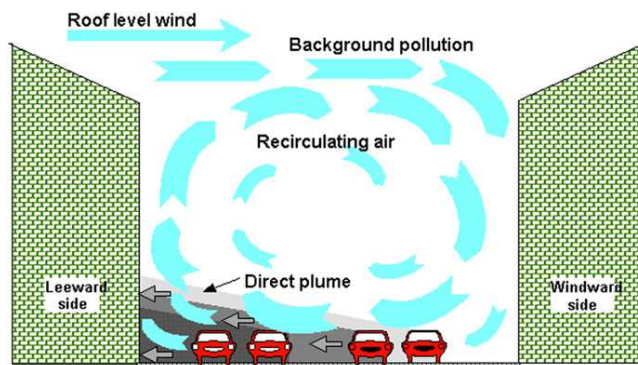
3.2 Situace modelování emisí z vozidel v zahraničí

Na webových stránkách státního projektu USA MOBILE6 Vehicle Emission Modeling Software (<http://www.epa.gov/oms/m6.htm>) nalezneme kompletní podporu k vyvíjenému environmentálnímu modelu MOBILE 6. Model samotný je zde ke stažení ve formě několika souborů, knihoven a tvoří uzavřený systém, ne příliš „user friendly“. Množství technické dokumentace obsahuje popisy a způsoby práce s nástrojem a analýzu dat, ale nikterak nenechává uživatele nahlédnout do vlastního vědeckého řešení. Navíc je model parametricky uzpůsoben pro podmínky dané země, protože je pro potřeby ČR, tak jak je na webu k dispozici, nepoužitelný. Webový zdroj ale obsahuje i odkazy na nejrůznější prameny popisující dílčí procesy a zákonitosti spjaté s tvorbou, přetvářením a šířením znečišťujících látek. Tyto informace by mohly účelně přispět ve vývoji mého modelu.

Nejvíce k tématu se asi přiblížíme v publikaci „*The Integrated Computer System for Modelling of Air Pollution Based on the Digital Data*“ polských autorů Drąga Ł. a Wojciecha S. [5]. Nalezneme zde hrubý popis integrovaného počítačového systému pro modelování emisní zátěže z automobilů a jejich šíření. Řeší předem ručně předpřipravené, menší, úseky pozemních komunikací, nikoli ale kompletní dálniční síť. Autoři však částečně popisují řešení vlastního modelu dopravního proudu založeném na Kraussových modelech bezpečné vzdálenosti. Myšlenka metody by mohla přispět ke zpřesnění zpracování syrových vstupních dat z mýtných bran. Zajímavý je zde také popis disperzního modelu, ukazující možnosti výpočtů koncentrací znečištění a jejich jednoduchého šíření (obrázek 1). Celkový model autorů využívá několik vlastních a několik implementovaných komerčních modulů zpracování dat (např. z databází INFRAS a COPERT) a pracuje výhradně s historickými daty GIS. Celkově tak toto řešení není schopné rychle, jednoduše a aktuálně vyhodnocovat situaci znečištění a komplet tak není vhodný pro širší použití.



Obrázek 1: Průměrná hodinová koncentrace CO [mg/m^3] pro dominantní směr větru $\alpha=315^\circ$ [5]



Obrázek 2: Schematická ilustrace disperzních podmínek v „kaňonu ulice“ [6]

Speciální, velmi rozšířenou, kategorii tvoří tzv. „Street Pollution Models“, tedy environmentální modely vyvíjené pro podmínky města a to jak měřítkem, tak vlastnostmi chování a šíření polutantů z dopravy mezi výškovými budovami, v tzv. kaňonech ulic („street canyons“, obrázek 2). Pro podmínky dálniční sítě, přilehlého okolí a meso měřítka jsou tyto modely nevhodné. O problematice znečištění z mobilních zdrojů ve městech publikuje např.: Berkowicz R. ve studii "Traffic pollution modelling and emission data" a současně v "A Simple Model for Urban Background Pollution", autoři Karim M. a Matsui H. ve studii "A stochastic model of emission expansion for an urban road", nebo autoři Venegas L.E. a Mazzeo N.A. ve své práci "Modelling of urban background pollution in Buenos Aires City (Argentina)" a mnoho dalších.

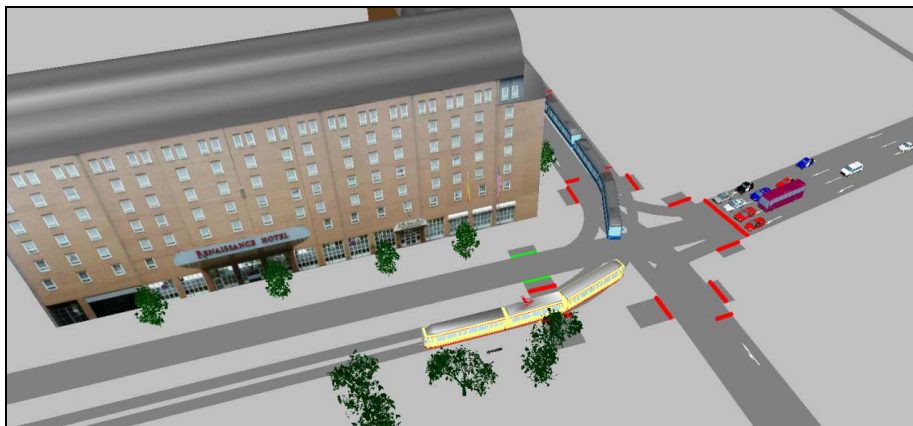
Dále existují modely, jenž řeší více či méně výše popsaná zaměření na zpracování emisního zatížení z automobilů, avšak tyto modely jsou komerčními produkty, jenž jsou opět zcela uzavřené a slouží spíše jako uživatelský software pro jednorázové analýzy. Příkladem může být VERSIT+ nebo WinOSPM. O těchto modelech píší např. Smita R. a kol. v práci "A new modelling approach for road traffic emissions: VERSIT+" nebo Vignati E. a kol. v "Generation of Input Parameters for OSPM Calculations" nebo Berkowicz R. a kol. v práci "Evaluation and application of OSPM for traffic pollution assessment for a large number of street locations".

Velká část literatury obsahuje obvykle poutavý název k tématu, ale konkrétně popisuje většinou výsledky a analýzy praktických aplikací. Obecně také platí, že jakýkoli environmentální model je vytvářen pro podmínky, parametry a nejrůznější variace a dostupnost vstupních dat lokality svého vzniku (maximálně v rámci státu, země) a jeho přenositelnost a použitelnost je minimální. Tento fakt tak velmi opodstatňuje přínos práce na tomto projektu.

K obecnému modelování emisního zatížení z automobilové dopravy, mimo jiné, lze využít také různé komerční „user friendly” softwarové nástroje. Jedná se však o modelování čistě teoretické, na rozdíl od cíle popisovaného projektu, tedy využití reálných dat. I tak je ale možné tyto nástroje využít pro porovnávání či kalibraci vlastních metod (adresně popisovaného environmentálního modelu). Profesionálně nejpoužívanější mikrosimulační nástroje jsou VISSIM a Quadstone Paramics.

3.2.1 VISSIM [1]

VISSIM je mikroskopický simulační nástroj určený pro modelování multimodálních dopravních proudů, zahrnující osobní a nákladní dopravu, autobusy, tramvaje, železnici, cyklisty a chodce.



