

Modelování imisí v dopravě

Jiří Jedlička*, Jiří Dufek, Vladimír Adamec, Jiri Huzlik

Transport Research Centre, Lisenska 33a, 63600 Brno, Czech Republic

** Corresponding author: jedlicka@cdv.cz*

Abstract

Dispersal models are tools for the estimation of air pollution. Dispersal model results are impossible into account of exact air pollution in consequence of doubts from incorrectness of emission determination and deficiency knowledge of atmospherically process. Input data for modelling of pollution concentration from transport comes from traffic census and categorisation of vehicles by emission characteristic. Contribution is presented current research work focus of relation between emission and air pollution from transport by means of computer programmes SYMOS 97 and AEOLIUS.

Keywords

Dispersal models, pollution, emission factors, transport, traffic flow

Úvod

Doprava v posledním desetiletí významně ovlivňuje životní prostředí člověka a to jak v pozitivním tak i negativním směru. Jedním z negativních účinků je kontaminace ovzduší emisemi, zejména ve velkých městech s vysokou hustotou automobilové dopravy. Vztah mezi produkcí emisí z dopravy a imisní koncentrací v ovzduší je ovlivňován mnoha faktory. V první řadě to jsou emisní faktory (E_f) jednotlivých typů vozidel, rychlost dopravního proudu, skladba vozového parku, meteorologické podmínky a v neposlední řadě morfologie terénu. Nespolehlivějším nástrojem hodnocení míry znečištění ovzduší imisemi v přízemní vrstvě atmosféry je kvalitní měření. To je ovšem poměrně nákladné, proto není možné měřit všude. Zde je potom možné uplatnit modely pro rozptyl znečištění v ovzduší. Modely se rozdělují: podle horizontálního dosahu (lokální efekty, transport na krátké vzdálenosti, regionální transport, dálkový transport, globální modely); podle fyzikálního přístupu (Eulerovské, Lagrangeovské, Gaussovské, Puff). Pro zachycení vlivu dopravy na imisní situaci v městském prostředí se používají modely pro lokální měřítko. Podmínky proudění vzduchu a šíření znečišťujících látek v tomto prostředí jsou specifické a klasické vlečkové gaussovské modely se pro modelování nehodí. Proto jsou využívány Eulerovské a Lagrangeovské modely, popřípadě jejich kombinace. Jedním z prvních modelů, založených na představě systému proudění v městské zástavbě byl model STREET (Johnson a kol. 1973). Následovaly další modifikované modely vycházející z tohoto typu (OSPM, ADMS-Urban, INDIC-AIRVIRO, AEOLIUS).

Současný stav řešené problematiky

V rámci projektu VaV „Výzkum zátěže životního prostředí z dopravy“ je řešen dílčí úkol „Analýza vztahů mezi produkcí emisí z dopravy a imisními koncentracemi polutantů v ovzduší“. Cílem úkolu je odvodit podíl dopravy na imisních koncentracích formou modelu pro odhad maximální přípustné intenzity dopravy tak, aby doprava nezvyšovala podíl svých příspěvků do celkové imisní bilance a vedla k zabezpečení

trvale udržitelné dopravy z hlediska regionálního rozvoje. Dalším cílem tohoto úkolu je zohlednění vlivu intenzity provozu a jejího kolísání v průběhu dne a ročního období a vlivu poměrného zastoupení různých typů vozidel v provozu na imisní koncentrace vybraných polutantů.

Metodika

V rámci řešení byly vybrány lokality s intenzivní dopravou ve městě Brně (Kotlářská, Kroftova, Zvonařka) a lokalita neovlivněná dopravními vlivy (Košetice), pro vzájemná porovnání a vyloučení ne-dopravních vlivů. Lokalita Kotlářská byla vybrána pro svoji polohu ve středu města s velkou intenzitou dopravy, kde je v budoucnu možno korigovat složení dopravního proudu náhradou především IAD za veřejnou dopravu. Dalším z kritérií bylo, že v bezprostředním okolí lokality je zvýšená koncentrace obyvatel (univerzita, střední škola, základní škola a zvýšený pohyb chodců). Zároveň zde probíhá kontinuální měření polutantů v ovzduší pomocí automatické monitorovací stanice (AMS). Lokalita Kroftova byla vybrána jako lokalita se střední intenzitou dopravy, která narůstá především v období dopravních špiček. Zároveň je zde velmi hustá zástavba rodinných domků, které přispívají, především v období topné sezóny, výraznou měrou do celkové imisní bilance lokality. I zde probíhá kontinuální měření ovzduší pomocí AMS. Lokalita Zvonařka byla vybrána jako celodenně nadprůměrně zatížená dopravní lokalita, kde se předpokládá většinový podíl dopravy na celkové imisní situaci. Také zde je kontinuálně zajištěno měření ovzduší pomocí AMS. Pro analýzu jsou vybrány následující rizikové polutanty: benzen, toluen, benzo(a)pyren, oxid dusičitý (NO_2), oxid uhelnatý (CO), a oxid siřičitý (SO_2). zjištění Modelové hodnoty jsou zjišťovány pomocí výpočtových programů SYMOS 97 verze 2003 a AEOLIUS. Tyto dva přístupy byly navrženy pro vzájemné ověření vypočtených hodnot a k porovnání se skutečně naměřenými hodnotami. Pro ověření modelových hodnot jsou také získávány výsledky experimentálním měřením. Hodnoty koncentrací jsou měřeny na AMS umístěných ve vybraných lokalitách. Každoročně také probíhá čtyřdenní kontinuální měření při kterém jsou mimo standardně sledované polutanty stanoveny také koncentrace benzenu, toluenu a benzo(a)pyrenu v ovzduší.

