



**M E T O D I K A
STANOVENÍ EMISÍ LÁTEK ZNEČIŠŤUJÍCÍCH
OVZDUŠÍ Z DOPRAVY**

LEDEN 2002

Název: Metodika stanovení emisí látek znečišťujících ovzduší z dopravy

Realizační výstup projektu MDS ČR č. S 401/330/601 „Stabilizace a postupné snižování zátěže životního prostředí z dopravy v České republice“

Zadavatel: Ministerstvo dopravy a spojů ČR

Zastoupený: Ing. Josef Zatloukal, ředitel odboru 210

Styčný pracovník: Ing. Josef Novák, odbor 210

Řešitelské pracoviště: Centrum dopravního výzkumu, sekce životního prostředí, Líšeňská 33a, 636 00 Brno

Zastoupené: Ing. Josef Mikulík, CSc., ředitel

Řešitelský kolektiv: Mgr. Jiří Dufek, odpovědný řešitel
RNDr. Jiří Huzlík
Ing. Vladimír Adamec, CSc.

Obsah

1. Úvod	4
2. Principy metodiky	5
3. Rozsah polutantů	6
4. Schéma výpočtů	7
5. Vlastní výpočtové postupy	8
6. Využití metodiky pro emisní prognózy	12
7. Příklad výpočtu emisí NO _x a N ₂ O v roce 2000	12
8. Emisní faktory	18
9. Přetrvávající nejistoty	21
10. Možnosti aplikace metodiky	21
11. Závěr	21
Literatura	22

1. Úvod

„Metodika stanovení emisí látek znečišťujících ovzduší z dopravy“ vznikla jako jeden z realizačních výstupů projektu VaV „*Stabilizace a postupné snižování zátěže životního prostředí z dopravy v České republice*“ [1].

Metodika byla schválena v oponentním řízení dne 3. 10. 2001 za účasti zástupců MŽP ČR (odbor ochrany ovzduší), MDS ČR (odbor dopravní politiky, mezinárodních vztahů a životního prostředí, odbor civilních letectví a odbor vodní dopravy) a řešitelů předkládané metodiky. Oponenty byl Ing. Kröbl (ÚVMV Praha), Ing. Machálek (ČHMÚ Praha) a Ing. Novák (MŽP ČR).

Metodika zahrnuje pouze emise vzniklé přímo při provozu dopravních prostředků, nezahrnuje emise z výroby elektrické energie spotřebované elektrickými vozidly, ani emise z motorů nedopravních strojů a prostředků, používaných v zemědělství, stavebnictví, armádě nebo domácnostech.

Nedílnou součástí metodiky je databáze emisních faktorů (aplikace MS Access), která obsahuje a statisticky vyhodnocuje hodnoty emisí naměřené jak v České republice tak i v zahraničí, v závislosti na druhu a stáří vozidel, používaném palivu, rychlosti a režimu jízdy, atd. Databáze zajišťuje, že vypočtené hodnoty emisí jsou funkcí hodnot zjištěných přímým měřením.

2. Principy metodiky

Metodika rozděluje dopravní prostředky do celkem 23 kategorií. Při rozdělení byla uplatněna následující kritéria: druh dopravy, používané palivo a vybavení vozidel účinnými katalyzátory.

Tabulka 1. Kategorie pro kalkulaci emisí z dopravy

Číslo	Označení	Popis kategorie
1	ID.B1	individuální doprava, benzínová osobní vozidla jednostopá
2	ID.B2	individuální doprava, benzínová osobní vozidla dvoustopá bez řízených katalytických systémů
3	ID.B3	individuální doprava, benzínová osobní vozidla dvoustopá s řízenými katalytickými systémy
4	ID.N	individuální doprava, naftová osobní vozidla dvoustopá
5	ID.LPG	individuální doprava, osobní vozidla jezdící na LPG
6	ID.CNG	individuální doprava, osobní vozidla jezdící na CNG
7	ID.SN	individuální doprava, osobní vozidla jezdící na směšnou naftu
8	AD.B	veřejná doprava, osobní benzínová vozidla
9	AD.N	veřejná doprava, osobní naftová vozidla
10	AD.LPG	veřejná doprava, osobní vozidla jezdící na LPG
11	AD.CNG	veřejná doprava, osobní vozidla jezdící na CNG
12	AD.SN	veřejná doprava, osobní vozidla jezdící na směšnou naftu
13	ND.B	benzínová nákladní vozidla (benzínové dodávky)
14	ND.LDV	naftová nákladní vozidla do 3,5 t
15	ND.HDV	naftová nákladní vozidla nad 3,5 t
16	ND.LPG	nákladní vozidla jezdící na LPG
17	ND.CNG	nákladní vozidla jezdící na CNG
18	ND.SN.	nákladní vozidla jezdící na směšnou naftu
19	ŽD.N	železniční vozidla jezdící na naftu
20	ŽD.SN	železniční vozidla jezdící na bionaftu
21	VD.N	plavidla s naftovými motory
22	LD.LB	letadla spalující letecký benzín
23	LD.LP	letadla spalující letecký petrolej

Z 23 kategorií uvedených v tabulce 1 jsou vybrány kategorie s rozdílnými kilometrickými proběhy, tzv. kategorie *kp*. Jedná se o tyto kategorie:

Tabulka 2. Kategorie *kp* s rozdílnými kilometrickými proběhy

Číslo	Označení	Popis kategorie
1	OD.B1	individuální doprava, benzínová osobní vozidla jednostopá
2	OD.B2	individuální doprava, benzínová osobní vozidla dvoustopá bez řízených katalytických systémů
3	OD.B3	individuální doprava, benzínová osobní vozidla dvoustopá s řízenými katalytickými systémy
15	ND.LDV	naftová nákladní vozidla do 3,5 t
16	ND.HDV	naftová nákladní vozidla nad 3,5 t

Pro každou z kategorií *kp* se vypočítá spotřeba paliva *i* (benzín u kategorií 1-3 a nafta u kategorií 15-16), postupem uvedeným v kapitole 5.1., rovnice 3. Následně jsou kalkulovány emise dle rovnice 6 uvedené v kapitole 5.3. Kilometrické proběhy musí být však nastaveny tak, aby součet spotřeb kategorií *kp* 1-3 byl shodný se spotřebou benzínu individuální dopravy

(ID) vyjádřenou z celkové spotřeby benzínu a přepravních výkonů ID (rovnice 3). Rovněž součet spotřeb kategorií *kp* 15-16 musí být shodný se spotřebou nafty silniční nákladní dopravy vyjádřenou z celkové spotřeby nafty a přepravních výkonů silniční nákladní dopravy.