Obrázek 3: Ukázka modelování dopravy v prostředí VISSIM [1]

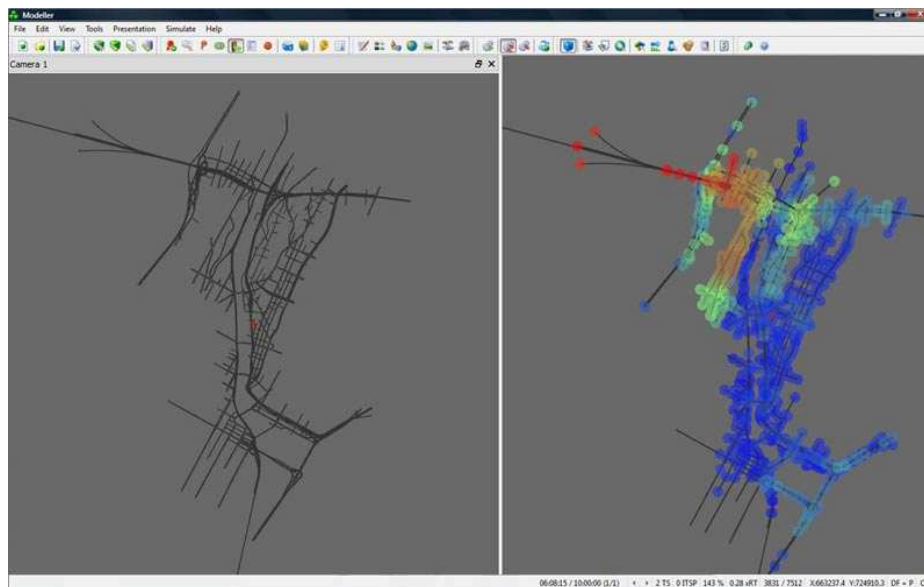
Nejčastější využití simulačního nástroje VISSIM je pro návrh řízení dopravy na pozemních komunikacích, analýzu ITS a simulace přínosů telematiky v řízení provozu na pozemních komunikacích, dynamické posuzování křižovatek a simulace emisního zatížení modelovaného

dopravního proudu. Také umožňuje modelovat parametry dopravní sítě, jako jsou: sklony vozovky, dálniční mimoúrovňové křížení, přípojné a průletové úseky, signalizované a nesignalizované křižovatky, okružní křižovatky, vyhrazené jízdní pruhy, apod.

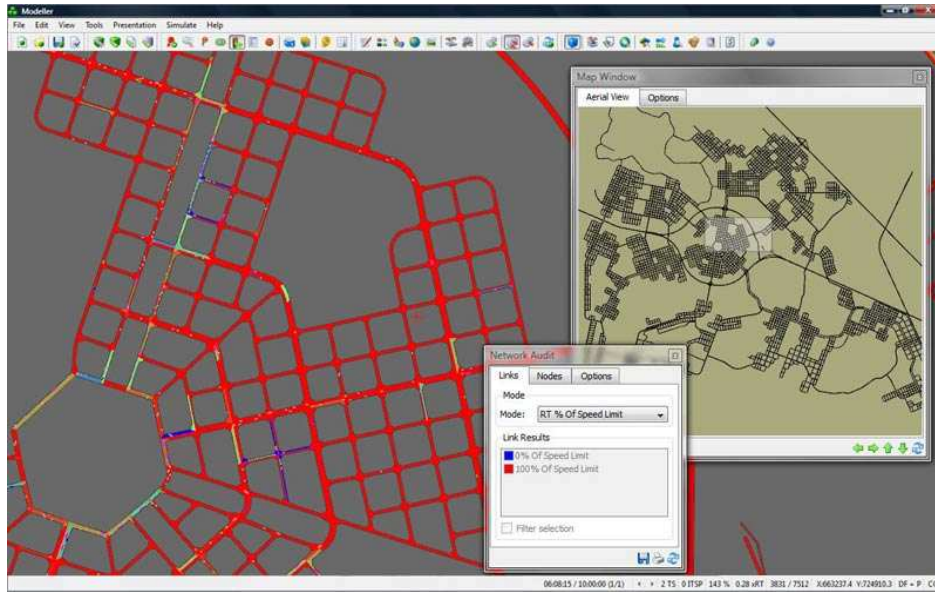
3.2.2 Quadstone Paramics

Softwarový nástroj Q-Paramics nabízí obdobné možnosti, jako VISSIM. Paramics může být použit k přesnému modelování emisí přímo z výfuku v rámci různých vozidlových tříd. Data cyklu motoru mohou být použita pro správnou reprodukci různých poměrů znečišťujících látek podle zatížení a stylu jízdy. Modul pro modelování emisí se v Q-Paramicsu nazývá Monitor.

Tato jednoduchá aplikace nevyžaduje sice speciální odborné znalosti pro své používání, ale naproti tomu podporuje v současné době pouze data institucí UK Highways Agency, California Centre for Environmental Research and Technology CMEM model a TNO's comprehensive VERSIT+ database. Z toho plyne, pro použití a modelování v rámci ČR, nutnost vlastního definování dopravních poměrů, skladby vozového parku spolu s přiřazením emisních tříd.



Obrázek 4: Mapování výškových poměrů modelované sítě pozemních komunikací [7]



Obrázek 5: Analýza rychlosti celkové dopravy na modelové síti [7]

4 Možnosti dalšího rozvoje environmentálních modelů emisního zatížení od silničních vozidel

Rozvoj environmentálních modelů je velmi závislý na mnoha faktorech. Jsou jimi vhodný výběr, dostupnost, přesnost, úroveň rozlišení, spolehlivost a udržitelnost vstupních datových toků jakož i implementace a schopnost, co nejlépe se přiblížit popisem a modelovými definicemi reálných vlivů okolního prostředí (např. počasí) k realitě. Porovnávání s odlišnými metodami, například praktickým měřením, může taktéž velmi napovědět při samotné konstrukci vlastního modelu či jeho konečném zpřesňování. Je také nutno mít na paměti, že každá země představuje jinou situaci, odlišné podmínky, rozdílné normy pro dopravu, popisování emisních charakteristik apod. Vývoj vhodně uceleného environmentálního modelu má smysl pro jeho přenositelnost. Myšleno je vhodně volené vnitřní pouzdření zmíněných vstupních dat a řídicích parametrů globálního modelu v pozici k jeho lokálním částem.

5 Relevantní literatura a zdroje

Knihy:

- Schwela D., Zali O., *Urban traffic pollution*, E & FN Spon, London 1999
- Joumard R., Gudmundsson H., *INDICATORS OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY IN TRANSPORT*, An interdisciplinary approach to methods, Recherches, Les collections de l'INRETRS, COST, Bron, May 2010
- Borrego C., Norman A.L., *Air pollution modeling and its application XVII*, Springer Science + Business Media, LLC, NY 2007
- Peltrám A., Mravčíková M., Havel P., Karásek V., Ort P., Hantáková A., Šmejkalová V., Drahotský I., Svátek Š., *Doprava a životní prostředí*, Institut pro evropskou integraci - Bankovní institut vysoká škola, DTP Nadatur, Praha 2009

Odborné články – modelování emisního zatížení z dopravy:

- Hatzopoulou M., Miller E.J., *Linking an activity-based travel demand model with traffic emission and dispersion models: Transport's contribution to air pollution in Toronto*, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 15, Issue 6, Pages 315-325, August 2010
- Karim M., Matsui H., *A STOCHASTIC MODEL OF EMISSION EXPANSION FOR AN URBAN ROAD*, Vehicle Navigation and Information Systems Conference, Proceedings 1994, Japan, Yokohama 1994
- Drag Ł., Wojciech S., *The Integrated Computer System for Modelling of Air Pollution Based on the Digital Data*, IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 21-23, Italy, Rende (Cosenza), September 2009

