



ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
STAVEBNÁ FAKULTA
Katedra cestného staviteľstva



ANALÝZA METÓD VYHODNOCOVANIA ZNEČIŠŤOVANIA OVZDUŠIA Z CESTNEJ DOPRAVY



Rozborová úloha

Žilina, september 2014

ANALÝZA METÓD VYHODNOCOVANIA ZNEČISŤOVANIA OVZDUŠIA Z CESTNEJ DOPRAVY

Obstarávateľ: **Slovenská správa ciest Bratislava**
Miletičova 19, P.O. BOX 19, 826 19 Bratislava

Spracovateľ: **Stavebná fakulta Žilinskej univerzity v Žiline**
Katedra cestného staviteľstva
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina

Doc. Ing. Daniela Ďurčanská, CSc.
daniela.durcanska@fstav.uniza.sk
Ing. Dušan Jandačka, PhD.
dusan.jandacka@fstav.uniza.sk

EVITECH Trenčín, s.r.o.
J. Kráľa 1097/16, 911 01 Trenčín

Ing. Marcel Ochodnický
ochodnický@envitech.sk

Žilina, september 2014

Obsah

1	ZÁKLADNÉ ÚDAJE.....	5
1.1	ÚVODNÉ USTANOVENIE.....	5
1.2	SPRACOVATELIA ROZBOROVEJ ÚLOHY	5
2	RIEŠENIE PREDMETU VÝSKUMNÉHO PROJEKTU	5
2.1	ÚVOD	5
2.2	SÚVISIACE A CITOVANÉ PRÁVNE PREDPISY	5
2.3	SÚVISIACE A CITOVANÉ NORMY.....	6
2.4	SÚVISIACE A CITOVANÉ TECHNICKÉ PREDPISY.....	6
2.5	POUŽITÉ SKRATKY.....	7
2.6	ZÁKLADNÉ TERMÍNY A DEFINÍCIE	8
2.7	ÚČEL HODNOTENIA ZNEČISŤOVANIA OVZDUŠIA.....	9
2.7.1	<i>Monitoring a životné prostredie</i>	<i>11</i>
2.8	LEGISLATÍVA A ZNEČISTENIE OVZDUŠIA Z CESTNEJ DOPRAVY	15
2.8.1	<i>Zákon a vyhláška o ovzduší na Slovensku.....</i>	<i>15</i>
2.8.2	<i>Zákon a vyhláška o ovzduší v Českej republike.....</i>	<i>16</i>
2.8.3	<i>Zákon o ochrane pred imisiami, hlukom, vibráciami a inými vplyvmi v Nemecku</i>	<i>16</i>
3	TEORETICKÉ PREDPOKLADY	17
3.1	STABILITA A LABILITA ATMOSFÉRY	17
3.2	ROZPTYL ZNEČISŤUJÚCICH LÁTKO PO ÚNIKU ZO ZDROJA.....	19
3.3	FYZIKÁLNE ZMENY ZNEČISŤUJÚCICH LÁTKO.....	20
3.4	CHEMICKÉ ZMENY ZNEČISŤUJÚCICH LÁTKO.....	21
3.5	ROZDELENIE LÁTKO ZNEČISŤUJÚCICH OVZDUŠIE	21
3.6	DOPRAVNÁ PREVÁDZKA A ŽIVOTNÉ PROSTREDIE	27
4	EKOTOXIKOLOGICKÉ RIZIKÁ VYBRANÝCH ZNEČISŤUJÚCICH LÁTKO PRODUKOVANÝCH DOPRAVOU	29
4.1	ANORGANICKÉ LÁTKY	29
4.1.1	<i>Oxid uhoľnatý (CO)</i>	<i>29</i>
4.1.2	<i>Oxid uhličitý (CO₂).....</i>	<i>29</i>
4.1.3	<i>Oxidy dusíka (NO_x).....</i>	<i>30</i>
4.1.4	<i>Tuhé častice (PM).....</i>	<i>30</i>
4.1.5	<i>Oxid siričitý (SO₂)</i>	<i>32</i>
4.1.6	<i>Ozón (O₃)</i>	<i>32</i>
4.1.7	<i>Olovo (Pb).....</i>	<i>32</i>
4.2	ORGANICKÉ LÁTKY.....	33
4.2.1	<i>Benzén</i>	<i>33</i>
4.2.2	<i>Toluén</i>	<i>33</i>
4.2.3	<i>MTBE</i>	<i>33</i>
5	ROZBOR VYKONANÝCH MERANÍ ÚROVNE ZNEČISTENIA OVZDUŠIA	34
5.1	HODNOTENIE MIERY ZNEČISTENIA OVZDUŠIA	34
5.1.1	<i>Hodnotenie miery znečistenia ovzdušia podľa US EPA.....</i>	<i>35</i>
5.1.2	<i>Hodnotenie miery znečistenia ovzdušia podľa CAQI – Európsky index kvality ovzdušia ...</i>	<i>37</i>
5.1.3	<i>Hodnotenie miery znečistenia ovzdušia vo Veľkej Británii</i>	<i>38</i>
5.1.4	<i>Hodnotenie miery znečistenia ovzdušia v Nemecku.....</i>	<i>39</i>
5.1.5	<i>Hodnotenie miery znečistenia ovzdušia v Rakúsku</i>	<i>39</i>
5.1.6	<i>Hodnotenie kvality znečistenia ovzdušia v Poľsku.....</i>	<i>40</i>
5.1.7	<i>Hodnotenie kvality znečistenia ovzdušia v ČR</i>	<i>40</i>

5.1.8	<i>Hodnotenie kvality znečistenia ovzdušia na Slovensku</i>	41
5.2	HODNOTENIE ÚROVNE ZNEČISTENIA OVZDUŠIA V ZMYSLE TECHNICKÉHO PREDPISU MDVRR	41
5.3	ANALÝZA MERANIA ZNEČISTENIA OVZDUŠIA PRI VÝSTAVBE DIAŤNIC	43
5.3.1	<i>Vyhodnotenie monitoringu podľa Indexu kvality ovzdušia</i>	45
5.4	ZÁVERY A ODPORÚČANIA Z ANALÝZY MONITORINGOV	46
6	EXPERIMENTÁLNE MERANIA V TERÉNE	48
6.1	EXPERIMENTÁLNE MERANIA PRI DIAŤNICI D1 – VPLYV VZDIALENOSTI MONITOROVACEJ STANICE OD CESTNEJ KOMUNIKÁCIE (CK) NA ZISŤOVANÉ KONCENTRÁCIE ZNEČISŤUJÚCICH LÁTKO	52
6.2	EXPERIMENTÁLNE MERANIA PRI DIAŤNIČNOM PRIVÁDZAČI ŽILINA, STRÁŽOV – VPLYV PROTIHLUKOVEJ STENY (PHS) NA ŠÍRENIE ZNEČISTENIA OVZDUŠIA OD CESTNEJ DOPRAVY	61
6.3	ZHODNOTENIE EXPERIMENTÁLNYCH MERANÍ.....	69
7	KVANTIFIKÁCIA ZDROJA A ZLOŽENIA SUSPENDOVANÝCH ČASTÍC V OVZDUŠÍ	70
7.1	MERANIE TUHÝCH ČASTÍC REALIZOVANÉ V BRNE.....	70
7.2	MERANIE TUHÝCH ČASTÍC REALIZOVANÉ V ŽILINE.....	72
7.3	MERANIE TUHÝCH ČASTÍC REALIZOVANÉ V ZAHRANIČÍ.....	74
7.3.1	<i>Merania realizované v Agre</i>	74
7.3.2	<i>Merania realizované v New Jersey</i>	75
8	KOMPARÁCIA PREDIKČNÝCH MODELOV IMISIÍ Z CESTNEJ DOPRAVY	75
8.1	SOFTVÉRY NAJČASTEJŠIE POUŽÍVANÉ V SR	76
8.2	ZHODNOTENIE SOFTVÉROV PRE SPRACOVÁVANIE IMISNÝCH ŠTÚDIÍ	80
9	ZÁVEREČNÉ ODPORÚČANIA	80
9.1	ODPORÚČANIA PRE UMIESTNENIE MONITOROVACÍCH ZARIADENÍ.....	80
9.2	ODPORÚČANIE PRE ANALÝZY REALIZOVANÝCH MONITORINGOV	82
9.3	ODPORÚČANIE PRE SPRACOVÁVANIE IMISNÝCH ŠTÚDIÍ	82
9.4	VYHODNOTENIE EXPERIMENTÁLNYCH MERANÍ A ODPORÚČANIA PRE MONITORING	82
10	POUŽITÉ A CITOVANÉ MATERIÁLY	83

1 Základné údaje

1.1 Úvodné ustanovenie

Predkladaná rozborová úloha *Analýza metód vyhodnocovania znečisťovania ovzdušia z cestnej dopravy* bola spracovaná na základe objednávky č. O-435/2200/2013 zo dňa 03.06.2013. Riešenie úlohy bolo rozdelené na dve etapy, cieľom prvej bola príprava teoretických predpokladov, spracovanie analýzy už uskutočnených monitoringov, cieľom druhej etapy bolo vykonanie súbežných meraní dvoch meracích staníc za účelom porovnania vplyvu výberu meracieho stanovišťa a spracovanie odporúčaní z vykonaných vyhodnotení a analýz.