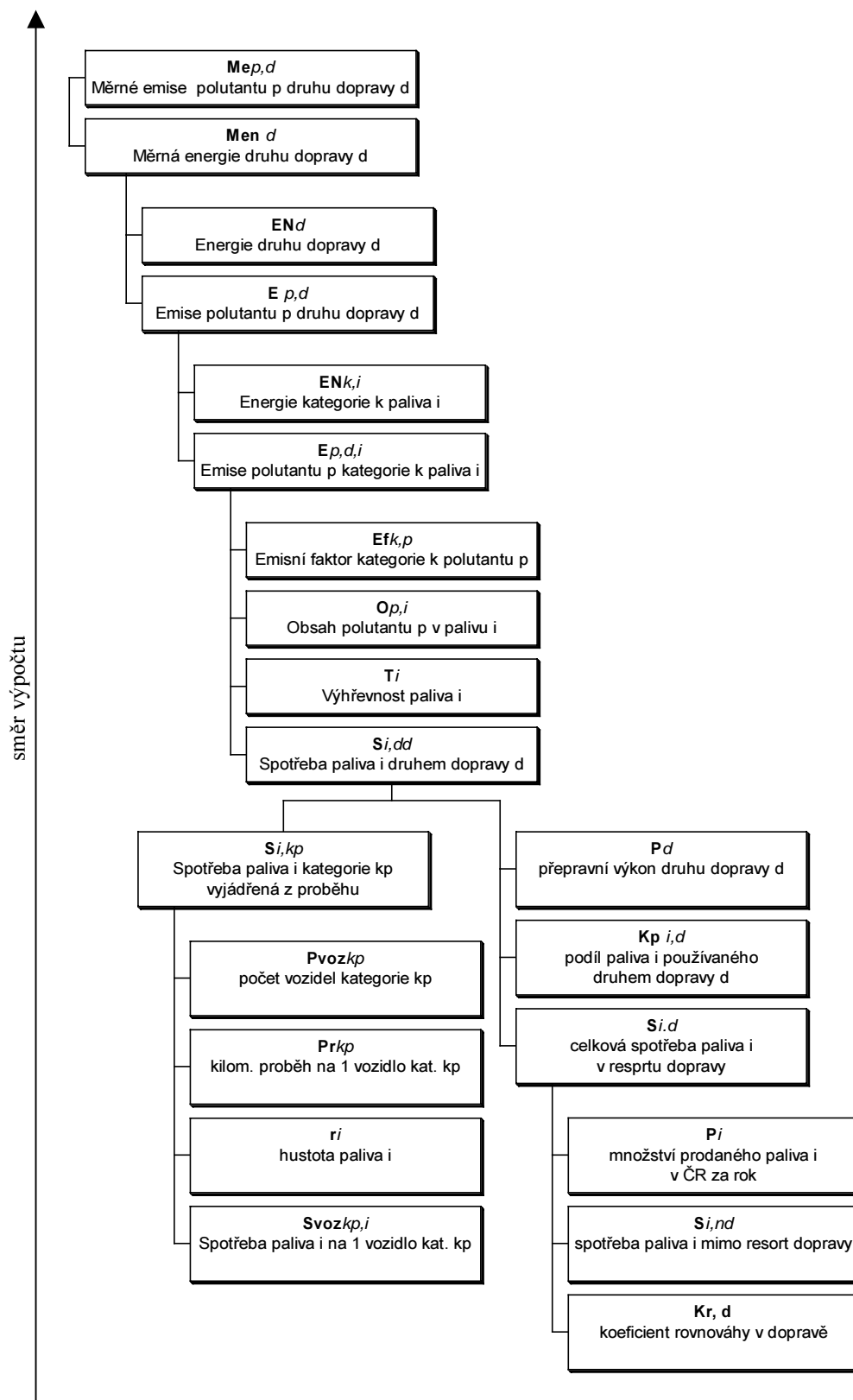
3. Rozsah polutantů

Metodika umožňuje kalkulaci emisí jakýchkoliv polutantů za předpokladu znalosti naměřených emisních faktorů, které obsahuje „Databáze emisních faktorů“ zmíněná v úvodní kapitole. Ke každé kategorii (Tabulka 1) jsou přiřazeny emisní faktory vyjádřené v g.kg⁻¹ paliva. V metodice jsou kalkulovány tyto polutanty:

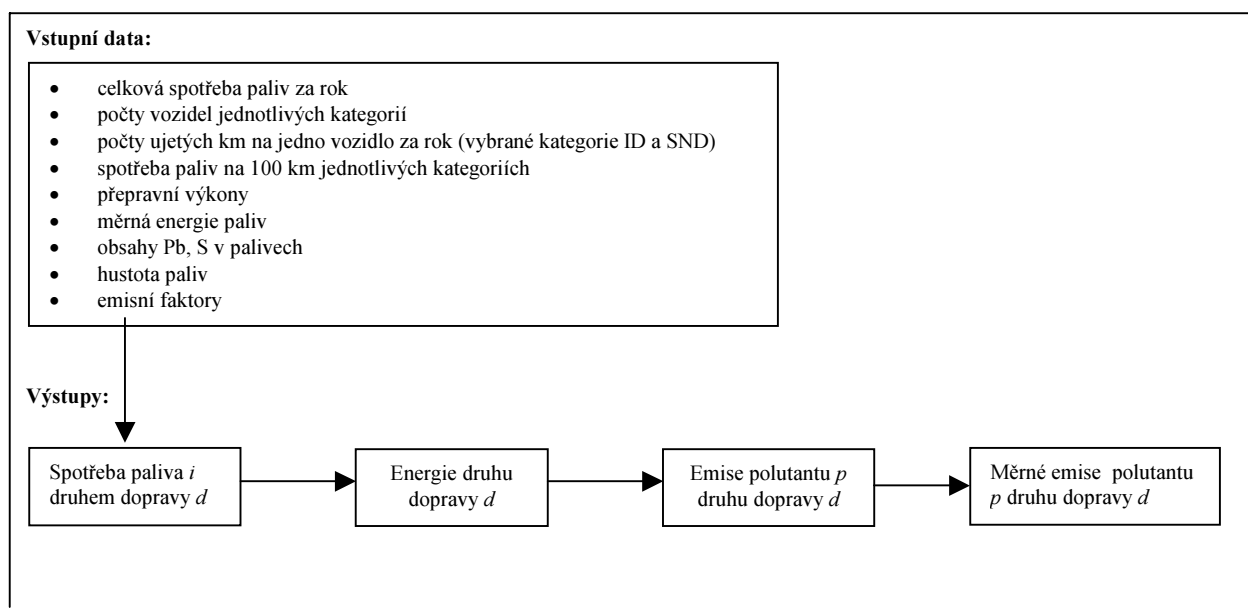
- látky přispívající k dlouhodobému oteplování atmosféry: oxid uhličitý (CO₂), metan (CH₄), oxid dusný (N₂O)
- látky s emisními limity danými legislativou: oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíku (NO_x), uhlovodíky (C_xH_y) a pevné částice (PM)
- látky nelimitované s nepříznivými zdravotními účinky: oxid siřičitý (SO₂), olovo (Pb), polyaromatické uhlovodíky (PAH) a polychlorované dibenzodioxiny (PCDD) a dibenzofurany (PCDF)