- Johnson L., Ferreira L., *Modelling particle emissions from traffic flows at a freeway in Brisbane, Australia*, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 6, Issue 5, Pages 357-369, September 2001
- He H., Lu W.Z., Xue Y., *Prediction of PM10 concentrations at urban traffic intersections using semi-empirical box modelling with instantaneous velocity and acceleration*, Atmospheric Environment, Volume 43, Issue 40, Pages 6336-6342, December 2009
- Persson K., Omstedt G., Lenner M., Sjödin A., Svanberg P.A., *Estimation of trends in urban traffic NOx emissions by an empirical model*, The Science of The Total Environment, Volume 235, Issues 1-3, Pages 367-369, 1 September 1999
- Batterman S.A., Zhang K., Kononowech R., *Prediction and analysis of near-road concentrations using a reduced-form emission/dispersion model*, Department of Environmental Health Sciences, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109, USA, 25 June 2010
- Smita R., Smokersa R., Rabé E., *A new modelling approach for road traffic emissions: VERSIT+*, Transportation Research Part D: Transport and Environment Volume 12, Issue 6, Pages 414-422, August 2007
- Vaitiekunas P., Banaityte R., *MODELING OF MOTOR TRANSPORT EXHAUST POLLUTANT DISPERSION*, Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, Vol XV, No 1, 39–46, 2007
- Sokhi R.S. et al., *An integrated multi-model approach for air quality assessment: Development and evaluation of the OSCAR Air Quality Assessment System*, (New Approaches to Urban Air Quality Modelling - Special Issue of the 5th International Conference on Urban Air Quality, 29-31 March 2005, Valencia, Spain) Environmental Modelling & Software, Volume 23, Issue 3, Pages 268-281, March 2008
- Smit R., Brown A.L., Chan Y.C., *Do air pollution emissions and fuel consumption models for roadways include the effects of congestion in the roadway traffic flow?*, Environmental Modelling & Software, Volume 23, Issues 10-11, Pages 1262-1270, October-November 2008

- Xia L., Shao Y., *Modelling of traffic next term flow and air previous term pollution emission next term with application to Hong Kong Island*, Environmental Modelling & Software, Volume 20, Issue 9, Pages 1175-1188, September 2005
- Berkowicz R., Ketzel M., Jensen S.S., Hvidberg M., Raaschou-Nielsen b o., *Evaluation and application of OSPM for traffic pollution assessment for a large number of street locations*, New Approaches to Urban Air Quality Modelling - Special Issue of the 5th International Conference on Urban Air Quality, 29-31, Spain, Valencia, March 2005
- Berkowicz R., *A Simple Model for Urban Background Pollution*. Environmental Monitoring and Assessment 65 (1/2), 259-267, 2000
- Berkowicz R., Winther M., Ketzel M., *Traffic pollution modelling and emission data*, Environmental Modelling and Software 21, 454-460, 2006
- Jakeman A.J., Letcher R.A., Norton J.P., *Ten iterative steps in development and evaluation of environmental models*. Environmental Modelling and Software 21, 602-614, 2006
- Venegas L.E., Mazzeo N.A., *Modelling of urban background pollution in Buenos Aires City (Argentina)*. Environmental Modelling and Software, Volume 21, 577-586, 2006
- Vignati E., Hertel O., Berkowicz R., Raaschou-Nielsen O., *Generation of Input Parameters for OSPM Calculations*. Sensitivity analysis of a method based on a questionnaire. NERI Technical Report No. 188, 52 pp., 1997
- Smita R., Ntziachristos b L., Boulter c P., *Validation of road vehicle and traffic emission models – A review and meta-analysis*, Atmospheric Environment, Volume 44, Issue 25, Pages 2943-2953, August 2010

Odborné články – vztah k modelům počasí:

- Arciszewska Ch., McClatchey J., *The importance of meteorological data for modelling air pollution using ADMS-Urban*, University College Northampton, Park Campus, Northampton, NN2 7AL, Meteorol. Appl. 8, 345–350, 2001

- Kondo H., Tomizuka T., *A numerical experiment of roadside diffusion under traffic-produced flow and turbulence*, Atmospheric Environment, Volume 43, Issue 27, Pages 4137-4147, September 2009
- Jamriska M., Morawska L., *The effect of temperature and humidity on size segregated traffic exhaust particle emissions*, Atmospheric Environment, Volume 42, Issue 10, Pages 2369-2382, March 2008
- S. Masoud Sadjadi et al., *Weather Research and Forecasting Model 2.2, A Step-by-step guide of a Model Run*, Technical Report FIU-SCIS-2007-09-02, Miami, August 2007
- D. Davidovic, K. Skala, *Implementation of the WRF-ARW prognostic model on the Grid*, Centre for Informatics and Computing, Ruder Boškovic Institute, MIPRO 2010, May 24-28, Opatija, Croatia, 2010
- Michalakes J. et al., *WRF nature run*, *Conference on High Performance Networking and Computing*, Proceedings of the 2007 ACM/IEEE conference on Supercomputing, ACM, New York 2007
- Baldauf R., Thoma E. et al., *Traffic and meteorological impacts on near-road air quality: summary of methods and trends from the Raleigh Near-Road Study*, Journal of the Air & Waste Management Association (1995); Vol. 58 Issue 7, p865-878, 14p, 1 Color Photograph, 1 Chart, 8 Graphs, Jul 2008
- Brandt, J., Christensen, H., Frohn, L.M., Palmgren, F., Berkowicz, R., Zlatev, Z., *Operational air pollution forecasts from European to local scale*. Atmospheric Environment 35 (Suppl. 1), S91-S98, 2001

Studie:

- Juruš P., *Modelování atmosféry v regionálním a lokálním měřítku s aplikacemi v dopravě*, disertační práce, ČVUT, Fakulta dopravní, Ústav řídicí techniky a telematiky, Praha 2009
- Ricci A., Friedrich R. et al., *Calculating Transport Environmental Costs, Final report of the expert advisors to the high level group on infrastructure charging*, April 30, 1999

- Jones S. L., Sullivan A. J., Cheekoti N., Anderson M. D., Malave D., *Traffic simulation Software Comparison Study*, UTCA – University Transportation Center for Alabama, Report 02217, Birmingham & Huntsville in Alabama, June 2004
- Svítek M., Stárek T., Hruběš P., Kantor S., Derbek P., *Inteligentní dopravní systémy (ITS) a jejich dopad na udržitelný rozvoj*, (ID OC194). Výroční zpráva, 26, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ v Praze, Praha 2008
- Svítek M., Stárek T., Hruběš P., Derbek P., Kantor S., Pleva M., *Inteligentní dopravní systémy (ITS) a jejich dopad na udržitelný rozvoj*, (ID OC194). Výroční zpráva, 44, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ v Praze, Praha 2009
- Píša V. a kol., *Zjištění aktuální dynamické skladby vozového parku na silniční síti v ČR a jeho emisních parametrů v roce 2005*, ATEM – Ateliér ekologických modelů, s. r. o., Praha, únor 2006
- Píša V. a kol., *Historický vývoj emisního zatížení z vybraných úseků dálniční a silniční sítě ČR*, ATEM – Ateliér ekologických modelů, s. r. o., Praha, listopad 2007