Záverový rozborový úlohy majú prispieť ku skvalitneniu etapy prípravy projektovej dokumentácie, procesu monitoringu ovzdušia, ale predovšetkým pre ďalšie využitie výsledkov monitoringu.

1.2 Spracovatelia rozborovej úlohy

Rozborovú úlohu spracováva Stavebná fakulta Žilinskej univerzity v Žiline, Katedra cestného staviteľstva - doc. Ing. Daniela Ďurčanská, CSc. a Ing. Dušan Jandačka, PhD. v spolupráci s firmou ENVitech Trenčín, s.r.o. - Ing. Marcel Ochodnický.

2 Riešenie predmetu výskumného projektu

2.1 Úvod

Najväčší podiel na emisiách a látkach znečisťujúcich životné prostredie v rámci dopravnej prevádzky v SR predstavuje cestná doprava, individuálna automobilová doprava a nákladná doprava, ktoré predstavujú až 87 % celkového objemu emisií.

Rezort dopravy si v súlade so zásadami trvalo udržateľného rozvoja vytýčil v rámci dopravnej politiky SR globálny cieľ, ktorým je trvalo udržateľná mobilita. Môžeme ju definovať ako dlhodobé zabezpečenie neustále narastajúcich prepravných potrieb spoločnosti (prepravy tovarov a osôb) v požadovanom čase a kvalite, s maximálnou efektívnosťou, pri súčasnom znižovaní negatívnych účinkov dopravy na životné prostredie a zdravie obyvateľov.

Trasovanie a výstavba dopravnej infraštruktúry, vychádzajúca z prepravných požiadaviek spoločnosti, je podmienená miestnym územným členením a charakterom územia (napríklad chránené územia). V SR tvoria chránené územia a siete území európskeho významu NATURA 2000 približne jednu pätinu územia SR, čo vplyva na vedenie dopravných koridorov. Cieľom zosúladením všetkých faktorov pri územnom plánovaní vrátane plánovania dopravnej infraštruktúry (efektívnym využitím územia) a rešpektovaním špecifických daností regiónu je snaha doceliť trvalo udržateľný charakter životného prostredia.

V procese projektovania dopravnej infraštruktúry v snahe eliminovať negatívne vplyvy dopravnej infraštruktúry na okolitú krajinu, samotnej výstavbe predchádza posudzovanie projektu každej dopravnej stavby v procese EIA (Environment Impact Assessment), v zmysle zákona Národnej rady SR č. 24 / 2006 Z. z. o posudzovaní vplyvov na životné prostredie v znení neskorších predpisov.

Konkrétna informácia o vplyvoch dopravy na životné prostredie vychádza z monitoringu vplyvov dopravy na životné prostredie pred výstavbou, počas výstavby aj po uvedení stavby do prevádzky, ktorý zákon o posudzovaní vplyvov na životné prostredie požaduje.

2.2 Súvisiace a citované právne predpisy

[Z1] Zákon č. 137/2010 Z. z. o ovzduší v znení neskorších predpisov;

- [Z2] Zákon č. 24/2006 Z. z. o posudzovaní vplyvov na životné prostredie v znení neskorších predpisov;
- [Z3] Zákon č. 17/1992 Zb. o životnom prostredí v znení neskorších predpisov;
- [Z4] Zákon č. 50/1976 Zb. o územnom plánovaní a stavebnom poriadku (stavebný zákon) v znení neskorších predpisov;
- [Z5] Vyhláška MPŽPRR SR č. 360/2010 Z. z. o kvalite ovzdušia v znení neskorších predpisov;
- [Z6] Vyhláška MŽP SR č. 410/2012 Z. z. ktorou sa vykonávajú niektoré ustanovenia zákona o ovzduší;
- [Z7] Vyhláška MŽP SR č. 411/2012 Z. z. o monitorovaní emisií zo stacionárnych zdrojov znečisťovania ovzdušia a kvality ovzdušia v ich okolí;
- [Z8] Zákon NR ČR č. 201/2012 o ochrane ovzduší v znení neskorších predpisov;
- [Z9] Vyhlášky MŽP ČR č. 330/2012 o spôsobu posudzovania a vyhodnocení úrovne znečistenia, rozsahu informovania verejnosti o úrovni znečistenia a pri smogových situáciách.

2.3 Súvisiace a citované normy

STN 73 6100	Názvoslovie pozemných komunikácií
STN 73 6101	Projektovanie ciest a diaľnic
STN 73 6110	Projektovanie miestnych komunikácií
STN 83 4501	Ochrana ovzdušia. Základné termíny a definície
STN 83 5510	Ochrana ovzdušia. Vonkajšie ovzdušie. Odber vzoriek a metaúdaje na hodnotenie kvality vonkajšieho ovzdušia. Všeobecné požiadavky
STN EN 12341 (83 5614)	Ochrana ovzdušia. Určenie frakcie PM ₁₀ poletujúcich častíc. Referenčná metóda a skúšobné postupy v teréne na dôkaz referenčnej rovnocennosti meracích metód
STN EN 14211 (83 5726)	Ochrana ovzdušia. Vonkajšie ovzdušie. Štandardná chemiluminiscenčná metóda merania koncentrácií oxidu dusičitého a oxidu dusnatého.
STN EN 14212 (83 5727)	Ochrana ovzdušia. Vonkajšie ovzdušie. Štandardná ultrafialová fluorescenčná metóda merania koncentrácie oxidu siričitého
STN EN 14625 (83 5724)	Ochrana ovzdušia. Vonkajšie ovzdušie. Štandardná ultrafialová fotometrická metóda merania koncentrácií ozónu
STN EN 14626 (83 5725)	Ochrana ovzdušia. Vonkajšie ovzdušie. Štandardná nedisperzná infračervená spektroskopická metóda merania koncentrácií oxidu uhoľnatého
STN EN 14907 (83 5615)	Ochrana ovzdušia. Vonkajšie ovzdušie. Štandardná gravimetrická metóda merania na zisťovanie hmotnostnej frakcie PM _{2,5} suspendovaných častíc
STN ISO 9359 (83 5512)	Ochrana ovzdušia. Stratifikačná metóda odberu vzoriek na hodnotenie kvality vonkajšieho ovzdušia
STN ISO 10473 (83 5612)	Ochrana ovzdušia. Vonkajšie ovzdušie. Meranie hmotnosti tuhých častíc zachytených na filtri. Metóda absorpcie žiarenia beta

2.4 Súvisiace a citované technické predpisy

- [T1] TP 13/2011 Príručka monitoringu vplyvu cestných komunikácií na životné prostredie, MDVRR SR:2011;
- [T2] TP 03/2006 Dokumentácia stavieb ciest + prílohy 01 - 14, MDPT SR: 2007;
- [T3] TKP časť 0 Všeobecne, MDVRR SR : 2012.