4. Schéma výpočtů

Schéma výpočtu ročních emisí



Postup stanovení roční emisní zátěže



5. Vlastní výpočtové postupy

5.1 Výpočet spotřeby

Výpočet spotřeby paliva *i* druhem dopravy *d* je první krok celého postupu. Známé množství prodaných paliv se po odpočtu spotřeby mimo dopravu upraví pomocí koeficientu *Kr*. Tento koeficient charakterizuje rovnováhu mezi palivy nakoupenými v ČR a spálenými v cizině a palivy nakoupenými v cizině a spálenými v ČR. Takto zjištěná spotřeba paliva *i* v resortu dopravy rozdělí mezi jednotlivé druhy dopravy pomocí přepravních výkonů a podílů vozidel používajících stejná paliva. Druhy dopravy se člení následovně:

Tabulka 3. Druhy dopravy, pro které je stanovena emisní bilance:

ID	individuální doprava
AD	silniční veřejná osobní doprava (mimo MHD)
SND	silniční nákladní doprava
MHD	autobusy městské hromadné dopravy
ŽD	železniční doprava motorová trakce
VD	vodní doprava
LD	letecká doprava

Kalkulace se provede odděleně pro každé palivo a každý druh dopravy, podle následujících rovnic:

$$S_{i,d} = (P_i - S_{i,nd}) \cdot Kr \quad (1)$$

$S_{i,d}$	celková spotřeba paliva <i>i</i> v resortu dopravy [kg]
P_i	množství prodaného paliva <i>i</i> v ČR [kg]
Kr	koeficient rovnováhy mezi palivy nakoupenými v ČR a spálenými v cizině a palivy nakoupenými v cizině a spálenými v ČR [rovnováha = 1]
$S_{i,nd}$	celková spotřeba paliva <i>i</i> mimo resort dopravy [kg]

Celková spotřeba paliva i v resortu dopravy se rozdělí mezi jednotlivé druhy dopravy pomocí přepravních výkonů a tzv. palivových koeficientů, které $Kp_{i,d}$, které udávají podíl zastoupení vozidel druhu dopravy d jezdících na palivo i

$$S_{i,dd} = (P_d \cdot Kp_{i,d} \cdot S_{i,d}) / \sum_{d=1}^n (P_d \cdot Kp_{i,d}) \quad (2)$$

$S_{i,dd}$	spotřeba paliva i druhem dopravy d [kg]
P_d	přepravní výkon druhu dopravy d [oskm, tkm]
$Kp_{i,d}$	palivový koeficient paliva i a druhu dopravy d (vždy ≤ 1 , $1 = 100\%$) [0-1]
$S_{i,d}$	celková spotřeba paliva i v resortu dopravy (po odpočtu spotřeby v zemědělství a odhadu spotřeby ostatních nesilničních mobilních zdrojů znečištění). [kg]

Při stanovení spotřeby nafty u železniční dopravy se vychází ze spotřeby udávané ČD a soukromými dopravci. Tyto údaje je však někdy problematické zjistit, proto je možno vyjít z celkové spotřeby a její distribuce pomocí přepravních výkonů.

Kategorie dopravy, které vykazují značně rozdílné roční kilometrické proběhy vozidel jsou uvedeny v tabulce 2. Pro výpočet spotřeby pohonných hmot v těchto kategoriích je použit vztah zohledňující rozdílné kilometrické proběhy vozidel. Spotřeba paliva i kategorií kp je tedy vyjádřena vztahem:

$$S_{i,kp} = (P_{voz_{kp}} \cdot Pr_{kp} \cdot S_{voz_{kp,i}} \cdot \rho_i) / 100 \quad (3)$$

kp	kategorie dopravy, kde jsou zohledněny kilometrické proběhy (viz tabulka 2)
$S_{i,kp}$	spotřeba paliva i kategorií kp [kg]
$P_{voz_{kp}}$	počet vozidel kategorie kp
Pr_{kp}	odhad průměrného ročního kilometrického proběhu jednoho vozidla kategorie kp [km]
$S_{voz_{kp,i}}$	spotřeba paliva i na 1 vozidlo kategorie kp [$l \cdot 100 \text{ km}^{-1}$]
ρ_i	hustota paliva i [$\text{kg} \cdot l^{-1}$]

Spotřeba paliva i kategorií kp je kalkulována podle vztahu 3 tak aby součet všech tří kategorií benzínové osobní dopravy a dvou kategorií naftové nákladní dopravy byl shodný se spotřebou kalkulovanou dle rovnice 2. Proto vždy musí platit:

$$S_{i,dd} = \sum_{kp=1}^n S_{i,kp} \quad (4)$$

kp	kategorie dopravy, kde jsou zohledněny kilometrické proběhy (viz Tabulka 2)
$S_{i,kp}$	spotřeba paliva i kategorií kp [kg]
$S_{i,dd}$	spotřeba paliva i druhem dopravy d [kg]
n	počet kategorií kp tj. 4 u benzínové osobní dopravy a 2 u naftové nákladní dopravy

5.2 Výpočet energetické náročnosti

Energie druhu dopravy d je kalkulována podle rovnice:

$$EN_d = \sum_{i=1}^n (S_{i,dd} \cdot T_i) \quad (5)$$

EN_d	energie druhu dopravy d
$S_{i,dd}$	spotřeba paliva i druhem dopravy d [kg]
T_i	energie, která vznikne při spálení 1 kg paliva i [MJ.kg ⁻¹]
n	počet druhů paliv používaných druhem dopravy d

5.3 Výpočet emisí vzniklých při spalovacím procesu

Tento způsob se uplatňuje u všech druhů látek s výjimkou Pb a SO₂. Jde především o látky: CO₂, CO, NO_x, N₂O, CH₄, NM VOC a pevné částice. Tyto emise vznikají při procesech spalování prakticky všech pohonných hmot a jsou přímo vytvářeny chemickými reakcemi. Jsou tedy přímo závislé na naměřeném množství emisí ve výfukových plynech udávaných v g.kg⁻¹ spáleného paliva. Celkový vztah má pro uvedené emise následující podobu:

$$E_{p,d} = \sum_{i=1}^n (S_{i,dd} \cdot Ef_{k,p} / 10^6) \quad (6)$$

$E_{p,d}$	celkové emise polutantu p druhu dopravy d [t]
$S_{i,dd}$	spotřeba paliva i druhem dopravy d [kg]
$Ef_{k,p}$	emisní faktor kategorie k polutantu p [g.kg ⁻¹ paliva]
n	počet druhů paliv používaných druhem dopravy d

5.4 Výpočet emisí Pb a SO₂

Postup kalkulace emisí oxidu siřičitého a olova není tak komplikovaný jako u předchozích polutantů, neboť přímo závisí na obsahu olova a síry v pohonných hmotách. V souladu s Emissions Inventory Guidebook [2] je bráno v úvahu, že veškerá síra a 75 % olova se dostane do ovzduší při spalovacím procesu.

Olovo

Olovo je součástí především olovnatých automobilových a leteckých benzínů. Od 1. 1. 2001 není již olovnatý benzín distribuován a prodáván v ČR. Bilance olova je však stále součástí emisní metodiky, neboť olovo se stále přidává do některých leteckých paliv a rovněž bezolovnatý benzín obsahuje jisté, byť minimální množství olova (ČSN připouští 0,005 g.l⁻¹). Metodika umožňuje zpětné přepočty emisí za období před rokem 2001, kdy se používal olovnatý benzín.