Výsledky

Emisní zátěž pro zadání do programu SYMOS 97 je počítána jako množství emisního toku v $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ podle následujícího vztahu:

$$E_{p,u} = \frac{\sum_{k=1}^n E_{p,u,k}}{1000 \cdot 86400} = \frac{\sum_{k=1}^n (I_k \cdot Ef_{p,k})}{86,4 \cdot 10^6}$$

$E_{p,u}$	celkové emise polutantu p , úseku u [$\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$]
n	počet kategorií silničních vozidel ($n = 28$)
$E_{p,u,k}$	emise na úseku u , vozidla kategorie k [$\text{g}\cdot\text{km}^{-1}\cdot\text{den}^{-1}$]
I_k	průměrná 24-h intenzita dopravy kategorie k [den^{-1}]
$Ef_{p,k}$	emisní faktor polutantu p kategorie vozidel k [$\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$]
86 400	počet sekund za den

Intenzita dopravy na každém posuzovaném úseku je stanovena pomocí dopravního sčítání pro základní kategorie: osobní vozidla celkem, lehká, střední a těžká nákladní vozidla, autobusy, motocykly a traktory. Dopravní intenzity těchto 7 kategorií se dále rozdělí, podle jejich zastoupení v provozu, do 28 kategorií, pro které je proveden výpočet emisních faktorů za pomoci programu MEFA, v souladu s nařízením vlády č. 350/2002 Sb. Jelikož se v Brně nestanovovala dynamická skladba dopravního proudu, bylo stanovení podílů jednotlivých kategorií na provozu na komunikacích posuzovaných v tomto řešení provedeno podle studie zhotovené pro Prahu s užitím lokality „Čimická“. Hodnoty množství emisních toků jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1. Výsledky výpočtů emisního toku pro liniové zdroje ve vybraných lokalitách

Lokalita	Úsek	CO [g.m ⁻¹ .s ⁻¹]	NO ₂ [g.m ⁻¹ .s ⁻¹]	SO ₂ [g.m ⁻¹ .s ⁻¹]	Benzen [g.m ⁻¹ .s ⁻¹]	Benzo(a)pyren [g.m ⁻¹ .s ⁻¹]	Toluen [g.m ⁻¹ .s ⁻¹]
Kroftova	1	0,0001031	0,0001188	1,1371E-06	3,403E-06	3,89E-12	9,085E-06
Kotlářská	2	0,0004083	0,0002717	1,8683E-06	1,596E-05	7,13E-12	4,344E-05
	3	0,0003389	0,0002263	1,5419E-06	1,319E-05	5,90E-12	3,588E-05
	4	0,0004583	0,0003054	2,0922E-06	1,789E-05	7,99E-12	4,868E-05
	5	0,0003453	0,0002308	1,5735E-06	1,343E-05	6,014E-12	3,652E-05
Zvonařka	6	0,0005859	0,0008095	4,1445E-06	1,5812E-05	4,81E-12	4,018E-05
	7	0,0005047	0,0005847	4,2181E-06	1,6082E-05	1,89E-12	4,272E-05

K výpočtu základních charakteristik znečištění ovzduší pro výpočet v programu SYMOS 97 byla použita následující data:

- emisní toky polutantů v g.m-1.s-1 ,
- větrná stabilitní růžice charakterizující statistické rozložení směru a rychlosti větru vztahované ke třídám stability ovzduší,
- topografické údaje (poloha, nadmořská výška) referenčních bodů a zdrojů znečištění (silnice).

Vypočtené hodnoty mají charakter průměrných hodnot, protože při výpočtu emisního toku byly použity průměrné roční intenzity dopravy za 24 hodin.