2.5 Použité skratky

AMS	automatická monitorovacia stanica
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČMS	čiasťkový monitorovací systém
EEA	Európska environmentálna agentúra (European Environment Agency)
EIA	posudzovanie vplyvov činností na životné prostredia (Environmental Impact Assessment)
EMAS	Systém environmentálneho manažmentu a auditu
EMEP	stanice sledovania diaľkového znečisťovania ovzdušia
EPA	Environmental Protection Agency, Agentúra pre ochranu ŽP, USA
IM _i	označenie miesta imisného monitoringu
ISM	Informačný systém monitoringu
LZO	látky znečisťujúce ovzdušie
MDVRR SR	Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky
MPŽPRR SR	Ministerstvo pôdohospodárstva, životného prostredia a regionálneho rozvoja SR
MTBE	metyl-terc-butyléter (aditívum)
MZ SR	Ministerstvo zdravotníctva Slovenskej republiky
MŽP SR	Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky
NEIS	Národný emisný inventarizačný systém
NMSKO	Národná monitorovacia sieť kvality ovzdušia
PHS	protihluková stena
REZZO	Register emisií a zdrojov znečisťovania ovzdušia
SAŽP	Slovenská agentúra životného prostredia
SEA	posudzovanie vplyvov strategických dokumentov (Strategic Environmental Assessment)
SHMÚ	Slovenský hydrometeorologický ústav
SR	Slovenská republika
SSÚD	stredisko správy a údržby diaľnic
SSÚR	stredisko správy a údržby rýchlostných ciest
STN	Slovenská technická norma
SÚ	sídelný útvar
TP	technické podmienky
TZL	tuhé znečisťujúce látky
UN ECE	United Nations Economic Commission, Hospodárska komisia OSN
ÚVZ	Úrad verejného zdravotníctva
WHO	World Health Organization, Svetová zdravotnícka organizácia
ZL	znečisťujúce látky
ŽP	životné prostredie

Označenie indexu kvality ovzdušia

API	Air Pollution Index (Veľká Británia - index kvality ovzdušia)
AQI	Air Quality Index (USA - index kvality ovzdušia)
CAQI	Common Air Quality Index (EÚ, projekt CITEAIR – spoločný index kvality ovzdušia)
IKO	Index kvality ovzdušia (Česko)

IZO	Index znečistenia ovzdušia (Slovensko)
LaQx	Langzeit-Luftqualitätsindex (Nemecko - index kvality ovzdušia, dlhodobý)
LuQx	Luftqualitätindex (Nemecko - index kvality ovzdušia)

Znečisťujúce látky

CO	oxid uhoľnatý
CO ₂	oxid uhličitý
NO ₂	oxid dusičitý
NO _x	oxidy dusíka
O ₃	ozón
PAU	polycyklické aromatické uhľovodíky
Pb	olovo
Pd	paládium
PM ₁₀	polietavý prach frakcie do 10 mikrometrov
PM _{2,5}	polietavý prach frakcie do 2,5 mikrometra
Pt	platina
Rh	ródium
SO ₂	oxid siričitý

2.6 Základné termíny a definície

Uvedené názvoslovie je prevzaté z [1].

Emisie – uvoľňovanie znečisťujúcich látok zo zdroja do ovzdušia.

Imisie – zásah, prenikanie znečisťujúcich látok rozptýlených v atmosfére do dýchacej zóny obyvateľstva (rozumie sa oblasť vo výške 1,5 m nad úrovňou terénu).

Izolínia imisií – spojnica bodov s rovnakou vypočítanou hodnotou koncentrácie škodlivín vo výške 1,5 m nad povrchom vozovky (v dýchacej zóne).

Produkcia znečisťujúcich látok – tvorba znečisťujúcich látok vypúšťaných do ovzdušia.

Rozptyl znečisťujúcej látky – úbytok koncentrácie prímеси spôsobený predovšetkým prúdením vetra.

Triedy stability – charakteristika stavu ovzdušia s ohľadom na teplotné rozvrstvenie.

Ďalšie názvoslovie podľa [Z1].

Ovzdušie - okolité ovzdušie v troposfére okrem ovzdušia v pracovných priestoroch, do ktorých nemá verejnosť pravidelný prístup,

Znečisťujúca látka - akákoľvek látka vnášaná ľudskou činnosťou priamo alebo nepriamo do ovzdušia, ktorá má alebo môže mať škodlivé účinky na zdravie ľudí alebo životné prostredie,

Stále meranie - meranie úrovne znečistenia ovzdušia uskutočňované na stálych miestach kontinuálne alebo občasným vzorkovaním, ktoré pri dodržaní cieľov v kvalite údajov určuje úroveň znečistenia ovzdušia,

Indikatívne meranie - meranie, ktoré spĺňa ciele v kvalite údajov, ktoré sú menej prísne ako tie, ktoré sa vyžadujú pre stále merania, jedno meranie týždenne počas celého roka alebo 8 týždňov rovnomerne rozložených počas roka [Z5],

Mestské požadové miesto - miesto v mestských oblastiach, kde sú úrovne znečistenia ovzdušia reprezentatívne pre expozíciu bežného mestského obyvateľstva,

Zdroj znečisťovania ovzdušia:

a) stacionárny zdroj, ktorým je technologický celok, sklad alebo skládka palív, surovín a produktov, skládka odpadov, lom alebo iná plocha s možnosťou zaparenia, horenia alebo úletu znečisťujúcich látok alebo iná stavba, objekt, zariadenie a činnosť, ktorá znečisťuje alebo môže znečisťovať ovzdušie; vymedzený je ako súhrn všetkých zariadení a činností v rámci funkčného celku a priestorového celku,

b) mobilný zdroj, ktorým je pohyblivé zariadenie so spaľovacím motorom alebo iným hnacím motorom, ktorý znečisťuje ovzdušie.

Hodnotenie kvality:

Hodnotením kvality ovzdušia je zisťovanie úrovne znečistenia ovzdušia použitím metód merania, výpočtu, predpovedania alebo odhadovania.

Prípustná úroveň znečistenia - imisné limity a prípustné početnosti ich prekročení uvedené v zákone. Imisné limity sú záväzné pre orgány ochrany ovzdušia pri výkone ich pôsobnosti.

Prípustná úroveň znečisťovania - prípustná úroveň znečisťovania je určená emisnými limitmi, emisnými stropmi, technickými podmienkami prevádzky a prípustnou tmavosťou dymu. Emisné limity musia byť dodržané na každom komínovom prieduchu alebo výduchu do ovzdušia.

Index kvality ovzdušia (IKO) slúži na hodnotenie stavu ovzdušia na základe výsledkov meraní hmotnostných koncentrácií látok v ovzduší. Hodnotenie zohľadňuje možný vplyv na zdravotný stav obyvateľstva. IKO používa priame numerické vyjadrenie a slovný popis. Jedná sa o jeden z možných postupov ako kvantifikovať mieru záťaže ovzdušia všetkými znečisťujúcimi látkami [32].

Monitoring je opakované, väčšinou dlhodobé a systematické meranie vybraných fyzikálnych, chemických (i iných, napr. biologických) ukazovateľov pre zisťovanie zmien charakteristík prostredia v čase a predikcia týchto charakteristík alebo ich ďalšieho vývoja [32].

2.7 Účel hodnotenia znečisťovania ovzdušia

Hodnotenie kvality ovzdušia vykonáva poverená organizácia vo všetkých aglomeráciách a zónach pre znečisťujúce látky, pre ktoré sú určené limitné hodnoty alebo cieľové hodnoty, a pre prekursorov ozónu podľa ustanovených metód a technických požiadaviek alebo rovnocennými metódami [Z1].

Cieľom v kvalite ovzdušia je udržať kvalitu ovzdušia v miestach, kde je dobrá kvalita ovzdušia, a v ostatných prípadoch zlepšiť kvalitu ovzdušia. Dobrou kvalitou ovzdušia je úroveň znečistenia ovzdušia nižšia ako limitná hodnota a cieľová hodnota.

Hodnotenie kvality ovzdušia sa vykonáva:

a) stálym meraním v aglomeráciách alebo v zónach, kde je úroveň znečistenia ovzdušia danou znečisťujúcou látkou vyššia ako horná medza na hodnotenie úrovne znečistenia ovzdušia, a ak ide o arzén, kadmium, nikel a benzo(a)pyrén, aj v zónach a aglomeráciách, v ktorých je úroveň znečistenia ovzdušia medzi hornou medzou a dolnou medzou na hodnotenie úrovne znečistenia ovzdušia; stále meranie môže byť doplnené modelovacími technikami alebo indikatívnymi meraniami s cieľom poskytnúť primerané informácie o priestorovom rozložení kvality ovzdušia,

b) kombináciou stálych meraní, indikatívnych meraní a modelovacích techník v aglomeráciách a zónach, v ktorých úroveň znečistenia ovzdušia je rovnaká alebo vyššia ako dolná medza na

hodnotenie úrovne znečistenia ovzdušia a rovnaká alebo nižšia ako horná medza na hodnotenie úrovne znečistenia ovzdušia,

c) *kombináciou stálych meraní, indikatívnych meraní a modelovacích techník* v aglomeráciách a zónach, v ktorých je úroveň znečistenia ovzdušia v reprezentatívnom časovom období medzi hornou medzou a dolnou medzou na hodnotenie úrovne znečistenia ovzdušia, ak ide o arzén, kadmium, nikel a benzo(a)pyrén,

d) *modelovacími technikami alebo technikami objektívneho odhadu* v aglomeráciách a zónach, v ktorých úroveň znečistenia ovzdušia je nižšia ako dolná medza pre hodnotenie úrovne znečistenia ovzdušia.