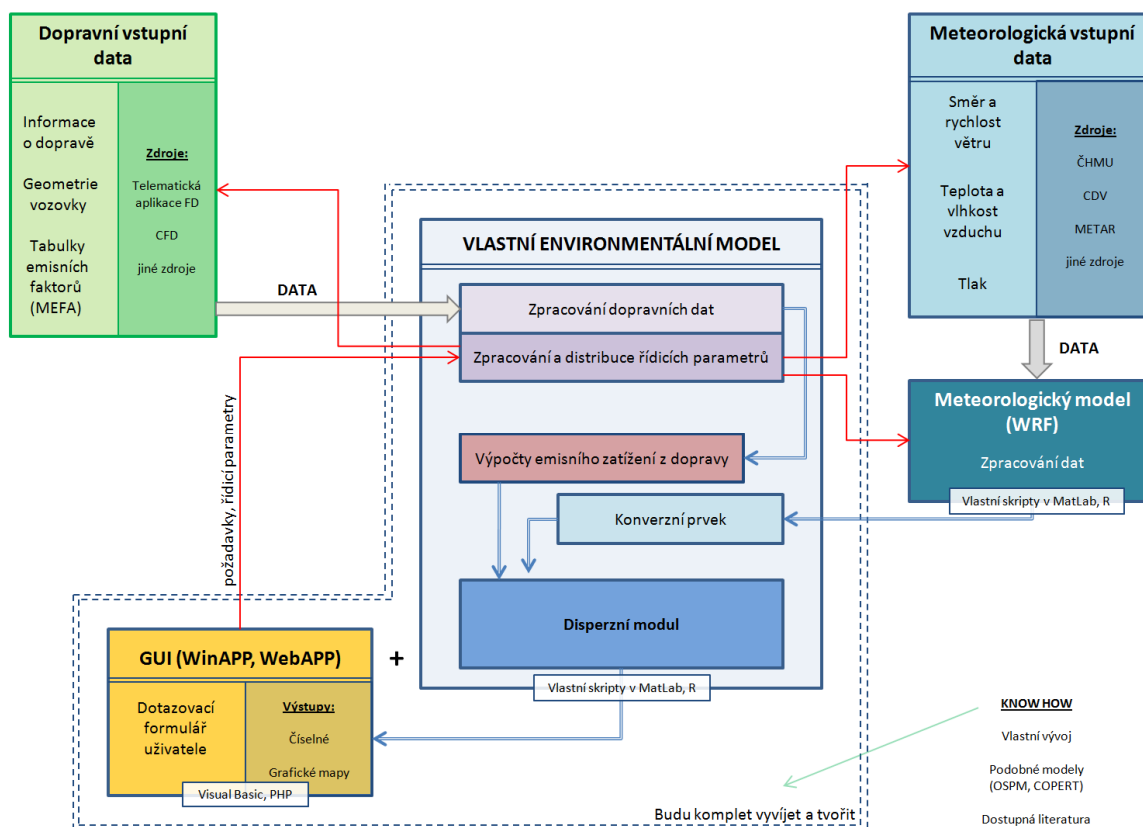
Další zdroje:

- MOBILE6 Vehicle Emission Modeling Software (web): <http://www.epa.gov/oms/m6.htm>
- National Environmental Research Institute - Air pollution models (web): <http://www.dmu.dk/en/air/models/ospm>
- WRF (Weather Research and Forecasting modeling system) Model Users Page (web): <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/>
- Weather Research & Forecasting Model (web): <http://www.wrf-model.org/index.php>

6 Metodika tvorby komplexního modelu

Projekt je zaměřen na vývoj vlastního nástroje – environmentálního modelu, jenž z komplexních vstupních informací má být schopen určovat emisní zatížení z mobilních zdrojů v prostoru podél komunikace v závislosti na aktuálním stavu dopravy a počasí.

Jako stěžejní část vstupů pro výpočty modelů vlastního emisního zatížení mobilních zdrojů jsou uvažována reálná data, jež jsou zaznamenávána na branách dálničního mýtného systému ČR (využití záznamů např. pro výpočet intenzit dopravy), jež shromažďuje tzv. Telematická aplikace (spravuje FD ČVUT pod vedením doc. Ing. Václava Jirovského, CSc.).



Obrázek 6: Návrh architektury propojení vlastního environmentálního modelu a jeho podpůrných bloků

Environmentální model je vyvíjen a vytvářen zcela od počátku jako komplexní řešení dle vlastního návrhu architektury celého funkčního systému. Návrh je znázorněn na obrázku 6. Dílčí řešení uvažovaného modelu má v problematice zpracování vstupních dopravních dat z části vycházet z myšlenky jednoduchého modelu odhadu emisní zátěže ČVUT, FD, Ústavu řídicí techniky a telematiky (vyvíjen v programu COST, projekt OC 194 - Inteligentní dopravní systémy (ITS) a jejich dopad na udržitelný rozvoj (2007-2010, MSM/OC)).

Úkolem projektu je vytvořit zcela novou, komplexní a zcela funkční vlastní aplikaci, jenž v sobě plně rozvine a využije (s ohledem na rozlišovací schopnost modelu) všechny důležité parametry vzniku a šíření emisního zatížení ze silničních vozidel a to s ohledem na meteorologické vlivy. Úkolem je tak přiblížit se co nejpřesnějším modelování.

Stěžejní parametry, jenž jsou pro výpočet modelu uvažovány:

- výškové poměry pozemních komunikací, podélné profily
- intenzita dopravy
- rychlost vozidel
- koeficienty sledovaných emisních faktorů NO_x , NO_2 , SO_2 , CO , PM , PM_{10} , C_xH_y
- zařazení škály typových vozidel
- emisní třídy vozidel Euro 0 - Euro 5
- směr větru
- rychlost větru
- teplota vzduchu
- vlhkost vzduchu

Podrobná metodika konstrukce a struktura zpracování dopravních dat se částečně již promítla v jednoduchém modelu emisní zátěže. Obsažena je dále, v kapitole 7. Vlastní vývoj modelu emisní zátěže.

Dílčí výpočty emisní zátěže podle uvažovaného scénáře mají být, obecně, bez ohledu na počet a implementaci řídicích parametrů, určovány nepřímo a to z odhadů intenzity dopravy. O metodice odhadů intenzity dopravy pohovoří následující kapitola 6.1.

6.1 Odhad intenzity (těžké kamionové dopravy) [2]

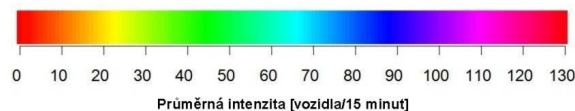
Poskytovaná data intenzit těžké kamionové dopravy mohou být jednoduše zobrazena v časoprostorových grafech. Datový soubor intenzit má následující formát:

- Datum (potažmo typ dne)
- Čas (kdy byla intenzita naměřena)
- ID (identifikace) jednotlivých mytných bran
- Hodnota intenzity

Intenzity v původně poskytovaných souborech dat jsou rozděleny do dvou skupin v závislosti na směru dopravního proudu.

Každá z intenzit, připravených pro jednotlivý směr a sledovaný typ dne, je vždy rovna průměrné hodnotě všech intenzit měřených ve stejném typu dne, které jsou uvedeny ve vstupním souboru podle datumu. Pro následující odhady je prezentován jako příklad den typu "pátek".

Průměrné hodnoty intenzit reprezentuje barevná stupnice. Stupnice je uspořádána od červené přes žlutou, oranžovou, zelenou a modrou k fialové (hodnoty 0 - 130). Hodnoty intenzity jsou zastoupeny počtem těžkých nákladních vozidel, které projely branou vždy za předchozích 15 minut.



Obrázek 7: Stupnice intenzit dopravy nákladních vozidel (nad 12 tun hmotnosti) [2]

Konečná intenzita I_{dt} , se kterou model počítá, je výsledná hodnota součtu, která se skládá z dílčích průměrných hodnot intenzit pro každý konkrétní směr na jedné mýtné bráně ve stejnou dobu a ve stejném typu dne. Model nerozlišuje samostatné emisní zátěže pro každý dopravní směr, ale počítá celkové emisní zatížení v definovaném bodě, tedy v mýtné bráně. Je to proto, že se nepočítá se samostatnými intenzitami rozlišenými dle směru dopravního proudu.