Základní vztah pro kalkulaci emisí olova druhem dopravy d ukazuje rovnice:

$$E_{Pb,d} = E_{Pb,d,i1} + E_{Pb,d,i2} \quad (7)$$

$E_{Pb,d}$	celkové emise olova druhu dopravy d [t]
------------	---

$E_{Pb,i,1}$	emise olova z olovnatého benzínu [t]
$E_{Pb,d,i2}$	emise olova z bezolovnatého benzínu [t]

Pro emise z olovnatého benzínu platí tento vztah:

$$E_{Pb,d,i1} = (S_{d,i1} \cdot (1 - K_{nat}) \cdot O_{Pb,i1} \cdot \rho_{i1} \cdot Ke_{Pb}) / 10^6 \quad (8)$$

$E_{Pb,d,i1}$	emise olova z druhu dopravy d , z olovnatého benzínu [t]
$S_{d,i1}$	spotřeba benzínu celkem druhem dopravy d [kg]
K_{nat}	podíl spotřeby bezolovnatého benzínu na celkové spotřebě benzínu [0-1]
$O_{Pb,i1}$	obsah olova v olovnatém benzínu [g.l ⁻¹]
ρ_{i1}	hustota olovnatého benzínu (průměr hustota benzínů Super a Special) [kg.l ⁻¹]
Ke_{Pb}	podíl vneseného olova [0-1]

Emise z bezolovnatého benzínu jsou kalkulovány podle rovnice:

$$E_{Pb,d,i2} = (S_{d,i2} \cdot K_{nat} \cdot O_{Pb,i2} \cdot \rho_{i2} \cdot Ke_{Pb}) / 10^6 \quad (9)$$

$E_{Pb,d,i2}$	emise olova z bezolovnatého benzínu [t]
$S_{d,i2}$	spotřeba benzínu celkem druhem dopravy d [kg]
K_{nat}	podíl spotřeby bezolovnatého benzínu na celkové spotřebě benzínu [0-1]
$O_{Pb,i2}$	obsah olova v bezolovnatém benzínu [g.l ⁻¹]
ρ_{i2}	hustota bezolovnatého benzínu [kg.l ⁻¹]
Ke_{Pb}	podíl vneseného olova [0-1]

Oxid siřičitý

Obdobně jako v případě emisí olova se i zde vychází z obsahu síry v palivech, která v současné době činí podle legislativy ČR max. 0,5 g.kg⁻¹ v benzínu a naftě a max. 0,2 g.kg⁻¹ v palivu LPG. Pro emise SO₂ druhu dopravy d paliva i platí rovnice :

$$E_{SO_2,d,i} = (2 \cdot S_{d,i} \cdot O_{S,i} \cdot Ke_S) / 10^6 \quad (10)$$

$E_{SO_2,d,i}$	emise oxidu siřičitého druhu dopravy d používající palivo i [t]
$S_{d,i}$	spotřeba paliva i druhem dopravy d [kg]
$O_{S,i}$	obsah síry v palivu i [g.kg ⁻¹]
Ke_S	podíl vnesené síry [0-1]
2	konstanta dána molekulovými hmotnostmi kyslíku a síry

Výsledné emise jsou presentovány formou vývojových řad za jednotlivé roky (kapitola 7 „Příklad výpočtů emisí“).

6. Využití metodiky pro emisní prognózy

Prognózy jsou založeny přímo na rozdílných scénářích rozvoje dopravy, které se promítají do sledovaných ukazatelů. Tyto ukazatele, tj. přepravní objemy a výkony, spotřeba pohonných hmot a početní stavy a skladba vozového parku v ČR jsou současně vstupními daty této metodiky. Rozdílné scénáře spotřeby pohonných hmot ukazují možné směry rozvoje dopravy jako celku. Scénáře jsou aplikovány podle standardů OECD, tj. BAU – scénář obvyklého obchodu, který předpokládá intenzivní rozvoj dopravy, nebo scénář EST, který směřuje rozvoj dopravy k trvalé udržitelnosti. Jak se přepravní práce bude rozdělovat mezi jednotlivé druhy dopravy, ukazují prognózy přepravních výkonů.

Metodika umožňuje dát konkrétní odpověď na otázku jaké parametry, objemy a energetickou bilanci by mohla mít doprava v ČR při dosažení jakékoli konkrétní emisní hodnoty. Zde se nabízí využití především při dodržování tzv. národních emisních stropů, ke kterým se ČR zavázala např. 116 kt NO_x v roce 2010. Metodika umožní specifikovat maximální hodnoty přepravních výkonů, počtů a skladby vozidel a spotřebovaných pohonných hmot, aby bylo těchto emisních stropů dosaženo.

7. Příklad výpočtu emisí NO_x a N₂O v roce 2000

7.1 Výpočet spotřeby benzínu jednotlivými kategoriemi

Spotřeba je dána vztahem:

$$S_{i,dd} = (P_{d,i} \cdot Kp_{i,d} \cdot S_{i,d}) / \sum_{d=1}^n (P_{d,i} \cdot Kp_{i,d}) \quad (2)$$

Spotřeba benzínu u individuální automobilové dopravy

Výpočet z celkové spotřeby benzínu dle rovnice 2

$$S_{i, ID} = (63640 \cdot 0,902 \cdot 2010) / ((63640 \cdot 0,902) + (9552 \cdot 0,012) + (40440 \cdot 0,178))$$

$$S_{i, ID} = 1783 \text{ tis.t.}$$

Výpočet z kilometrických proběhů dle rovnic 3 a 4

Spotřeba benzínu u individuální automobilové dopravy je vypočtena paralelně z průměrných ročních kilometrických proběhů dle rovnice 3:

$$S_{i,kp} = (P_{voz_{kp}} \cdot Pr_{kp} \cdot S_{voz_{kp,i}} \cdot \rho_i) / 100 \quad (3)$$

$$S_{i, ID, 1} = (737329 \cdot 970 \cdot 3,83 \cdot 0,765) / 100$$

$$S_{i, ID, 1} = 20,9 \text{ tis.t.}$$

$$S_{i, ID, 2} = (2085031 \cdot 3900 \cdot 9,25 \cdot 0,74) / 100$$

$$S_{i, ID, 2} = 557 \text{ tis.t.}$$

$$S_{iID,3} = (1000015 \cdot 18538 \cdot 8,5 \cdot 0,765) / 100$$

$$S_{iID,3} = 1205 \text{ tis.t.}$$

Kontrola přibližné správnosti nastavení kilometrických proběhu podle rovnice 4

$$S_{i,dd} = \sum_{kp=1}^n S_{i,kp} \quad (4)$$

$$S_{i,ID} = 20,9 + 557 + 1205$$

$$S_{i,ID} = 1783 \text{ tis.t.}$$

Tento výsledek je shodný se spotřebou ID vypočtenou z celkové spotřeby (viz předchozí strana).