Spôsob hodnotenia kvality ovzdušia v aglomeráciách a v zónach preveruje ministerstvo, prípadne poverená organizácia najmenej raz za päť rokov. Ak ide o významné zmeny v činnostiach, ktoré môžu ovplyvniť koncentráciu sledovaných znečisťujúcich látok, preverenie sa uskutočňuje častejšie.

Oprávneným meraním sa zisťuje:

1. hodnota fyzikálno-chemickej veličiny, ktorou je vyjadrený emisný limit okrem limitného emisného faktora, technická požiadavka alebo podmienka prevádzkovania a hodnota súvisiacej stavovej a referenčnej veličiny, ktorá sa vzťahuje priamo na emisie alebo na zloženie čisteného alebo nečisteného odpadového plynu,
2. hodnota fyzikálno-chemickej veličiny, ktorou je vyjadrený limitný emisný faktor, s ktorého použitím sa preukazuje dodržanie určeného emisného limitu,
3. hodnota fyzikálno-chemickej veličiny, ktorou je vyjadrený individuálny emisný faktor, hmotnostný tok alebo hmotnostná koncentrácia, s ktorých použitím sa vypočítava množstvo emisií,
4. hodnota fyzikálno-chemickej veličiny, ktorou je vyjadrená limitná hodnota a cieľová hodnota znečistenia ovzdušia a ďalšie charakteristiky kvality ovzdušia,
5. kvalitatívne zloženie emisií alebo nečistených odpadových plynov,
6. kvalitatívne zloženie vonkajšieho ovzdušia,
7. hodnota fyzikálno-chemickej veličiny, ktorou je vyjadrená technická požiadavka alebo podmienka prevádzkovania stacionárnych zdrojov, ktorá sa vzťahuje nepriamo na množstvo alebo na zloženie emisií.

Oprávnenou kalibráciou sa kalibruje automatizovaný merací systém:

1. emisií,
2. kvality ovzdušia.

Monitoring ovzdušia, ktorý sa vykonáva v zmysle zákona o posudzovaní vplyvov na životné prostredie [Z2], nespadá pod tieto definície. Všetky sa týkajú len stacionárnych zdrojov. Zastrešuje ich MŽP SR. Zákon o ovzduší [Z1] mobilné zdroje síce definuje, ale nezaoberá sa možnosťou ich monitorovania, hodnotenia znečistenia ovzdušia mobilnými zdrojmi. Táto problematika má byť (podľa odpovedí pracovníkov MŽP na seminároch) v kompetencii MDVRR SR. Vyhláška o kvalite ovzdušia [Z5] rieši okrajovo indikatívne merania, ktorými sa realizuje monitoring v okolí pozemných komunikácií.

2.7.1 Monitoring a životné prostredie

V rámci obsahu a náplne rozborovej úlohy je účelné poznať význam pojmov *monitoring* a *životné prostredie*.

Slovo monitoring možno voľne nahradiť pojmami ako sledovanie, či pozorovanie. V nadväznosti na využívanie výpočtovej techniky sa k tomu pripája systematickosť, presnosť, pravidelnosť a pod. Z tohto dôvodu je potom možné pod termínom „monitoring“ chápať akési pozorovanie (sledovanie) určitého javu, parametra, či atribútu, ktoré je systematické, organizované, nie je sporadické a náhodné a realizuje sa za presne definovaných časových a priestorových podmienok. Základom monitorovania životného prostredia je pozorovanie a následné hodnotenie stavu a kvality životného prostredia. Využívanie informačných sústav a výpočtovej techniky vytvára predpoklady pre vypracovanie prognóz a návrhov opatrení na ochranu a tvorbu životného prostredia [24].

V SR ochranu životného prostredia vymedzuje zákon o životnom prostredí [Z3].

Monitoring životného prostredia je definovaný ako systematické, dôsledne v čase a v priestore sledovanie a hodnotenie jednotlivých zložiek životného prostredia, ako aj vplyvov naň pôsobiach, ktoré s určitou mierou výpovednej hodnoty prezentuje danú oblasť, región, či v súhrne väčší územný celok.

Monitoring životného prostredia plní dve základné funkcie:

- poznávaciu – prvotný zdroj informácií
- kontrolnú – poskytuje informácie o výsledku.

Environmentálny monitoring sa zaoberá pozorovaním znečisťovania prostredia. Medzi prvoradé funkcie monitorovania patria:

- pozorovanie – získavajú sa údaje o zložkách ŽP a zdrojoch, ktoré ich ovplyvňujú (na základe meraní),
- hodnotenie,
- prognózovanie,
- hodnotenie prognózovaného stavu.

Environmentálny monitoring zaznamenáva na Slovensku významný vzostup najmä v dôsledku:

- sprísňovania legislatívy o životnom prostredí,
- povinnosti monitorovania, vyplývajúcej zo zákonov o ochrane životného prostredia, alebo iných legislatívnych predpisov,
- nutnosti monitorovania pri budovaní a udržiavaní systémov environmentálneho manažérstva (EMAS),
- zlepšenia dostupnosti príslušných monitorovacích zariadení,
- demokratizačných procesov spoločnosti, vystupňovaných požiadavkami na informovanosť o stave životného prostredia.

Národná legislatíva v oblasti monitoringu emisií nadväzuje na legislatívu Európskej únie – Smernicu o integrovanej prevencii a ochrane ovzdušia (IPPC directive), ktorá ustanovuje požiadavku vykonávania emisných meraní.

Na vypracovanie a implementáciu účinnej stratégie riadenia kvality ovzdušia je nevyhnutné mať spoľahlivé informácie o úrovni znečistenia ovzdušia. Tieto informácie sa získavajú aj monitorovaním. Monitoring poskytuje informácie potrebné na účinné rozhodovanie a riešenie problémov. Monitoring jednotlivých zložiek životného prostredia slúži na zisťovanie vplyvu ľudských činností na životné prostredie s cieľom chrániť životné prostredie a zvýšiť jeho kvalitu. Informácie získané monitorovaním sú významné pre vzdelávanie a zvýšenie ekologického povedomia verejnosti a jej záujmu o problémy a otázky životného prostredia.

Rozhodujúcim monitorovacím systémom životného prostredia, na ktorý metodicky i organizačne nadväzujú ďalšie úrovne, je Komplexný monitorovací a informačný systém životného prostredia SR. Je založený na relatívne stabilnom monitorovacom systéme pokrývajúcim celé územie SR a zameranom na zisťovanie globálneho stavu životného prostredia SR ako celku. Cieľovo je orientovaný najmä na potreby výkonu štátnej správy, preto je garantom celospoločenského environmentálneho monitoringu štát, zastúpený najmä MŽP SR. Komplexný monitorovací systém je členený do subsystémov – čiastkových monitorovacích systémov. Na kontrolu a ochranu čistoty ovzdušia sa využíva čiastkový monitorovací systém Ovzdušie. Prepojenie jednotlivých čiastkových monitorovacích systémov do uceleného systému zabezpečuje Informačný systém monitoringu (ISM).

Monitoring emisií

Monitoring je súborom činností vedúcich ku zisteniu stavu prostredia, k jeho usmerňovaniu a sledovaniu vývoja v čase. Znalosť stavu, v akom sa prostredie nachádza, nie je prvotným cieľom monitorovania, ale len prostriedkom k jeho dosiahnutiu. Cieľom je predpoved' ďalšieho vývoja stavu prostredia a návrh opatrení jeho udržateľnosti.

Jasné stanovenie cieľov monitoringu je prvoradým predpokladom pre správnosť rozhodnutí o tom, ktoré škodliviny sa majú sledovať, ako a kde monitorovať a aká presnosť a správnosť meraní sa má vyžadovať.

Pri určovaní podmienky monitorovania, spôsobu monitorovania, druhov monitorovaných znečisťujúcich látok a ďalších súvisiacich veličín, počtu a rozmiestnenia stálych meracích miest sa prihliada najmä na:

- množstvo a škodlivé účinky znečisťujúcich látok odvádzaných zo zdroja a mieru rizika ohrozenia zdravia obyvateľstva a životného prostredia,
- počet obyvateľov, ktorí budú priamo alebo nepriamo ovplyvnení najvyššími očakávanými koncentráciami znečisťujúcich látok alebo pachových látok v ovzduší pochádzajúcimi zo zdroja,
- umiestnenie zdroja v oblasti riadenia kvality ovzdušia,
- územné a funkčné prepojenie viacerých vybraných veľkých zdrojov [Z6].