Počet vozidel není možné přesně zjistit ze vstupního datového souboru, neboť dochází k průjezdu vozidla několika branami za měřený čas 15 minut, což není ve vstupním souboru identifikováno. Odhad počtu dotčených vozidel je stanoven vzhledem k maximální intenzitě za sledované období 15 minut.

Maximální intenzity dne typu "pátek" byly zaznamenány v době mezi 14:00 - 21:00 na všech branách v celé délce každého směru. Podobně byly připraveny konečné odhady průměrných intenzit pro každý typ dne.

Procentní podíl počtu vozidel v případě omezení jízdy mezi 14:00 – 21:00 hodinou pro pátek je stanoven jako podíl zaznamenané intenzity v uvedené době a celkové denní intenzity vozidel v průběhu celého dne (00:00 - 24:00).

6.1.1 Analýza dat intenzit

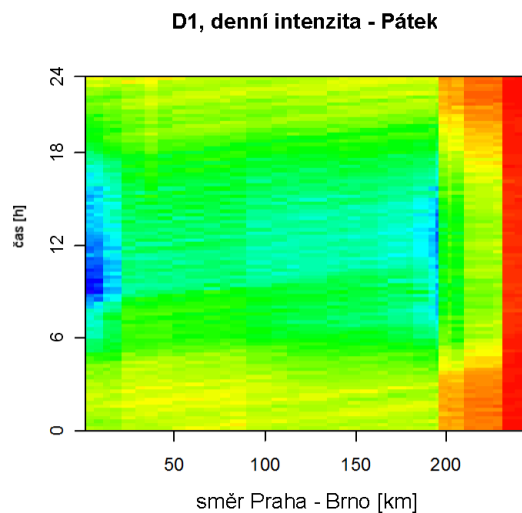
Tabulka 1. Hodnoty průměrných intenzit vozidel nad 12 tun hmotnosti se pohybují na úseku Praha – Brno [2]

Min.	1. Qu.	Medián	Průměr	3. Qu.	Max.
1.00	27.56	37.89	38.11	51.67	90.00

Jak je vidět na obrázku 8, z grafu je patrný celodenní provoz, který je v nočních hodinách téměř konstantní a v průběhu dne narůstá, několikanásobně především pak v okolí Prahy (0 - 20. km) a Brna (180. - 196. km).

Po odbočení na České Budějovice (21. km) je patrný významný pokles intenzity. Dále je zatížení zhruba konstantní.

Dále, od Humpolce na (90. km) opět drobně narůstá. Na výjezdu na dálnici D2 za Brnem (196. km), ve směru na Vyškov (230. km), provoz výrazně klesá (zejména v nočních hodinách). Navíc směrem na Vyškov, doprava klesá na minimum (i během dne).



Obrázek 8: Průměrná denní intenzita pro typ dne "Pátek" ve směru Praha – Brno [2]

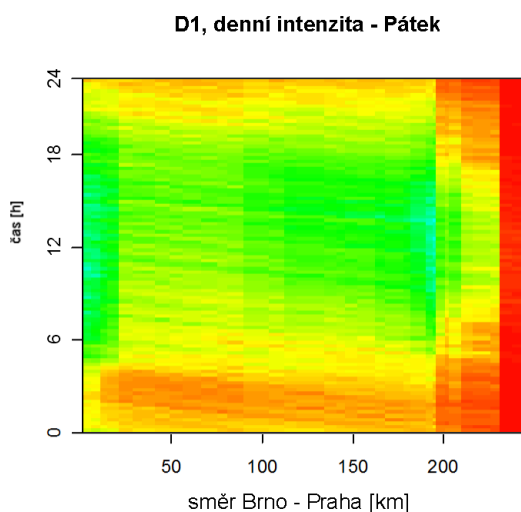
Tabulka 2. Hodnoty průměrných intenzit vozidel nad 12 tun hmotnosti se pohybují na úseku Brno – Praha [2]

Min.	1. Qu.	Medián	Průměr	3. Qu.	Max.
1.00	17.56	26.78	26.87	36.33	64.00

V grafu na obrázku 9, ve směru na Prahu, je opět vidět celodenní provoz. V nočních hodinách je menší než v opačném směru. Z celkového poměru dálniční sítě je dopravní provoz v tomto směru (a pro tento den) o 5% nižší než ve směru na Brno.

Intenzity v opačném směru jsou velmi podobné po celé délce dálnice. Opět je patrný přípoj z Českých Budějovic (21. km) a odliv intenzity u Humpolce (90. km).

Výrazný nárůst intenzity je dále viditelný v okolí Brna, zejména po připojení dálnice D2 (196. km). Ostatní přípoje jsou viditelné na 210. km (provoz od Uherského Hradiště) a dále velmi silný nárůst intenzity na 230. km (provoz z Vyškova).

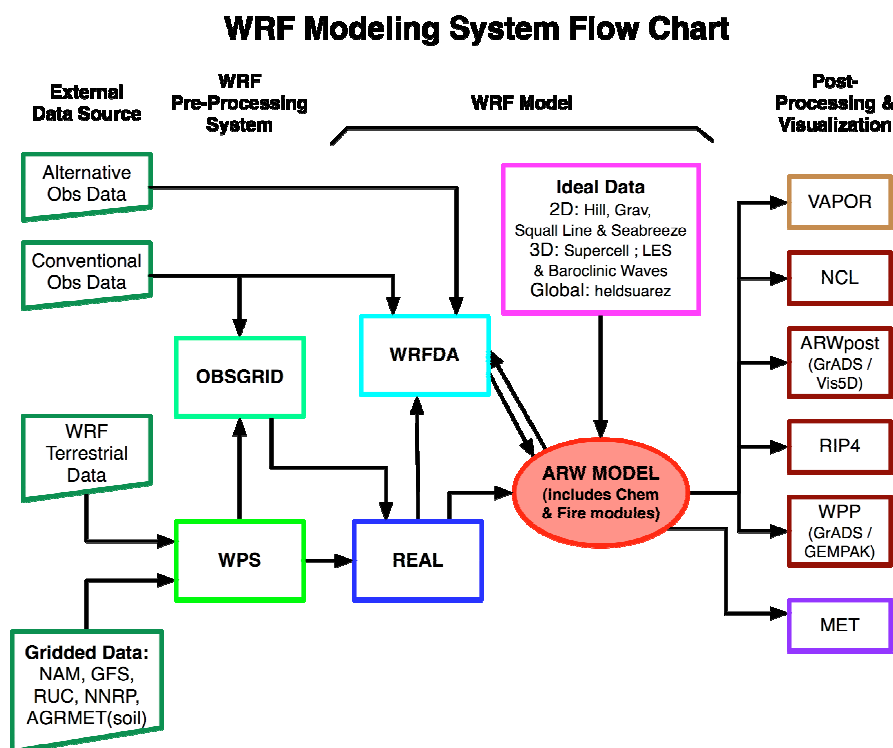


Obrázek 9: Průměrná denní intenzita pro typ dne "Pátek" ve směru Brno – Praha [2]

6.2 Modelování počasí (WRF) [4]

Modely počasí jsou bezesporu nejznámějším a nejpoužívanějším typem modelů atmosféry. Kromě významu počasí ve všech možných oblastech jsou výstupy z modelů počasí důležitými vstupy do chemických transportních modelů. Veličiny jako jsou teplota, vítr, vlhkost nebo intenzita slunečního záření mají zásadní vliv na chemismus atmosféry a na šíření látek. Jako reprezentativní příklad popíšeme model WRF.

Model WRF (Weather Research and Forecasting modeling system) je celosvětově jedním z nejpoužívanějších modelů. WRF je zaměřen především na modelování v tzv. meso měřítku, což odpovídá útvarům o velikosti 2–20 km, ale v současnosti jsou ve světě zkoušeny i jemnější rozlišení jako je 1 km nebo i stovky metrů.