Spotřeba benzínu u silniční veřejné osobní dopravy

$$S_{i,AD} = (9552 \cdot 0,0127 \cdot 2010) / ((63640 \cdot 0,902) + (9552 \cdot 0,012) + (40440 \cdot 0,178))$$

$$S_{i,AD} = 3,4 \text{ tis.t.}$$

Spotřeba benzínu u silniční nákladní dopravy

$$S_{i,SND} = (40440 \cdot 0,178 \cdot 2010) / ((63640 \cdot 0,902) + (9552 \cdot 0,012) + (40440 \cdot 0,178))$$

$$S_{i,SND} = 223 \text{ tis.t.}$$

7.2 Výpočet spotřeby nafty jednotlivými kategoriemi

Spotřeba je dána vztahem:

$$S_{i,dd} = (P_d \cdot Kp_{i,d} \cdot S_{i,d}) / \sum_{d=1}^n (P_d \cdot Kp_{i,d}) \quad (2)$$

Spotřeba nafty u individuální automobilové dopravy

$$S_{i2, ID} = (63640 \cdot 0,096 \cdot 1604) / ((63640 \cdot 0,096) + (9552 \cdot 0,984) + (40440 \cdot 0,814) + (5677 \cdot 0,970) + (6421 \cdot 1,00) + (781 \cdot 1,00))$$

$$S_{i2, ID} = 161 \text{ tis.t.}$$

Spotřeba nafty u silniční veřejné osobní dopravy

$$S_{i2, AD} = (9552 \cdot 0,984 \cdot 1604) / ((63640 \cdot 0,096) + (9552 \cdot 0,984) + (40440 \cdot 0,814) + (5677 \cdot 0,970) + (6421 \cdot 1,00) + (781 \cdot 1,00))$$

$$S_{i2, AD} = 247 \text{ tis.t.}$$

Spotřeba nafty u silniční nákladní dopravy

Výpočet spotřeby nafty z celkové spotřeby podle rovnice 2

$$S_{i2, SND} = (40440 \cdot 0,0,814 \cdot 1604) / ((63640 \cdot 0,096) + (9552 \cdot 0,984) + (40440 \cdot 0,814) + (5677 \cdot 0,970) + (6421 \cdot 1,00) + (781 \cdot 1,00))$$

$$S_{i2, SND} = 864 \text{ tis.t.}$$

Výpočet spotřeby nafty z proběhů podle rovnice 3

$$S_{i, kp} = (P_{voz_{kp}} \cdot Pr_{kp} \cdot S_{voz_{kp, i}} \cdot \rho_{ij}) / 100 \quad (3)$$

$$S_{i2, ND.LDV} = (116000 \cdot 13987 \cdot 10,9 \cdot 0,835) / 100$$

$$S_{i2, ND.LDV} = 148 \text{ tis.t.}$$

$$S_{i2, ND.HDV} = (138520 \cdot 20700 \cdot 29,9 \cdot 0,835) / 100$$

$$S_{i2, ND.HDV} = 716 \text{ tis.t.}$$

Kontrola správnosti nastavení kilometrických proběhů podle rovnice 4:

$$S_{i, d} = \sum_{kp=1}^n S_{i, kp} \quad (4)$$

$$S_{i1, ID} = 148 + 716$$

$$S_{i1, ID} = 864 \text{ tis.t.}$$

Spotřeba nafty u autobusů MHD

U MHD se dříve udávaly přepravní výkony v místových kilometrech, proto bylo nutno tyto výkony přepočítat na oskm podle odhadu vytíženosti autobusů MHD. Přepočet byl však značně nepřesný a proto bylo doporučena kontrola pomocí součtu spotřeby nafty, je-li vykazovaná všemi městskými dopravními podniky v ČR (regionu). V současné době jsou však již přepravní výkony MHD uváděny v osobových km.

$$S_{i2, MHD} = (5677 \cdot 0,970 \cdot 1604) / ((63640 \cdot 0,096) + (9552 \cdot 0,984) + (40440 \cdot 0,814) + (5677 \cdot 0,970) + (6421 \cdot 1,00) + (781 \cdot 1,00))$$

$$S_{i2, MHD} = 144 \text{ tis.t.}$$

Spotřeba nafty železniční dopravou

Spotřeba nafty železniční dopravou vypočtená z celkové spotřeby nafty se dá přibližně kontrolovat porovnáním spotřeby nafty vykazované ČD. Údaj o spotřebě se dosud neobjevil v ročence ČD a v tisku byla uvedena spotřeba 120 tis.t. Tento údaj třeba brát jako orientační.

$$S_{i2, žD} = (6421 \cdot 1,00 \cdot 1604) / ((63640 \cdot 0,096) + (9552 \cdot 0,984) + (40440 \cdot 0,814) + (5677 \cdot 0,970) + (6421 \cdot 1,00) + (781 \cdot 1,00))$$

$$S_{i2, \text{ŽD}} = 168 \text{ tis.t.}$$

Spotřeba nafty vodní dopravou

$$S_{i2, \text{VD}} = (781 \cdot 1,00 \cdot 1604) / ((63640 \cdot 0,096) + (9552 \cdot 0,984) + (40440 \cdot 0,814) + (5677 \cdot 0,970) + (6421 \cdot 1,00) + (781 \cdot 1,00))$$

$$S_{i2, \text{VD}} = 20,5 \text{ tis.t.}$$

7.3 Výpočet spotřeby LPG jednotlivými kategoriemi

Spotřeba je dána vztahem:

$$S_{i, \text{dd}} = (P_d \cdot Kp_{i,d} \cdot S_{i,d}) / \sum_{d=1}^n (P_d \cdot Kp_{i,d}) \quad (2)$$

Spotřeba LPG u individuální automobilové dopravy

$$S_{i3, \text{ID}} = (63640 \cdot 0,002 \cdot 65) / ((63640 \cdot 0,002) + (9552 \cdot 0,002) + (40440 \cdot 0,007) + (5677 \cdot 0,015))$$

$$S_{i3, \text{ID}} = 13,4 \text{ tis.t.}$$

Spotřeba LPG u silniční veřejné osobní dopravy

$$S_{i3, \text{AD}} = (9552 \cdot 0,002 \cdot 65) / ((63640 \cdot 0,002) + (9552 \cdot 0,002) + (40440 \cdot 0,007) + (5677 \cdot 0,015))$$

$$S_{i3, \text{AD}} = 2,6 \text{ tis.t.}$$

Spotřeba LPG u silniční nákladní dopravy

$$S_{i3, \text{SND}} = (40440 \cdot 0,007 \cdot 65) / ((63640 \cdot 0,002) + (9552 \cdot 0,002) + (40440 \cdot 0,007) + (5677 \cdot 0,015))$$

$$S_{i3, \text{SND}} = 38 \text{ tis.t.}$$

Spotřeba LPG u autobusů MHD

$$S_{i3, \text{MHD}} = (5677 \cdot 0,015 \cdot 65) / ((63640 \cdot 0,002) + (9552 \cdot 0,002) + (40440 \cdot 0,007) + (5677 \cdot 0,015))$$

$$S_{i3, \text{MHD}} = 10,9 \text{ tis.t.}$$

7.4 Výpočet spotřeby CNG jednotlivými kategoriemi

Spotřeba je dána opět vztahem:

$$S_{i, \text{dd}} = (P_d \cdot Kp_{i,d} \cdot S_{i,d}) / \sum_{d=1}^n (P_d \cdot Kp_{i,d}) \quad (2)$$