Pravidelný monitoring má u nás legislatívny základ v zákone o ovzduší č. 137/2010, ktorý ustanovuje požiadavky na inštaláciu a prevádzkovanie zdrojov znečisťovania ovzdušia a vo vyhláske [Z7]. Pojem monitoring zahŕňa jednak kontinuálne a diskontinuálne meranie emisií s použitím emisných meracích systémov, ako aj kalibráciu kontinuálnych emisných meracích systémov.

Kontinuálny emisný monitoring je v európskych krajinách aplikovaný v nasledujúcich oblastiach: na veľkých energetických zariadeniach [27], na nových zariadeniach na spaľovanie komunálneho odpadu [28], na jestvujúcich zariadeniach na spaľovanie komunálneho odpadu [29], na spaľovniach nebezpečného odpadu [30], na špecifických zariadeniach a aktivitách používajúcich organické rozpúšťadlá [31].

Diskontinuálne emisné merania sa vykonávajú prevažne na takých zdrojoch, ktoré vypúšťajú nižšie množstvá emisií, a teda neprekračujú kritérium na povinnú inštaláciu kontinuálneho monitoringu podľa vyhlášky o monitorovaní.

Diskontinuálny emisný monitoring sa vykonáva napr. pre nasledujúce účely:

- a) preukazovanie dodržania podmienok prevádzkovania zdroja znečisťovania ovzdušia,
- b) merania iniciované sťažnosťami obyvateľov,
- c) merania na získanie povolenia na prevádzku zdroja (napr. nový zdroj, rekonštrukcia, zmena paliva a pod.),
- d) merania na zistenie množstiev vypúšťaných emisií s cieľom platenia poplatkov za znečisťovanie ovzdušia,
- e) merania na kalibráciu kontinuálnych emisných meracích systémov a kontrolu ich funkcie (napr. pri uvádzaní nových kontinuálnych meracích systémov do používania a periodické kontroly).

Množstvo emisie zo stacionárneho zdroja znečisťovania ovzdušia sa zisťuje pre znečisťujúcu látku uvedenú v zozname znečisťujúcich látok a vybraných znečisťujúcich látok. Pre tieto látky sa určujú emisné limity, emisné kvóty a všeobecné podmienky prevádzkovania. Ďalšiu skupinu, pre ktorú sa rovnako sleduje množstvo emisie, tvoria plynne látky spôsobujúce skleníkový efekt.

Inventarizácia emisií a zdrojov znečisťovania ovzdušia slúži na identifikáciu polohy a relatívneho významu rôznych zdrojov znečisťovania ovzdušia.

Stacionárne zdroje

Inventarizáciu zdrojov a emisií znečisťujúcich látok do ovzdušia vykonáva SHMÚ systémom REZZO – Register emisií a zdrojov znečisťovania ovzdušia. Ten je členený podľa výkonu, veľkosti a druhu zdrojov na štyri časti: REZZO 1, REZZO 2, REZZO 3 a REZZO 4 [26]. REZZO4 sú mobilné zdroje.

Systém REZZO je prepojený na Národný emisný inventarizačný systém (NEIS), ktorý umožňuje racionálny zber, spracovanie a ďalšie využívanie údajov na lokálnej aj národnej úrovni podľa potrieb vyplývajúcich z právnej úpravy ochrany ovzdušia. Softvérový produkt NEIS je koncipovaný ako viacmodulový systém, ktorý plne zodpovedá požiadavkám súčasnej legislatívy. Modul NEIS (National Emission Inventory System - Národný systém inventarizácie emisií do ovzdušia) umožňuje uskutočniť komplexný zber a spracovanie údajov na jednotlivých okresných úradoch, ako aj vykonať logickú kontrolu správnosti výpočtu emisií zo vstupných údajov, ktoré poskytujú prevádzkovatelia zdrojov (REZZO 1 až 3).

Zmeny v legislatíve o ovzduší uskutočnené v posledných rokoch spôsobili, že systém REZZO možno porovnávať s modulom NEIS iba na celonárodnej úrovni. Porovnanie jednotlivých častí REZZO (REZZO

1, REZZO 2) s modulom NEIS (veľké, stredné zdroje), resp. porovnanie jednotlivých zdrojov v oboch systémoch je zložité.

NEIS zahŕňa zdroje znečisťovania ovzdušia, ktoré sa členia podľa výkonu a kategorizácie (v zmysle [Z1] a [Z6]):

- **veľké zdroje** – technologické celky obsahujúce zariadenia na spaľovanie palív s tepelným príkonom 50 MW a vyšším a ostatné technologické celky,
- **stredné zdroje** – technologické celky obsahujúce zariadenia na spaľovanie palív s tepelným príkonom 0,3 až 50 MW a ostatné technologické celky,
- **malé zdroje** – domáce kúreniská a ostatné stacionárne zariadenia na spaľovanie tuhých palív s tepelným príkonom do 0,3 MW.

Mobilné zdroje

Na výpočet emisií z cestnej dopravy sa používa od roku 1990 metóda COPERT, ktorá je odporučená pre účastníkov Dohovoru Európskej hospodárskej komisie OSN o diaľkovom znečisťovaní ovzdušia. Metóda vychádza z počtu jednotlivých typov automobilov, množstva najazdených kilometrov a zo spotreby jednotlivých druhov pohonných látok.

V roku 2002 bol spracovaný prepočet emisií znečisťujúcich látok z cestnej dopravy v novej verzii programu – COPERT III, ktorá obsahuje najnovšie poznatky v tejto oblasti. Okrem cestnej dopravy sa počítajú aj emisie zo železničnej, leteckej a lodnej dopravy.

V roku 2004 bola bilancia emisií TZL z cestnej dopravy doplnená, v súlade s požiadavkami novelizovanej metodiky EMEP/CORINAIR2 a v súlade s požiadavkami na reporting týchto emisií pre UN ECE, o emisie z výfukových plynov z benzínových motorov a o abrazívne emisie (obrusovanie povrchu vozovky, pneumatík a brzdneho obloženia).

Plnenie záväzkov Slovenskej republiky vyplývajúcich z medzinárodných dohôd o ochrane atmosféry vyžaduje inventarizáciu a pravidelné medzinárodné sledovanie emisií celého radu látok, ktoré NEIS v súčasnosti neeviduje. Sú to predovšetkým emisie z mobilných zdrojov, emisie skleníkových plynov, emisie látok poškodzujúcich stratosférickú ozónovú vrstvu, emisie prekursorov ozónu, emisie z poľnohospodárstva a prírodných zdrojov, emisie perzistentných organických látok a ťažkých kovov. Bilancovanie týchto emisií podľa medzinárodne odporúčaných metodík v súčasnosti SHMÚ zabezpečuje formou expertíz na špecializovaných pracoviskách.

Modelovanie znečistenia ovzdušia

Vzťah medzi zdrojmi znečisťovania ovzdušia a receptormi nemožno zistiť výlučne na základe údajov o emisiách a údajov z meraní úrovne znečistenia ovzdušia. Treba poznať súvislosti medzi kvalitou ovzdušia vrátane jej negatívnych efektov a jednotlivými zdrojmi emisií. Na to sú potrebné matematické nástroje, tzv. **modely znečistenia ovzdušia**. Sú nenahraditeľné pri hodnotení očakávaného znečistenia ovzdušia a jeho dôsledkov pre nové (plánované) zdroje emisií. Modely znečistenia ovzdušia sa líšia mnohými svojimi vlastnosťami (oblasť aplikácie, priestorové a časové rozlíšenie, fyzikálna koncepcia a pod.) [24].

Štatistické modely sú cenný nástroj na diagnózu kvality ovzdušia s využitím metód interpolácie a extrapolácie výsledkov meraní. Procesné modely založené na kauzálnom vzťahu zdroj – receptor (disperzné modely) sa pri hodnotení kvality ovzdušia vo všeobecnosti používajú na:

- regulačné účely,
- podporu environmentálnej politiky,
- informovanie verejnosti,
- hodnotenie zaťaženia životného prostredia (EIA),
- vedecký výskum.

Zhodnotenie

K hlavným cieľom v oblasti ochrany ovzdušia patrí trvalé znižovanie plynných a tuhých emisií znečisťujúcich látok v ovzduší a informačné zabezpečenie rozhodovacích procesov pri kontrole a riadení čistoty ovzdušia. Podporným nástrojom k týmto cieľom na objektívne sledovanie a hodnotenie kvality ovzdušia je monitoring.