Obrázek 10: Schéma komponent modelu WRF [8]

Typický model pro numerickou predikci počasí má řadu komponent. Samotná numerická část je na obrázku 10 označena jako ARW Model, ARW znamená "Advanced Research WRF" a je jedním ze dvou numerických jader, které jsou pro systém WRF k dispozici. Systém pro svou činnost potřebuje řadu vstupních informací. Patří sem především počáteční a okrajové podmínky. Model atmosféry obvykle popisuje oblast, která je nějak ohraničena. Horní hranice je udávána atmosférickým tlakem (obvykle mezi 100-10 hPa, ale existují i modely z horní hranicí 0.1 hPa, která je vysoko ve stratosféře) a předpokládají se zde konstantní podmínky. Spodní hranice je určena zemským povrchem, zde hraje důležitou roli zemský reliéf (orografie), který je jedním s

údajů, který v přibližné diskretizované formě vstupuje do modelu. Dále sem vstupují časově proměnné údaje o teplotě mořské hladiny, sněhové pokrývce, nebo například vlhkosti půdy v různých hloubkách. Podle konkrétního modelu jsou některé z těchto veličin pouze jednosměrnými vstupy a jiné slouží jako vstupy i výstupy, tj. jejich časová evoluce je dále numericky počítána modelem.

Detailní popis modelu je uveden v dokumentaci modelu WRF, viz. zdroj [8]

6.3 Disperzní model [5]

Inspiraci pro tvorbu vlastního disperzního modulu v rámci environmentálního modelu si lze vzít z disperzního modelu publikovaném v článku *The Integrated Computer System for Modelling of Air Pollution Based on the Digital Data* polských autorů Drağa Ł. a Wojciecha S. [5].

Pro výpočet rozptylu znečišťujících látek z výfukových plynů vozidla lze použít Gaussova formule pro liniový zdroj (GFLSM – Gauss Formula for Line Source Model). Celá silniční síť by měla být rozdělena na části vhodných délek. Diskretizace sítě malých délek oddílů významně ovlivňuje čas simulace. Intenzita emisí q_p [$\text{g m}^{-1} \text{s}^{-1}$], z výfukových plynů p pro jeden liniový zdroj i lze vypočítat ze vztahu [5]:

$$q_p^{(i)} = N \sum_{j=1}^n \delta_j b_{p,j}(\bar{v}_j)$$

kde:

- n – počet uvažovaných kategorií vozidel
- δ_j – zavedení koeficientu dopravního proudu vozidel j -té kategorie
- N – intenzita dopravního proudu [voz./h]
- $b_{p,j}(\bar{v}_j)$ – silniční emise [g/km] z výfukových plynů p automobilu z kategorie vozidel j
- \bar{v}_j – rychlost dopravního proudu [km/h] pro j -tou kategorii vozidel

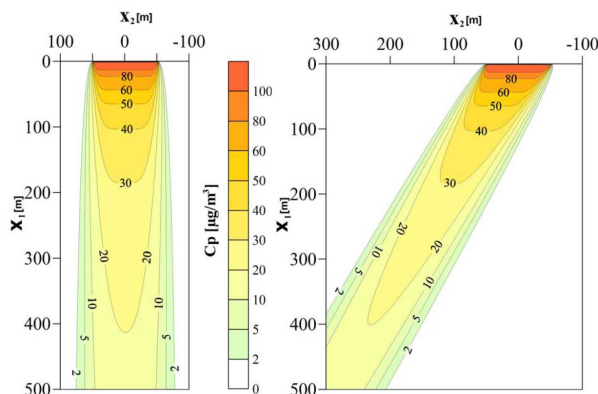
Disperzní modely vyžadují informace nejen o intenzitě emisí ze znečišťujících látek pro jednotlivé úseky silnice, ale vyžadují také informace o meteorologických podmínkách. Koncentrace znečišťující látky v receptoru r pro liniový zdroj i může být vypočítána podle vztahu [5]:

$$C_p^{(i,r)} = \frac{q_p^{(i)}}{2\pi\sigma_{x_3^{(i)}}\bar{u}_e} \cdot \left[\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_3^{(i)} - x_3^{(r)}}{\sigma_{x_3^{(i)}}}\right)^2\right\} + \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_3^{(i)} + x_3^{(r)}}{\sigma_{x_3^{(i)}}}\right)^2\right\} \right] + \left[erf\left\{\frac{\sin\theta\left(L^{(i)}/2 - x_2^{(i)}\right) - x_1^{(i)}\cos\theta}{\sqrt{2}\sigma_{x_2^{(i)}}}\right\} + erf\left\{\frac{\sin\theta\left(L^{(i)}/2 + x_2^{(i)}\right) + x_1^{(i)}\cos\theta}{\sqrt{2}\sigma_{x_2^{(i)}}}\right\} \right]$$

kde:

- $C_p^{(i,r)}$ – koncentrace znečištění p [g m^{-3}] v bodě $(x_1^{(r)}, x_2^{(r)}, x_3^{(r)})$, způsobené emisemi v bodě $(x_1^{(i)}, x_2^{(i)}, x_3^{(i)})$,
- $L^{(i)}$ – délka liniového emisního zdroje [m],
- θ – úhel vybraného směru větru [$^\circ$],
- \bar{u}_e – efektivní rychlost větru [m/s],
- $\sigma_{x_2^{(i)}}, \sigma_{x_3^{(i)}}$ – horizontální a vertikální koeficienty atmosferického rozptylu [m],
- erf – funkce chyby.

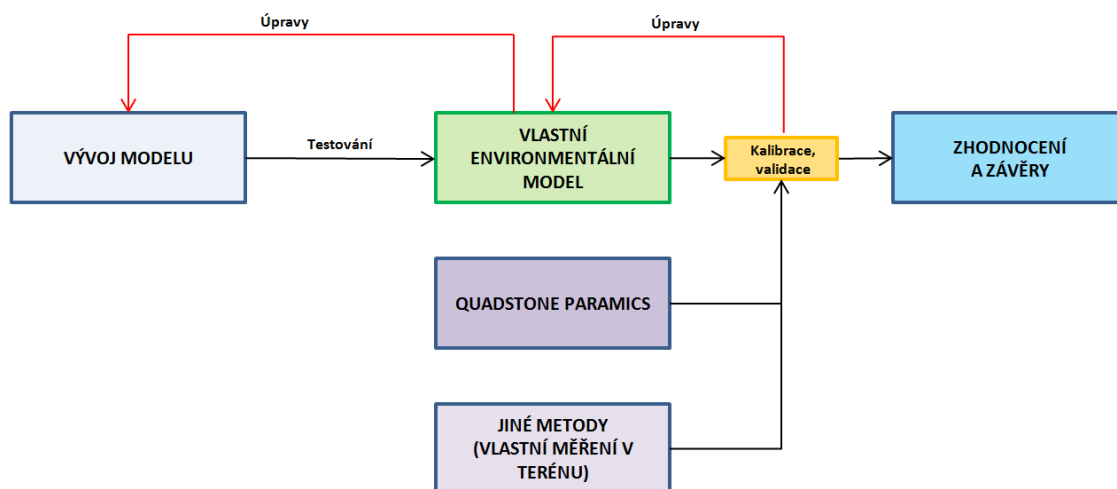
Koncentrace znečištění z jednoho liniového zdroje pro intenzitu emise $q_p = 1 \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ a délku $L = 100 \text{ m}$, jsou zobrazeny na obrázku 11. Parametry vertikálního a horizontálního šíření zde byly vybrány pro neutrální meteorologické podmínky. Prezentované ukázky numerických simulací se týkají dvou různých případů směru větru $\theta = 90^\circ$ a $\theta = 60^\circ$.