Spotřeba CNG u individuální automobilové dopravy

$$S_{i4, \text{ID}} = (63640 \cdot 0 \cdot 6000) / ((63640 \cdot 0) + (9552 \cdot 0,002) + (40440 \cdot 0,001) + (5677 \cdot 0,015))$$

$$S_{i4, ID} = 0,00 \text{ tis. m}^3$$

Spotřeba CNG u silniční veřejné osobní dopravy

$$S_{i4, AD} = (9552 \cdot 0,002 \cdot 6000) / ((63640 \cdot 0) + (9552 \cdot 0,002) + (40440 \cdot 0,001) + (5677 \cdot 0,015))$$

$$S_{i4, AD} = 842 \text{ tis. m}^3$$

Spotřeba CNG u silniční nákladní dopravy

$$S_{i4, SND} = (40440 \cdot 0,001 \cdot 6000) / ((63640 \cdot 0) + (9552 \cdot 0,002) + (40440 \cdot 0,001) + (5677 \cdot 0,015))$$

$$S_{i4, SND} = 1403 \text{ tis. m}^3$$

Spotřeba CNG u autobusů MHD

$$S_{i4, MHD} = (5677 \cdot 0,015 \cdot 6000) / ((63640 \cdot 0) + (9552 \cdot 0,002) + (40440 \cdot 0,001) + (5677 \cdot 0,015))$$

$$S_{i4, MHD} = 3754 \text{ tis. m}^3$$

7.5 Výpočet spotřeby směsné nafty jednotlivými kategoriemi

Údaje o spotřebě směsné nafty jednotlivými druhy dopravy jsou převzaty od "Sdružení výrobců bionafty", Mydlovary, České Budějovice [3].

Tabulka 4. Distribuce spotřeby směsné mezi jednotlivé druhy dopravy

Druh dopravy	Rok		
	1998	1999	2000
	Spotřeba směsné nafty [t]		
Doprava celkem	145 322	177 720	180 000
Individuální automobilová doprava	14 605,8	18 923,2	19 166
Silniční veřejná osobní doprava	16 666,5	20 323,4	20 584
Městská hromadná doprava - autobusy	24 467,5	29 445,2	29 823
Silniční nákladní doprava	89 582,2	108 998,8	110 397
Železniční doprava	-	29,4	150
Vodní doprava	-	-	-

7.6 Spotřeba leteckých paliv

Letecký benzín a letecký petrolej (kerosen) se používají pouze v letecké dopravě proto se zde nepoužívají žádné distribuční rovnice. K emisím z prodaných leteckých paliv se dále připočítávají ještě emise z přeletů (kapitola 8.4)

Tabulka 5. Spotřeba leteckých paliv v roce 2000

Palivo	Spotřeba (tis.t)
Letecký benzín	5
Letecký petrolej	166

7.7 Výpočet emisí NOx

Emise jsou vypočítány pomocí hodnot spotřeb pohonných hmot jednotlivými druhy dopravy, které jsou vypočteny v kapitolách 7.1. – 7.5, podle rovnice 6

$$E_{p,d} = \sum_{i=1}^n (S_{i,dd} \cdot Ef_{k,p} / 10^6)$$

Výpočet je proveden zvlášť pro všechny kategorie. U kategorií, ID.B1 – ID.B3, ND_LDV a ND_HDV (tj. kategorie *kp*) kde je spotřeba paralelně počítána také z kilometrických proběhů, se využije spotřeba zjištěná z těchto proběhů:

Tabulka 6. Výpočty emisí NO_x

Druh dopravy a palivo	Kategorie	Spotřeba [tis.t.]	Emisní faktor NO _x [g . kg ⁻¹]	Emise NO _x [t]
ID benzín	ID.B1	20,9	4,44	93
	ID.B2	557	30,21	16 815
	ID.B3	1205	4,81	5 798
ID nafta	ID.N	161	10,90	1 755
ID LPG	ID.LPG	13,4	36,80	494
ID CNG	ID.CNG	0	36,80	0
ID směsná nafta	ID.SN.	19,2	11,99	230
ID celkem				25 186
AD benzín	ID.B	3,4	34,75	120
AD nafta	ID.N	24,7	42,30	10 432
AD LPG	ID.LPG	2,6	36,80	97
AD CNG (m ³)	ID.CNG	842	36,80	31
AD směsná nafta	ID.SN.	20,6	46,53	958
AD celkem				11 639
SND benzín	ND.B	223	34,75	7 766
SND nafta	ND.LDV	148	15,80	2 333
SND nafta	ND.HDV	716	42,30	30 282
SND LPG	ND.LPG	38	36,80	1 400
SND CNG	ND.CNG	1403	36,80	52
SND směsná nafta	SND.SN.	110,4	46,53	5 137
SND celkem				46 969
MHD nafta	ID.N	144	42,30	6 111
MHD LPG	ID.LPG	10,9	36,80	401
MHD CNG	ID.CNG	3754	36,80	138
MHD. směsná nafta	ID.SN.	29,8	46,53	1 388
MHD celkem				8 037
ŽD nafta	ZD.N	168	42,30	7 125
ŽD směsná nafta (z HDV)	ZD.SN	0,1	36,80	7
ŽD celkem				7 132
VD nafta	VD.N	20,5	42,30	866
VD celkem				866
LD lbenzín	LD.LB	5	26,13	157
LD lpetrolej	LD.LP	166	12,05	2 073
Přelety	Kategorie	Délka přeletů celkem [tis. km]	PRUM Ef NO _x let [g . km ⁻¹]	Emise NO _x [t]
LD lpetrolej	LD.LP	40921	195,36	7 994
LD celkem				10 224
Doprava celkem				110054 t

7.8 Výpočet emisí N₂O

Emise jsou rovněž vypočítány podle rovnice 6:

n

$$E_{p,d} = \sum_{i=1} (S_{i,d} \cdot Ef_{k,p} / 10^6)$$

Výpočet je proveden obdobně jako u ostatních oxidů dusíku. U nesilniční dopravy nebyly hodnoty N₂O měřeny a proto jsou kvalifikovaně odhadnuty pomocí průměrného poměru NO_x a N₂O u silniční dopravy:

Tabulka 7. Výpočty emisí N₂O

Druh dopravy a palivo	Kategorie	Spotřeba [tis.t.]	Emisní faktor N ₂ O [g . kg ⁻¹]	Emise N ₂ O [t]
ID benzín	ID.B1	20,9	0,059	1,2
	ID.B2	557	1,166	649
	ID.B3	1205	4,497	5 421
ID nafta	ID.N	161	0,165	27
ID LPG	ID.LPG	13,4	0,000	0
ID CNG	ID.CNG	0	0,000	0
ID směsná nafta	ID.SN.	19,2	0,000	0
ID celkem				6098
AD benzín	ID.B	3,4	0,048	0
AD nafta	ID.N	24,7	0,122	30
AD LPG	ID.LPG	2,6	0,000	0
AD CNG (m ³)	ID.CNG	842	0,000	0
AD směsná nafta	ID.SN.	20,6	0,000	0
AD celkem				30
SND benzín	ND.B	223	0,048	11
SND nafta	ND.LDV	148	0,188	28
SND nafta	ND.HDV	716	0,122	87
SND LPG	ND.LPG	38	0,000	0
SND CNG	ND.CNG	1403	0,000	0
SND směsná nafta	SND.SN.	110,4	0,000	0
SND celkem				126
MHD nafta	ID.N	144	0,122	18
MHD LPG	ID.LPG	10,9	0,000	0
MHD CNG	ID.CNG	3754	0,000	0
MHD. směsná nafta	ID.SN.	29,8	0,000	0
MHD celkem				18
ŽD nafta	ZD.N	168	0,122	21
ŽD směsná nafta (z HDV)	ZD.SN	0,1	0,000	0
ŽD celkem				21
VD nafta	VD.N	20,5	0,122	2
VD celkem				2
LD lbenzín	LD.LB	5	1,440	9
LD lpetrolej	LD.LP	166	1,440	248
Přelety	Kategorie	Délka přeletů celkem [tis. km]	PRUM Ef N ₂ O let [g . km ⁻¹]	Emise N ₂ O [t]
LD lpetrolej	LD.LP	40921	nest.	nest.
LD celkem				256
Doprava celkem				6551 t

8. Emisní faktory

Zásadní rozdíl této metodiky oproti dřívějšímu způsobu výpočtu spočívá právě ve způsobu stanovení emisních faktorů. Původní metodika uplatňuje výpočtový postup, který vychází z tzv. měrných hodnot emisí (g.km⁻¹) pro osobní automobily a dodávky, podíly

vozidel rozdělené na kategorie A, B, C a D, součinitele zvýšení či snížení emisí aj. [4]. Nově navržená metodika vychází přímo ze změřených hodnot emisních faktorů uváděných v g.kg^{-1} paliva.

Emisní faktory (E_f), zpracované v databázi MS Access, tvoří nedílnou součást této metodiky. Pro stanovení celkových emisí jednotlivých kategorií vozidel silniční, železniční a vodní dopravy jsou využívány aritmetické průměry. Při stanovení průměrných emisních faktorů letecké dopravy je ke každému E_f přiřazena váha, která odráží zastoupení příslušného letového režimu na celém letu. Z hodnot vah a E_f jsou vypočítány vážené průměry pro jednotlivé polutanty.

Pro nedostatek dat E_f směsné nafty je přejímán poznatek, že směsná nafta produkuje 80 % emisí CO a VOC, 110 % emisí NO_x a 40 % emisí PM oproti klasické naftě.

8.1 Silniční doprava

K dispozici je rozsáhlý soubor naměřených hodnot nových i starších vozidel v různých jízdních režimech, které jsou statisticky zpracovány. K silniční dopravě patří celkem 18 kategorií z celkově sledovaných 23 (Tabulka 1). Hodnoty dosazené do rovnice 6 jsou průměry všech známých měření. Jsou-li k dispozici rozdělené E_f podle režimu jízdy, vychází se z poměrů dálničního, silničního a městského režimu.

8.2 Železniční doprava

V železniční dopravě je nedostatek spolehlivých naměřených dat v g.kg^{-1} paliva, většina dat je z oblasti emisí nových hnacích vozidel, vyjádřených v g.kWh^{-1} , což je pro tuto metodiku prakticky nepoužitelné. Proto jsou prozatím využívána data o těžkých nákladních vozidlech (HDV), které mají obdobné diesellové motory jako lokomotivy.

8.3 Vodní doprava

Ve vodní dopravě je akutní nedostatek měření emisí v požadovaných jednotkách g.kg^{-1} paliva. Z tohoto důvodu jsou rovněž využívány emisní faktory těžkých nákladních vozidel.

8.4 Letecká doprava

V letecké dopravě se vychází ze zastoupení jednotlivých fází letu. Pro detailní zhodnocení je rozlišováno celkem 9 stavů provozu [5]: start, rozjezd, vzlet, stoupání, vlastní let v letové hladině x , sestup, přistání, dojezd a pozemní operace. Tyto provozní stavy jsou v praxi shrnuty do 2 základních režimů:

- režim LTO zahrnující vzlety a přistání
- režim CRUISE – let v konstantní letové hladině x .

Emisní faktory jsou uváděny pro každý režim zvlášť. Pro dosazení do rovnice 5 se využívá vážený průměr, při respektování zastoupení délky jednotlivých režimů na celém letu. Z celkového počtu 30 typů letounů bylo vybráno 20. Toto vybrané spektrum odráží nejběžnější typy letounů, které mohou statisticky ovlivnit průměry.

Emise z přeletů

V nové metodice, která vychází ze spotřeby pohonných hmot, se předpokládá přibližná rovnováha mezi množstvím pohonných hmot nakoupených v ČR a spálených v cizině a množstvím pohonných hmot nakoupených v cizině a spálených v ČR, což umožňuje vycházet ze statistik prodaných paliv. Tento předpoklad však neplatí u letecké dopravy, kde kromě emisí ze „zdrojových“ a „cílových“ letů jsou polutanty také emitovány při přeletech ČR. Spotřeba paliv při přeletech není součástí žádné evidence.

Proto je zde nutno vyjít z délek přeletů a příslušných emisních faktorů letového režimu, uváděných v g.km^{-1} . Tyto faktory však nejsou přímo měřeny ani uváděny ve specializovaných odborných publikacích a proto používáme přepočtení uvedené v databázi emisních faktorů ICAO [5], který vychází z: emisních faktorů uvedených v g.kg^{-1} paliva v režimu letu (tzv. CRUISE), letové výšky (CRALT) a spotřeby paliva v kg.km^{-1} v režimu letu.