2.8 Legislatíva a znečistenie ovzdušia z cestnej dopravy

2.8.1 Zákon a vyhláška o ovzduší na Slovensku

Zákon o ovzduší [Z1] upravuje:

- a) cieľ v kvalite ovzdušia, hodnotenie kvality ovzdušia a informovanie verejnosti o kvalite ovzdušia,
- b) práva a povinnosti osôb pri ochrane ovzdušia pred vnášaním znečisťujúcich látok ľudskou činnosťou a pri obmedzovaní príčin a zmierňovaní následkov znečisťovania ovzdušia,
- c) osvedčovanie odbornej spôsobilosti a povinnosti oprávnených posudzovateľov pri vyhotovovaní odborných posudkov alebo čiastkových odborných posudkov,
- d) oprávnené merania, kalibrácie, skúšky a inšpekciu zhody,
- e) pôsobnosť orgánov štátnej správy ochrany ovzdušia,
- f) správne delikty v oblasti ochrany ovzdušia.

Na zákon nadväzuje vykonávacia vyhláška [Z5], ktorá stanovuje: *horné medze a dolné medze na hodnotenie úrovne znečistenia ovzdušia* vybranými znečisťujúcimi látkami, požiadavky na umiestňovanie vzorkovacích miest na stále meranie koncentrácií znečisťujúcich látok, kritériá na určenie najmenšieho počtu vzorkovacích miest na stále meranie znečisťujúcich látok, ciele v kvalite údajov a ciele spracovania výsledkov hodnotenia kvality ovzdušia, referenčné metódy hodnotenia koncentrácií znečisťujúcich látok, požiadavky na merania prekursorov ozónu a referenčné metódy merania celkovej depozície arzénu, kadmia, ortuti, niklu, olova a polycyklických aromatických uhľovodíkov, podrobnosti o meraniach na vidieckych pozadových miestach a referenčné metódy merania kvality ovzdušia.

Napr. §5, ods. 18 hovorí, že sledovanie kvality ovzdušia na území SR zabezpečuje Ministerstvom ŽP poverená organizácia.

Ďalej podľa §8, ods. 1: V aglomeráciách a v zónach, kde úroveň znečistenia ovzdušia je vyššia ako dolná medza na hodnotenie úrovne znečistenia ovzdušia, poverená organizácia:

- a) zriaďuje a prevádzkuje monitorovaciu meraciu sieť na stále merania úrovne znečistenia ovzdušia,
- b) zabezpečuje meranie koncentrácií ozónu a prekursorov ozónu,
- c) využíva výsledky meraní vykonávaných úradom verejného zdravotníctva, regionálnymi úradmi verejného zdravotníctva, prevádzkovateľmi stacionárnych zdrojov a inými právnickými osobami.

Aj napriek tomu, že oba dokumenty sú novšieho dátá, sú prioritne zamerané na stacionárne zdroje, mobilné zdroje nie sú uvedené.

2.8.2 Zákon a vyhláška o ovzduší v Českej republike

Ak urobíme porovnanie s ČR, tak zákon [Z8] je zameraný vo všeobecnej rovine na znečistenie ovzdušia a nerieši len stacionárne zdroje.

Napr. podľa §5, ods. 3 a 5:

Posudzovanie úrovne znečistenia vykonáva ministerstvo stacionárnym meraním, výpočtom alebo ich kombináciou. Ministerstvo za účelom stacionárneho merania stanoví štátnu sieť imisného monitoringu a túto sieť prevádzkuje. Pre vyhodnotenie úrovne znečistenia sa použijú aj výsledky meraní úrovne znečistení vykonávané osobou, ktorej bolo vydané rozhodnutie o autorizácii pre meranie úrovne znečistenia.

Ak urobíme porovnanie na úrovni [Z9], taktiež je tam konkrétna nadväznosť na mobilné zdroje.

Pre dopravu vyhláška stanovuje: ciele pre kvalitu údajov, požiadavky na meracie lokality, požiadavky na umiestnenie odberových zariadení a taktiež stanovuje použitie *konkrétnych* metód pre modelovanie.

2.8.3 Zákon o ochrane pred imisiami, hlukom, vibráciami a inými vplyvmi v Nemecku

V Nemecku je zákon [25] koncipovaný ako integrovaná prevencia pred nepriaznivými vplyvmi na životné prostredie v dôsledku pôsobenia emisií v ovzduší, znečisťovania vody a pôdy, vrátane nakladania s odpadmi tak, aby sa dosiahla vysoká úroveň ochrany životného prostredia ako celku, ako aj ochrana a prevencia rizík a významných rušivých vplyvov, ktoré sú vyvolané inými spôsobmi .

Zákon [25].je rozsiahly a konkrétny. V časti 3. Kvalita zariadení, materiálov, palív §40 rieši konkrétne dopravné obmedzenia v súlade s predpismi cestnej premávky, alebo obmedzenia prevádzky motorových vozidiel, ak si to naliehavé dôvody všeobecného záujmu vyžadujú, teda ak sú prekročené imisné limity.

Príslušný cestný úrad môže zakázať alebo obmedziť dopravu motorovými vozidlami v súlade s právnymi predpismi cestnej premávky v niektorých uliciach alebo v určitých oblastiach, s ohľadom na miestne podmienky, ak je odôvodnené zníženie škodlivých účinkov znečistenia ovzdušia, alebo aby sa zabránilo ich výskytu.

V časti 7 Spoločné ustanovenia §48 sa odvoláva na imisné limity v zmysle Smerníc EC a §50 rieši územné plánovanie. Pri regionálne významných plánoch a opatreniach stanovených pre citlivé oblasti je potrebné také riešenie, aby boli obmedzené nepriaznivé vplyvy na životné prostredie. Napr. hlavné dopravné trasy, ktoré by ich mohli vyvolať, by sa pokiaľ možno, mali vyhnúť obytným oblastiam, rekreačným alebo citlivým oblastiam.

Je potrebné vziať do úvahy zachovanie čo najlepšej kvality ovzdušia.

Zákon [25] uvádza konkrétne ustanovenia týkajúce sa cestných stavieb a mobilných zdrojov.

Zhodnotenie porovnania legislatívy

Stručným porovnaním legislatívy sme zistili, že mobilné zdroje nie sú konkrétne podchytené v legislatíve SR, na rozdiel od iných porovnávaných legislatívnych úprav. Práve to je dôvod, aby tejto problematike bola venovaná pozornosť a monitoring znečistenia ovzdušia mobilnými zdrojmi bol riešený iným spôsobom doplnkovými predpismi, technickými podmienkami a pod.

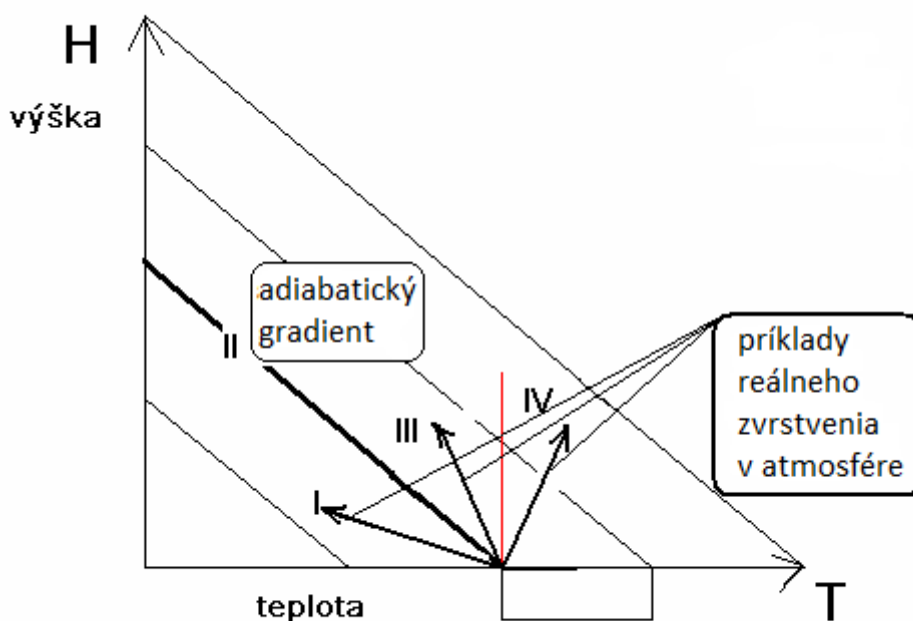
3 Teoretické predpoklady

Aby sme v ďalšom priebehu práce mohli vykonať hodnotenie výsledkov z monitorovania alebo správne rozhodnúť o výbere miesta a umiestnení monitorovacieho zariadenia, popíšeme niektoré základné teoretické predpoklady.