Obrázek 11: Koncentrace znečištění C_p [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] z jednoho liniového zdroje emisí v GFLSM pro směry větru a) 90°
b) 60° [5]

6.4 Dílčí úkoly

1. Analýza parametrů ovlivňujících důležitým způsobem produkci polutantů z mobilního zdroje.
2. Analýza působení dalších vlivů na odhadovanou emisní zátěž (např. vlivy počasí).
3. Definování hlavních a vedlejších vstupních parametrů pro tvorbu modelu.
4. Vlastní popis a matematické definování modelu.
5. Tvorba/vývoj základu modelu pomocí matematických nástrojů (Matlab, R).
6. Testování definovaného modelu na dostupných reálných či modelových datech.
7. Kalibrace výsledků environmentálního modelu s modelovými situacemi vytvořenými pomocí dopravního mikrosimulačního SW Quadstone Paramics (komerční nástroj pro mikrosimulační modelování dopravy. Umožňuje podrobné výstupní statistiky emisní zátěže modelovaného dopravního proudu dle zvolené skladby i s ohledem na vlivy počasí).
8. Ověřování výsledků modelu s terénním měřením nebo jinými dostupnými metodami (např. využití dat z měření na speciálně upraveném typovém vozidle (autobus) pánů Michala Vojtíška MSc. (TU Liberec), doc. Ing. Boleslava Kadlečka, CSc. a prof. Ing. Ladislava Pejši, DrSc. (ČZU Praha).



Obrázek 12: Schematické znázornění postupu vlastní práce

6.5 Přehled možných reálných vstupních dat

- Telematická aplikace ČVUT, FD. Jedná se o reálná data o silničním provozu z bran mýtného systému.
- Floating Car Data (FCD) - plovoucí mobilní data. Jedná se o metodu pro stanovení rychlosti provozu na silniční síti. Je založena na sběru lokalizačních dat: rychlosti, směru jízdy a čase jako informací z mobilních telefonů ve vozidlech, která jsou v provozu. Každé vozidlo s aktivním mobilní telefon funguje jako senzor silniční sítě, po které se pohybuje. Získání dat formou žádosti o využití např. u ŘSD ČR.
- Reálná data ze silničního měření. Myšleno je měření intenzity jednotlivých emisních faktorů bodově (u krajnice) podél sledovaného úseku pozemní komunikace. Získání dat vlastním měřením.

6.5.1 Telematická aplikace ČVUT, FD

Telematická aplikace umožňuje sestavovat dotazy vůči databázi průjezdů vozidel mýtnými branami pomocí webového formuláře, mapy či REST dotazů. Jejím výstupem pak následně je

zobrazení grafu a tabulky přímo v HTML stránce, CSV soubor nebo XML soubor v níže popsaném formátu.

Práce s dotazovacím formulářem

Na obrázku 13 je zobrazeno webové rozhraní Telematické aplikace s přístupovým formulářem. Ve formuláři lze vybrat jednotlivé parametry k sestavování dotazu na databázi záznamů.

The image shows a web application interface for configuring search parameters and a map of toll gates. The interface is titled "Nastavte parametry pro zobrazení" (Set parameters for display). It includes several input fields and checkboxes for configuring the search criteria.

Nastavte parametry pro zobrazení

Datum od: 08.12.2008 00:00 Datum do: 09.12.2008 00:00 Interval po: 1 hodinách

Za období: 1 dnech

Vstupní brána: Gate 1 - D01011:Praha-Spořilov (km 0,0)—Praha-Chodov

Průchozí brána: Gate 1 - D01011:Praha-Spořilov (km 0,0)—Praha-Chodov

Čas průjezdu do: 10 minutách

Výstupní brána: Gate 1 - D01011:Praha-Spořilov (km 0,0)—Praha-Chodov

Čas dojezdu do: 10 minutách

Nastavit omezení dle dnů v týdnu:

Po: Út: St: Čt: Pá: So: Ne:

Nastavit další omezení:

Podle státní příslušnosti: Podle typu vozidla: Podle emisní třídy:

Obrátit výběr: Obrátit výběr: Obrátit výběr:

Odeslat

The map on the right shows a geographical area with several toll gates marked with blue icons and labels like E48, E50, E55, E47, E44, E67, E66, E49, E63, E50, E44, E67, E66, E49, E63, E50. The map is a Google Map showing the region around Prague and surrounding areas.

Obrázek 13: Dotazovací formulář Telematické aplikace + mapa mýtných bran [3]

Další popis a práce s Telematickou aplikací je podrobněji popsán v publikaci [3].

6.6 Výstupy

Jednotlivými výstupy environmentálního modelu by se měly stát časově a prostorově situované emisní grafické mapy polutantů:

- oxidy dusíku (NO_x)
- oxid dusičitý (NO_2)
- oxid siřičitý (SO_2)
- oxid uhelnatý (CO)
- tuhé znečišťující látky PM
- tuhé znečišťující látky frakce PM_{10}
- suma uhlovodíků (C_xH_y).

Mapy by měly být zobrazovány vlastní, samostatnou „user friendly“ softwarovou aplikací, potažmo pak i webovou aplikací, veřejně přístupnou.

6.7 Nástroje a podklady pro úspěšné řešení projektu

Pro úspěšné řešení projektu tak, jak je metodicky zpracována, byly již splněny následující požadavky včetně podpory pro financování:

- zakoupení mikrosimulačního SW Quadstone Paramics pro kalibraci vlastního environmentálního modelu (fce. modulu „Monitor“ pro statistické vyhodnocení emisního zatížení tvořeného dopravním proudem na modelu zvolené dopravní sítě). Quadstone Paramics byl financován z projektu SGS 2010, ČVUT;
- získána a zanalyzována data z měření na speciálně upraveném typovém vozidle (autobus) pánů Michala Vojtíška MSc. (TU Liberec), doc. Ing. Boleslava Kadlečka, CSc. a prof. Ing. Ladislava Pejši, DrSc. (ČZU Praha) ze dne 14.7.2009. Měření financováno z programu COST, projekt OC 193 - Metody hodnocení a multidisciplinární ocenění vlivů dopravy na trvale udržitelné životní prostředí (2007-2010, MSM/OC);
- zmapována relevantní literatura.

7 Vlastní vývoj modelu emisní zátěže

V současné době je popsána metodologie (Derbek P., "Emission Load Mapping from Highway Mobile Sources", [2]) pro jednodušší model odhadu emisní zátěže na konkrétním souboru dat vycházející z několika parametrů. Práce je zaměřena na zpracovávání a emisní vyhodnocování dopravních záznamů z dálničních mytných bran. Hlubší záběr parametrů a vlivů na odhady emisního zatížení (např. meteorologické vlivy) zde nebyly prozatím zcela implementovány a jsou předmětem práce v pokračování projektu pro následující rok. K dosažení komplexního modelu by mělo zcela významně přispět plánované prodloužení projektu/grantu.

7.1 Emisní model

Cílem modelu emisního zatížení v této fázi vývoje je zpracovávání již naměřených dat těchto hlavních měřitelných faktorů znečištění: C20H12, NO2, PM10, SO2. Koncept modelu je postaven následovně.