Tabulka 2. Modelové roční koncentrace vypočtené programem SYMOS 97 [μg.m⁻³]

Úsek	CO	NO ₂	SO ₂	Benzen	Benzo(a)pyren [ng.m ⁻³]	Toluen
Kotlářská	9,88 – 2,04	0,96 – 0,23	0,06 – 0,01	0,55 – 0,12	0	1,50 – 0,32
Kroftova	0,93 – 0,23	0,17 – 0,05	0,02 – 0,004	0,05 – 0,01	0	0,12 – 0,03
Zvonařka	12,96 – 1,01	2,83 – 0,25	0,15 – 0,01	0,52 – 0,04	0,001 - 0	1,37 – 0,11

Tabulka 3. Modelové hodinové koncentrace vypočtené programem SYMOS 97 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]

Úsek	CO	NO ₂	SO ₂	Benzen	Benzo(a)pyren [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$]	Toluen
Kotlářská	252,87 – 28,71	25,88 – 2,8	1,75 – 0,19	14,94 – 1,6	0,007 – 0,001	40,66 – 4,35
Kroftova	20,96 – 7,08	4,70 – 1,11	0,42 – 0,1	1,25 – 0,31	0,001 - 0	3,35 – 0,83
Zvonařka	454,83 – 18,78	102,57 – 4,34	5,27 – 0,21	18,94 – 0,76	0,056 – 0,002	48,23 – 1,97

Model AEOLIUS (Assesing the Environment Of Locations In the Urban Streets) slouží k výpočtu koncentrací znečišťujících látek v prostředí silničních kaňonů na základě údajů o silničním provozu v kaňonu. Model je dostupný ve třech odstupňovaných verzích, a to AOELIUS Full, AEOLIUSQ Emission a AEOLIUS Screen. Navzájem se tyto verze od sebe liší hlavně podrobností a počtem zadávaných vstupních parametrů potřebnými pro výpočet koncentrací znečištění. Jednotlivé modely lze použít pouze pro výpočty situací v jednom silničním kaňonu a neumožňují použití dávkového zpracování pro několik kaňonů najednou.

Pro modelování v rámci tohoto úkolu bylo využito nejjednodušší verze modelu, AEOLIUS Screen. Model počítá hodinové koncentrace těchto polutantů: NO_x, NO₂, CO, SO₂, C₆H₆ (benzene), C₄H₆ (1,3 butadiene) a PM10. Vstupní parametry se zadávají z klávesnice a výstup je zobrazován na monitor. Jako vstupní data pro modelování se používají údaje o: šířce ulice, výšce budov, rychlosti dopravního proudu, rychlosti větru a pozadřové koncentraci polutantu.

Hodnoty vypočtené programem AEOLIUS, uvedené v tabulce 4, jsou hodinové průměry pro konkrétní zadanou situaci. U koncentrace CO se jedná o 8-hodinový průměr.

Tabulka 4. Modelové koncentrace vypočtené programem AEOLIUS [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]

Úsek	CO	NO ₂	SO ₂	Benzen	Benzo(a)pyren	Toluen
Kotlářská	2 863,69	72,59	8,61	3,90	-	-
Kroftova	1 993,13	65,17	5,65	2,49	-	-
Zvonařka	1 512,03	57,93	4,01	1,73	-	-

Z vypočtených modelových hodnot byly pro další zpracování brány v úvahu ty koncentrace, kde jsou pro vybrané polutanty stanoveny imisní limity uvedené v NV č. 350/2002 Sb. Vzájemně byly porovnány hodnoty z obou modelů a hodnoty naměřené z kterých byl odvozen podíl dopravy na imisní koncentraci.

Tabulka 5. Porovnání imisních koncentrací CO

Lokalita	CO [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]					Limit
	Maximální modelová SYMOS	Maximální modelová AEOLIUS	Maximální naměřená	Podíl SYMOS (%)	Podíl AEOLIUS (%)	Max.denní 8- hodinový klouzávý průměr
						13,3 [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]
Kotlářská	253	2 863	2 906	8,7	98,5	13,3 [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]
Kroftova	21	1 993	1 669	1,3	119,4	
Zvonařka	455	1 512	6 875	6,6	22,0	
Košetice	-	-	766	-	-	

Tabulka 6. Porovnání imisních koncentrací NO₂

Lokalita	NO ₂ [µg.m ⁻³]								Limit	
	Hodinová modelová SYMOS	Hodinová modelová AEOLIUS	Hodinová naměřená	Podíl SYMOS (%)	Podíl AEOLIUS (%)	Roční modelová SYMOS	Roční naměřená	Podíl (%)	hodinový	roční
	Kotlářská	26	73	166	15,7	44,0	1	47	2,1	270
Kroftova	5	65	79	6,3	82,3	0,1	-	-		
Zvonařka	103	58	203	50,7	28,6	3	42	7,1		
Košetice	-	-	25	-	-	-	-	-		