3.1 Stabilita a labilita atmosféry

Stabilita a labilita atmosféry je fyzikálna vlastnosť určitej vrstvy atmosféry, ktorá závisí na rozdieli priebehu teploty s výškou medzi adiabatickým teplotným gradientom a aktuálnym teplotným zvrstvením danej vrstvy.

Adiabatický teplotný gradient je závislosť zmeny teploty stúpajúcej alebo klesajúcej vzdušnej masy v dôsledku expanzie alebo kompresie plynu v dôsledku poklesu atmosférického tlaku s výškou. Jeho hodnota predstavuje $1,98\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ v prípade vzduchu nenasýteného vodnou parou a $1,65\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ v prípade vzduchu nasýteného vodnou parou.



Obrázok 3.1 T-H diagram adiabatického a reálneho zvrstvenia v atmosfére [4]

Z diagramu T – H (teplota - výška) na obrázku 3.1 vidieť, že môžu nastať štyri rôzne situácie reálneho teplotného zvrstvenia atmosféry, ktoré sa mení hlavne v dôsledku výmeny tepla medzi atmosférou a

zemským povrchom, oproti sklonu adiabatického teplotného gradientu (pre zemskú atmosféru nemenného):

- 1) teplota v atmosfére klesá rýchlejšie ako pri adiabatickom gradiente;
- 2) teplota v atmosfére klesá rovnako ako pri adiabatickom gradiente;
- 3) teplota v atmosfére klesá pomalšie ako pri adiabatickom gradiente;
- 4) teplota v atmosfére rastie.

Vzhľadom k tomu, že teplota stúpajúcich vzdušných mäs klesá podľa závislosti adiabatického teplotného gradientu, tendencia stúpať po udelení impulzu (prehriatie, orografia terénu pri horizontálnych presunoch vzdušných mäs) bude závislá na neustálom porovnávaní vzájomných teplôt, kedy na základe hore uvedených vzájomných porovnaní môžu nastať nasledujúce situácie:

- 1) teplota stúpajúcej vzdušnej masy bude stále vyššia ako teplota okolitej atmosféry a teda sú podporované vertikálne pohyby vzdušných mäs – *reálne zvrstvenie je labilné*;
- 2) teplota stúpajúcej vzdušnej masy bude rovnaká ako teplota okolitej atmosféry (ojedinelé a krátkodobé prípady) a teda nie sú podporované ale ani tlmené vertikálne pohyby vzdušných mäs - *reálne zvrstvenie je indiferentné*;
- 3) teplota stúpajúcej vzdušnej masy bude stále nižšia než teplota okolitej atmosféry a teda budú tlmené vertikálne pohyby vzdušných mäs - *reálne zvrstvenie je stabilné*;
- 4) teplota okolitej atmosféry s výškou stúpa a teda budú extrémne tlmené vertikálne pohyby vzdušných mäs - *reálne zvrstvenie je extrémne stabilné, pre tento prípad sa používa pojem (teplotná) inverzia*.

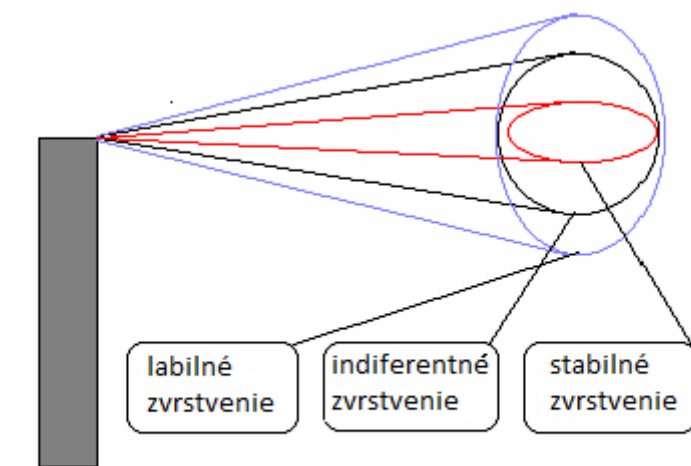
Vyššie popísané stavy významne ovplyvňujú rozptyl znečisťujúcich látok v ovzduší.

V prípade *labilného zvrstvenia* dochádza k dobrému rozptylu do atmosféry emitovaných LZO, kedy na úkor znečistenia veľkých objemov vzdušných mäs sa udržiavajú prízemné koncentrácie LZO v prijateľných medziach. V prípade *stabilného* alebo *inverzného (extrémne stabilného)* zvrstvenia je však situácia opačná, kedy na úkor znečistenia výrazne menších objemov vzduchu, predovšetkým smerom do výšky, dochádza k extrémnemu zvýšeniu prízemných koncentrácií LZO, najmä v blízkosti zdrojov.

Dôsledky stabilného zvrstvenia na veľkosť prízemných koncentrácií LZO majú mnoho podôb v závislosti na:

- polohy a hrúbke stabilnej vrstvy (prízemná alebo výšková inverzia),
- výške zdroja LZO nad zemským povrchom, v porovnaní s polohou a hrúbkou stabilnej vrstvy,
- orografií terénu, predovšetkým údolia a panvy obkolesené pohoriami, kde terén bráni rozptylu LZO v horizontálnom smere.

Vzhľadom k typickým rozptylovým parametrom (molekulárna difúzia, mikroturbolencia, prízemný alebo výškový vietor, stabilita atmosféry) sa ako základný rozptylový obrazec z bodového zdroja používa tzv. *rozptylový kužeľ*. Ten je deformovaný predovšetkým vo vertikálnej osi ovládanej stabilitou alebo labilitou danej vrstvy (Obrázok 3.2).



Obrázok 3.2 Deformácia idealizovaného rozptylového kužela v závislosti na stabilite atmosféry

Samostatnú kapitolu tvoria prízemné zdroje, pri ktorých chýba na rozptylovom kuželi spodná polovica, ako by sa nachádzala pod zemským povrchom, z čoho zjednodušene povedané plynú dvojnásobné koncentrácie v rovnakej vzdialenosti od zdroja oproti výškovému zdroju (komínu).

LZO – pod pojmom látky znečisťujúce ovzdušie sa chápu všetky látky emitované do atmosféry, ktoré v kombinácii potenciálnej škodlivosti a koncentrácie poškodzujú niektorú alebo všetky funkcie atmosféry pre optimálne fungovanie biosféry.

3.2 Rozptyl znečisťujúcich látok po úniku zo zdroja

Znečisťujúce látky po úniku zo zdroja nezostávajú v ovzduší bez zmeny. Prebiehajú fyzikálne (pohyb a šírenie v priestore, turbulentná difúzia, zmeny koncentrácie riedením a iné) a chemické zmeny.

Ovzdušie má rovnako ako voda a pôda samočistiacu schopnosť. Samočistiace procesy závisia od troch základných faktorov, a to od:

- reliéf krajiny,
- meteorologických podmienok,
- fyzikálno-chemických vlastností škodlivín.

Vďaka týmto činiteľom má ovzdušie schopnosť regenerácie, ale iba do určitej miery. Najvýznamnejšou zložkou samočistiacich procesov sú zrážky. Pri nich sa ovzdušie veľmi rýchlo zbavuje takmer všetkých druhov škodlivín. Ďalší efekt samočistenia ovzdušia vyvolávajú dobré rozptylové podmienky – zvýšené prúdenie vzduchu. Znečistenie priamo pri zdroji sa rýchlo rozptyľuje do okolia, riedi sa – znižujú sa koncentrácie jednotlivých znečisťujúcich látok v ovzduší.

Rozptyl znečisťujúcich látok je teda ovplyvnený samotným umiestnením zdroja v krajine (cestná komunikácia v širšej krajine mimo zastavaného územia alebo miestna komunikácia v zastavanom území – konfigurácia krajiny, terénu), meteorologickými podmienkami, ktoré sú prítomné počas produkcie škodlivín konkrétnym zdrojom. V neposlednom rade sú to fyzikálne vlastnosti škodlivín (veľkosť, elektrický náboj, povrch a rozpustnosť častíc) a chemické vlastnosti (chemické zloženie častíc, plynov).

Všetky tieto faktory ovplyvňujú šírenie emisií (škodlivých látok) od samotného zdroja.