Emisní faktory v g.kg^{-1} paliva a spotřeba paliv jednotlivých typů letounů jsou součástí zmíněné databáze ICAO. Spotřeba v režimu CRUISE však není vyjádřena přímo v uvedené jednotce kg.km^{-1} nýbrž pomocí bezrozměrných koeficientů $b_0 - b_3$. Tyto koeficienty se převádí na spotřebu pomocí následujícího vztahu:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2 + b_3 \cdot x^3 \quad (11)$$

Y	spotřeba paliva v režimu letu CRUISE [kg.km^{-1}]
b_0-b_3	koeficienty stanovené pro každý typ letounu
x	letová výška CRALT [km]

Po výpočtu spotřeby Y [kg.km^{-1}] následují výpočty emisních faktorů v g.km^{-1} . Emisní faktor polutantu p je tedy dán vztahem:

$$Ef_{p,LET2} = Ef_{p,LET1} \cdot Y \quad (12)$$

$Ef_{p,LET2}$	emisní faktor polutantu p v režimu letu CRUISE [g.km^{-1}]
$Ef_{p,LET1}$	emisní faktor polutantu p v režimu letu CRUISE [g.kgpal^{-1}]
Y	spotřeba paliva v režimu letu CRUISE [kg.km^{-1}]

Finální vztah pro emise z přeletů je následující:

$$E_{p,LET} = (P_{LET} \cdot L_{LET} \cdot Ef_{p,LET2} / 10^6) \quad (13)$$

$E_{p,LET}$	roční emise polutantu p z přeletů [t]
P_{LET}	počet přeletů ČR za rok
L_{LET}	průměrná délka jednoho přeletu [km]
$Ef_{p,LET}$	emisní faktor polutantu p v režimu letu [g.km^{-1}]

Pro celkovou bilanci emisí z letecké dopravy se emise z přeletů připočítají k emisím vzniklým při spálení leteckých paliv prodaných v ČR

9. Přetrvávající nejistoty

Veškeré nejistoty se týkají kvality a věrohodnosti vstupních dat. Zejména v oblasti emisních faktorů jsou k dispozici v současné době velmi rozdílné údaje z různých zdrojů, lišící se až o desítky procent. U některých kategorií, především vodní dopravy, alternativních paliv prakticky chybí věrohodná data vyjádřená v g.kg^{-1} paliva.

Zdrojem nejistot jsou také hodnoty Pr_{kp} , tj. průměrný roční kilometrický proběh připadající na 1 vozidlo kategorie kp . Tyto hodnoty jsou zatím odhadovány za pomoci vzorku sledovaných vozidel, chybí podrobnější sledování. Odhadované proběhy jsou však kontrolovány tak, že součet spotřeb všech kategorií kp vypočítaný z hodnot Pr_{kp} , musí být shodný se spotřebou vypočítanou z údajů o celkové spotřebě a přepravních výkonech. Další kontrola kilometrických proběhů spočívá v tom, že vzájemné poměry jednotlivých kategorií vozidel v provozu musí odpovídat poměrům zjištěným při celostátním sčítání dopravy.

Další nejistotou jsou přepravní výkony použity zde k distribuci spotřeby pohonných hmot mezi jednotlivé druhy dopravy. Nejistota spočívá v rozdílných jednotkách osobní a nákladní dopravy silniční, železniční, vodní i letecké, tj. oskm a tkm, místové km u autobusů MHD. Vhodnější je dosazovat přímo počet ujetých vozokm u silniční dopravy, případně vlako-kilometrů u železniční dopravy. V této souvislosti je však nutné si uvědomit, že výsledné emise již přímo nezávisí na přepravních výkonech a tyto jsou použity „pouze“ k uvedené distribuci. Částečná kontrola je možná u železniční dopravy, porovnáme-li spotřebu nafty vykazovanou ČD a spotřebu nafty v železniční dopravě zjištěnou pomocí přepravních výkonů a údajů o prodeji nafty v ČR. Byly zjištěny minimální rozdíly: 121,3 tis. t za rok 1999 vychází z výpočtu, zatímco ČD publikovaly v tisku 120 tis.t. V roce 2000 však byl zjištěn nárůst na přibližně 160 tis.t, což je dáno růstem přepravních výkonů železniční dopravy.

Nejistotou zůstává rovněž spotřeba pohonných hmot (a tím i emise) z nedopravních zdrojů. Nejlépe je známa spotřeba nafty v resortu zemědělství, kde jsou k dispozici příslušné studie. Není známa centrální evidence spotřeby nafty v armádě, stavebnictví, ani se nijak neeviduje vzrůstající spotřeba benzínu v domácnostech (sekačky na trávu, malotraktory, aj.). Kvalifikované odhady spotřeby benzínu mimo dopravu se pohybují přibližně na úrovni 0,01 %. Spotřeba nafty mimo dopravu a zemědělství je prozatím odhadována na 1-3 % z celkové spotřeby.

10. Možnosti aplikace metodiky

Metodika je vhodná především pro stanovení emisí na celostátní úrovni a jejich prognózy v časovém horizontu. Je však možno ji využít i na regionální úrovni, pro stanovení emisí na úrovni okresů, krajů. Nutné je však znát vstupní data, tj. především spotřeby, přepravní výkony a složení vozového parku a zastoupení nesilniční dopravy v okresu (kraji).

11. Závěr

Metodiku lze chápat jako ukončenou v oblasti výpočtových postupů, ale nikoli v oblasti přesnosti vstupních dat. To se týká zejména emisních faktorů, které jsou velmi nehomogenní. Důvodem je několik zdrojů, které se od sebe navzájem značně liší. Jejich databázové a

statistické zpracování s cílem vyloučit největší odchylky a realizovat další doplňující měření jsou jedním z témat nového výzkumného projektu.

V současné době probíhá zpřesňování vstupních údajů, především v oblasti přetrvávajících nejistot, uváděných v kapitole 9. Stále je doplňována databáze emisních faktorů o nová data, zejména v oblastech, kde není dostatek spolehlivých měření (nesilniční doprava, alternativní paliva, dosud málo sledované polutanty). Emisní faktory (Ef) jsou dále sledovány včetně režimu a rychlosti jízdy, druhu, kategorie a stáří vozidla, datového zdroje, jednotky, apod. Ef jsou statisticky vyhodnocovány z hlediska průměrů a odchylek, v případě významných rozdílů se přistupuje k realizaci dalších měření. Sledování emisních faktorů je náplní projektu VaV „Výzkum zátěže životního prostředí z dopravy“.

Podrobně se sleduje spotřeba paliv ostatními mobilními zdroji, tj. v zemědělství, lesnictví, stavebnictví a armády, pro přesnější vyjádření spotřeby paliv dopravou. Vzhledem k tomu, že se pro stanovení „nedopravních“ emisí používají jiné postupy (např. MZe ČR vychází z výměry obdělávaných ploch) nejsou výpočty emisí z ostatních mobilních zdrojů součástí této metodiky.

Literatura

- [1] DUFEK J., ADAMEC V., KLUSTOVÁ P., CHOLAVA R., HUZLÍK J., MAREŠOVÁ V., MARVANOVÁ S. *Stabilizace a postupné snižování zátěže životního prostředí z dopravy v České republice (výroční zpráva za rok 2001)*. Brno: CDV, 2002.
- [2] EUROPEAN ATMOSPHERIC EMISSION INVENTORY GUIDEBOOK. Corinair, 1999.
- [3] PALÁN, J. *Problematika využití bionafty v dopravě*. Podkladový materiál pro MDS ČR. CDV Brno, 2000
- [4] SVOBODA F., TŘÍSKA V., NOVOTNÝ Z. *Stabilizace a postupné snižování zátěže životního prostředí z dopravy v České republice (výroční zpráva za rok 1996)*. Brno: CDV, 1997.
- [5] KALIVODA M. *Methodologies for estimating emissions from air traffic*. COST 319 Action, 1998.