Tabulka 7. Porovnání imisních koncentrací SO₂

Lokalita	SO ₂ [µg.m ⁻³]								Limit	
	Hodinová modelová SYMOS	Hodinová modelová AEOLIUS	Hodinová naměřená	Podíl SYMOS (%)	Podíl AEOLIUS (%)	Roční modelová SYMOS	Roční naměřená	Podíl (%)	hodinový	roční
	Kotlářská	1,8	8,6	46,6	3,9	18,5	0,06	4,85	1,2	350
Kroftova	0,42	5,7	49	0,9	11,6	0,02	-	-		
Zvonařka	5,3	4,0	84,9	6,2	4,7	0,15	5	3,0		
Košetice	-	-	43,3	-	-	-	-	-		

Tabulka 8. Porovnání imisních koncentrací benzenu

Lokalita	benzen [µg.m ⁻³]								Limit
	Denní modelová SYMOS	Denní modelová AEOLIUS	Denní naměřená	Podíl SYMOS (%)	Podíl AEOLIUS (%)	Roční modelová SYMOS	Roční naměřená	Podíl (%)	roční
	Kotlářská	11,4	3,9	4,6	247,8	84,8	0,6	-	-
Kroftova	0,96	2,5	1,7	56,5	147,1	0,05	-	-	
Zvonařka	14,49	1,7	-	-	-	0,5	-	-	
Košetice	-	-	-	-	-	-	-	-	

Tabulka 9. Porovnání imisních koncentrací benzo(a)pyrenu

Lokalita	benzo(a)pyren [ng.m ⁻³]								Limit
	Denní modelová SYMOS	Denní modelová AEOLIUS	Denní naměřená	Podíl SYMOS (%)	Roční modelová SYMOS	Roční naměřená	Podíl (%)	roční	
	Kotlářská	0,005	-	0,43	1,2	0	-	-	8 [ng.m ⁻³]
Kroftova	0,001	-	0,52	0,19	0	-	-		
Zvonařka	0,043	-	-	-	0,001	-	-		
Košetice	-	-	-	-	-	-	-		

Tabulka 10. Porovnání imisních koncentrací toluenu

Lokalita	toluen [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]							
	Denní modelová SYMOS	Denní modelová AEOLIUS	Denní naměřená	Podíl SYMOS (%)	Roční modelová SYMOS	Roční naměřená	Podíl (%)	Limit
Kotlářská	31,1	-	14	222,1	1,5	-	-	-
Kroftova	2,6	-	5,1	50,9	0,12	-	-	
Zvonařka	36,9	-	-	-	1,37	-	-	
Košetice	-	-	-	-	-	-	-	

Závěr

U výsledků modelových hodnot uvedených v tabulkách 2 - 4 je nutno konstatovat, že tyto hodnoty jsou teoretické a to především z důvodu toho, že mohou nastat jen za podmínek, které byly předem zadány do programů SYMOS 97 a AEOLIUS. Největší proměnná u programu SYMOS 97 je stabilitní větrná růžice, která charakterizuje rozptylové podmínky. U programu AEOLIUS tvoří největší nejistoty při výpočtu modelových hodnot rychlost větru a rychlost a intenzita dopravního proudu. Modelové hodnoty vypočítané programem AEOLIUS proporcionálně odpovídají množství celkových emisí vybraných polutantů z dopravy. Pro zachycení krátkodobých (hodinových) modelových koncentrací na dopravních lokalitách situovaných v kaňonech ulic je nutné uplatnit program AEOLIUS a z těchto hodnot dále vycházet při zjišťování vztahu mezi produkcí emisí a imisní situací. Modelové hodnoty vypočítané programem SYMOS ve sledovaných případech vykazují nízké koncentrace oproti reálu. Jedním z vysvětlení může být skutečnost, že při výpočtech emisních faktorů programem MEFA, nutných pro zadání do programu SYMOS, byly zjištěny neobvykle nízké hodnoty u NO_2 oproti emisním faktorům vedeným v databázi emisních faktorů CDV.

Poděkování

Tento projekt je řešen v rámci projektu VaV CE 801 210 109 Výzkum zátěže životního prostředí z dopravy, jehož poskytovatelem je ministerstvo dopravy ČR.

Literatura

- ADAMEC, V. et al. *Výzkum zátěže životního prostředí z dopravy*. Výroční zpráva za rok 2002. Brno: CDV, 2003. 203 s.
- ŠEBOR G., PÍŠA V., HORNÍČEK K. *Mefa v. 02* [počítačový program]. Verze 1.00. Praha: MŽP, 2002.
- BUCKLAND, A. T., MIDDLETON, D. R., MANNING, A. J. *AEOLIUS* [software]. London. Meteorological Office, 1997.
- BUBNÍK J., KEDER J., MACOUN J.: *Symos 97, Systém modelování stacionárních zdrojů, metodická příručka*. Praha: ČHMÚ, 1998. 65 s. ISBN 80-85813-55-6.