Emisní zátěž E_{dtpi} pro typ dne d (pondělí, ..., neděle), čas t , znečišťující látky p a sklon vozovky i je odhadována dle modelu

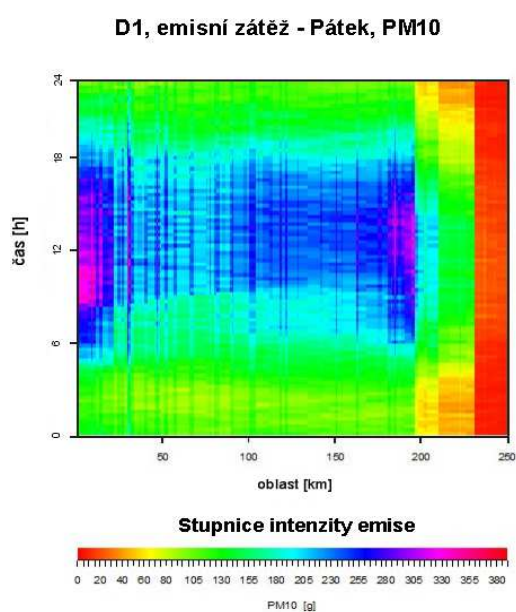
$$E_{dtpi} = I_{dt} \times e_{pi}.$$

Symbol I_{dt} označuje průměr dopravních intenzit v obou směrech pro daný typ dne a denní dobu. Symbol e_{pi} označuje koeficient odpovídající sledovanému emisnímu faktoru a danému sklonu vozovky. (Koeficienty e závisejí, obecně, na typu vozidla a také jeho rychlosti. V této fázi je model velmi zjednodušený, počítá pouze s registrovanými těžkými nákladními automobily při konstantní rychlosti 80 km / h.)

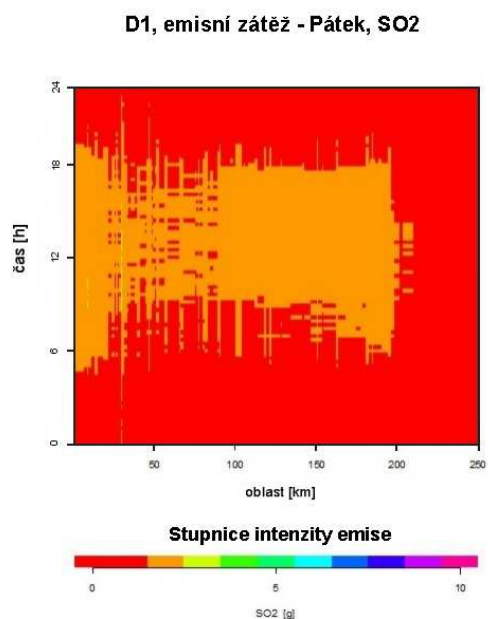
Jako vstupní data byla pro jednorázové testování modelu použita veřejně dostupná souhrnná data z bran mytného systému dálnice D1 za období od 1. ledna 2007 do 6. března 2007. Pro testování modelu byly použity registrované intenzity těžkých automobilů nad 12 tun celkové hmotnosti. K datům byla poskytnuta tabulka identifikací, kilometrického a územního umístění mytných bran. Použité koeficienty emisních faktorů byly výstupem jiného projektu.

Výstup modelových výpočtů je uveden, jako součet emisní zátěže sledovaného silničního úseku, v [g / km]. Výstupní hodnoty jsou zobrazeny ve formě časoprostorového grafu.

Více podrobností z metodiky konstrukce jednoduchého modelu emisní zátěže je obsaženo v publikaci [2].



Obrázek 14: Příklad výstupního grafu odhadu emisního zatížení látky PM10 [2]



Obrázek 15: Příklad výstupního grafu odhadu emisního zatížení látky SO2 [2]

8 Předpokládaný harmonogram práce a cíle projektu

1. Analýza a specifikace ovlivňujících/důležitých parametrů. Definování důležitých vstupních parametrů modelu z hlediska působení okolních vlivů na odhadovanou emisní zátěž a na tvorbu emisní zátěže spolu s procesy změn.
2. Následuje vlastní popis a matematická definice modelu. Zápis definovaného modelu pomocí matematických nástrojů (Matlab, R). Testování na reálných či modelových datech. Pro paralelní korekci a kalibraci postupně dosažených výsledků poslouží mikrosimulační nástroj pro modelování dopravy Quadstone Paramics, jenž obsahuje nástroj pro modelování emisního znečištění mobilních zdrojů s možností začlenění vlivů povětrnostních podmínek.
3. Vytvoření koncepce konečného programového skriptu, jeho kalibrace, porovnávání a ladění vstupních parametrů pomocí Quadstone Paramics. Konečné ověřování a porovnávání výstupů modelu s dalšími dostupnými metodami emisního mapování.
4. Tvorba softwarové aplikace (možnost veřejné prezentace na internetu) pro čtení vstupních dat, implementovaným skriptem modelu a konečné interpretaci výstupů.
5. Zhodnocení výsledků, zhodnocení modelu.

9 Přehled vlastních publikací k danému tématu

- Svítek, M., Stárek, T., Hruběš, P., Kantor, S., Derbek, P., *Inteligentní dopravní systémy (ITS) a jejich dopad na udržitelný rozvoj*, (ID OC194). Výroční zpráva, 26, 15-18, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ v Praze, Praha 2008
- Svítek, M., Stárek, T., Hruběš, P., Derbek, P., Kantor, S., Pleva, M., *Inteligentní dopravní systémy (ITS) a jejich dopad na udržitelný rozvoj*, (ID OC194). Výroční zpráva, 44, 27-42, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ v Praze, Praha 2009

- Hrubeš, P., Svítek, M., Derbek, P., *Model of the Emission Load in the Vicinity of the Monitored Road in Relation to the Real Traffic Data*, Eurisbis 09 conference, Czech Technical University in Prague, Prague 2009
- Derbek, P., Hrubeš, P., *Emission Load Estimation and Modeling in Relation to the Real Input Traffic Data*, EATIS 09 in Prague conference, Czech Technical University in Prague, Prague 2009
- Hrubeš, P., Vlčková, V., Derbek, P., *Road Traffic Accidents Analyze - Aggregation in Spatial and Time*, ITS Stockholm 2009 conference, Czech Technical University in Prague, Prague 2009
- Derbek P., *Emission Load Mapping from Highway Mobile Sources*, Driver - Car Interaction & Interface 2010 - The Book of Proceedings, Driver Car Interaction & Interface 2010, Ústav Informatiky AV ČR, v.v.i., Prague 2010

10 Zdroje použité ve studii

Literatura:

- [1] Stráský M., *Analýza dopadu ITS na parametry životního prostředí*, bakalářská práce, ČVUT, Fakulta dopravní, Praha 2009
- [2] Derbek P., *Emission Load Mapping from Highway Mobile Sources*, Driver - Car Interaction & Interface 2010 - The Book of Proceedings, Driver Car Interaction & Interface 2010, Ústav Informatiky AV ČR, v.v.i., Prague 2010
- [3] Svítek M., Stárek T., Hrubeš P., Derbek P., Kantor S., Pleva M., *Inteligentní dopravní systémy (ITS) a jejich dopad na udržitelný rozvoj*, (ID OC194). Výroční zpráva, 44, 27-42, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ v Praze, Praha 2009
- [4] Juruš P., *Modelování atmosféry v regionálním a lokálním měřítku s aplikacemi v dopravě*, disertační práce, ČVUT, Fakulta dopravní, Ústav řídicí techniky a telematiky, Praha 2009

- [5] Drag Ł., Wojciech S., *The Integrated Computer System for Modelling of Air Pollution Based on the Digital Data*, IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 21-23, Italy, Rende (Cosenza), September 2009
- [6] Berkowicz R., Ketzel M., Jensen S.S., Hvidberg M., Raaschou-Nielsen o., *Evaluation and application of OSPM for traffic pollution assessment for a large number of street locations*, New Approaches to Urban Air Quality Modelling - Special Issue of the 5th International Conference on Urban Air Quality, 29-31, Spain, Valencia, March 2005

Webové stránky:

- [7] Quadstone Paramics: <http://www.paramics-online.com/>
- [8] WRF (Weather Research and Forecasting modeling system) Model Users Page (web): <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/>