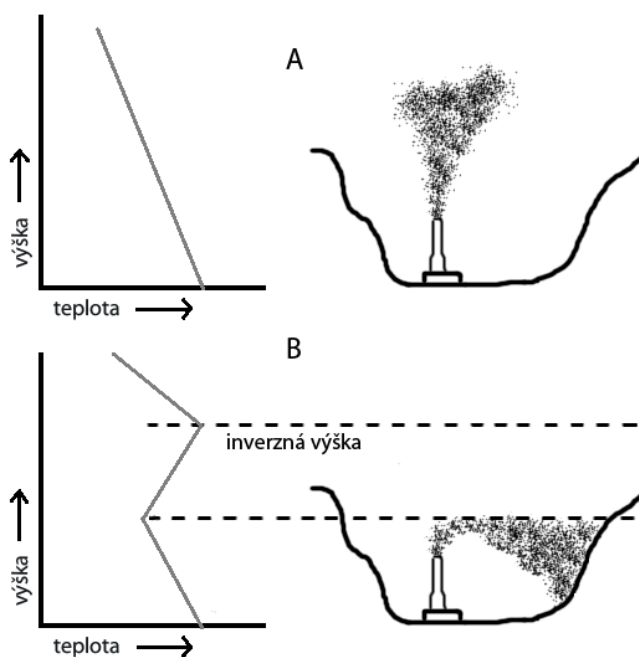
K zisteniu znečistenia ovzdušia škodlivými látkami od určitého zdroja (cestná doprava) je nevyhnutné zvážiť všetky faktory ovplyvňujúce šírenie emisií od zdroja.

3.3 Fyzikálne zmeny znečisťujúcich látok

Charakter zemského povrchu (členitosť terénu, jeho celkové geografické usporiadanie – hory, údolia, rieky, jazerá atď.) významne ovplyvňuje teplotu ovzdušia. V dôsledku rozdielnych teplôt nastáva *horizontálne a vertikálne prúdenie vzduchu*. Nerovnosti zemského povrchu spôsobujú vírenie prúdiaceho vzduchu, tzv. *mechanickú turbulenciu*. Túto turbulenciu vyvolávajú i vysoké budovy, preto prúdenie vzduchu v mestách je podstatne zložitejšie ako vo voľnej krajine.

Prúdenie vzduchu i jeho mechanická turbulencia ovplyvňujú prenos a rozptyl škodlivín v ovzduší ako aj ich usadzovanie (napr. prachu, popolčeka).

Pohyb vzduchových mäs vo vertikálnom smere závisí v podstate od gradientu teploty. Pri normálnych podmienkach sa teplota suchého vzduchu znižuje o 1 °C na každých 100 m pribúdajúcej výšky. Tento jav nazývame *adiabatický gradient teploty*. Ak sa teplota znižuje s výškou rýchlejšie než zodpovedá adiabatickému gradientu (horúce letné dni s jasnou oblohou) je *gradient superadiabatický*. Pri *subadiabatickom gradiente* sa úbytok teploty znižuje dovtedy, kým sa nezastaví, takže teplota sa s pribúdajúcou výškou ani neznižuje ani nezvyšuje (*izotermický gradient*), prípadne sa dokonca zvyšuje (*inverzný gradient* -od lat. slova *inversio* – *prevrátený*). Čím väčší je pokles teploty vzduchu s výškou, tým labilnejšie je ovzdušie. Teplý vzduch stúpa prudko nahor, víri sa (*termická turbulencia*), čo spôsobuje veľmi dobrý rozptyl škodlivín. Pri subadiabatickom a izotermickom gradiente teploty je ovzdušie stabilné, a preto je rozptyl škodlivín malý. Labilita ovzdušia, ktorá je pre rozptyl škodlivín priaznivá, býva optimálna za jasných, slnečných, letných dní.



Obrázok 3.3 Princíp šírenia emisií zo zdroja v bežných rozptylových podmienkach a počas inverzie

Najnepriaznivejšie situácie v rozptyle škodlivín vznikajú pri teplotných inverziách, pri ktorých sa teplota vzduchu s narastajúcou výškou neznižuje, ale naopak zvyšuje. Často vznikajú prízemné inverzie (za jasných pokojných nocí) alebo inverzné vrstvy vo výškach do 1000 m (v zime za jasného

počasie, keď je bezvetrie). Vyskytujú sa najmä v uzavretých, neprevetrávaných kotlinách a údoliach. Škodliviny sa hromadia pod inverznou vrstvou a nerozptyľujú sa do väčších vzdialeností od zdroja (Obrázok 3.3). Ak teplotná inverzia trvá niekoľko dní (stačia aj tri dni), môže sa situácia stať nebezpečnou.

3.4 Chemické zmeny znečisťujúcich látok

Základným chemickým procesom v ovzduší je oxidácia niektorých látok vzdušným kyslíkom a ozónom. Tak sa oxiduje oxid siričitý na oxid sírový a oxid dusnatý na oxid dusičitý. Podobne prebieha i oxidácia mnohých organických látok (napr. aldehydov na kyseliny). Okrem vlhkosti a prítomnosti tuhých látok môžu oxidačné reakcie podporovať aj početné iné faktory (ultrafialové žiarenie, prítomnosť látok so silnými oxidačnými účinkami alebo ich sekundárna tvorba). Výsledkom chemických reakcií v ovzduší je často tvorba smogu.

Smog je medzinárodne používaný termín pre zmes rôznych škodlivín. Charakterizuje stav ovzdušia so zníženou viditeľnosťou pri vysokom znečistení ovzdušia priemyselnými exhalátmi, výfukovými plynmi motorových vozidiel a produktmi ich vzájomných reakcií. Smog má veľmi dráždivý účinok na ľudský organizmus a môže u jedincov so zníženou odolnosťou spôsobiť vážne ohrozenie zdravia. Prakticky existuje podľa chemickej povahy viacero druhov rôznych smogov. Najčastejšie sa vyskytujú však dva typy, ktoré sa vzájomne výrazne od seba odlišujú:

- a) **Londýnsky smog** je zmesou dymu z uhlia a hmly a má vysoký obsah oxidu siričitého, dodávajúceho smogu silne **redukčný charakter** a nazývame ho kyslý smog,
- b) **Losangeleský smog** je zmesou ozónu a peroxidov organických zlúčenín, vznikajúcich fotochemickou reakciou medzi oxidmi dusíku, ozónom a neškodnými organickými látkami (parami benzínu alebo splodinami nedokonalého spaľovania). Tento typ smogu má **oxidačný charakter** a nazývame ho fotochemický smog.

Redukčný londýnsky smog vzniká v mestách za nepriaznivých meteorologických podmienok. Dlhšie trvajúca teplotná inverzia a hustá hmla nedovolia rozptýl dymových splodín, ktoré sa hromadia v prízemných vrstvách ovzdušia, takže ich koncentrácia prekročí prípustné hodnoty. Jednou z rozhodujúcich zložiek smogu je oxid siričitý SO_2 .

Pre tvorbu fotochemického oxidačného smogu je základnou podmienkou prítomnosť oxidov dusíka v ovzduší. Oxid dusičitý absorbuje ultrafialové žiarenie, pričom vzniká atómový kyslík a oxid dusnatý. Ďalšou reakciou atómového kyslíka s molekulovým kyslíkom vznikne ozón a cez NO_3 sa regeneruje NO_2 , ktorý vstupuje znova do reakcie. Cyklický proces prebieha dovtedy, kým svieti slnko. Výsledkom reakcie je vznik voľných radikálov – ozonidov, ktoré reagujú s kyslíkom za vzniku peroxidov a ďalších látok. Voľné radikály sú chemicky veľmi aktívne, s organickými látkami vytvárajú organické peroxidy a ďalšie voľné radikály a reakcia pokračuje. Látky tvoriace sa pri tejto reťazovej reakcií dráždia očné sliznice a sliznice dýchacích ciest.

3.5 Rozdelenie látok znečisťujúcich ovzdušie

LZO môžeme rozdeliť podľa skupenstva, miesta definovania, chemického zloženia alebo spôsobu vzniku.

Rozdelenie LZO podľa skupenstva

Podľa skupenstva môžeme LZO rozdeliť na plynné, kvapalné a tuhé. Toto delenie je veľmi dôležité predovšetkým z dôvodu rozdielných princípov stanovovania resp. merania LZO a rozdielných princípov ich odlučovania. Ako príklad možno uviesť aerosóly.

Podľa spôsobu, akým vznikajú, rozdeľujeme aerosóly na:

- disperzné, vzniknuté zdrobňovaním tuhých látok (prachové aerosóly);
- kondenzačné, vzniknuté kondenzáciou vodnej pary alebo produktov tepelných procesov (hmly, dymov).

Rozdelenie LZO podľa miesta ich definovania

Z hľadiska miesta definovania rozdeľujeme LZO na emisie, transmisie, imisie a depozície (pozri obrázok 3.4.).

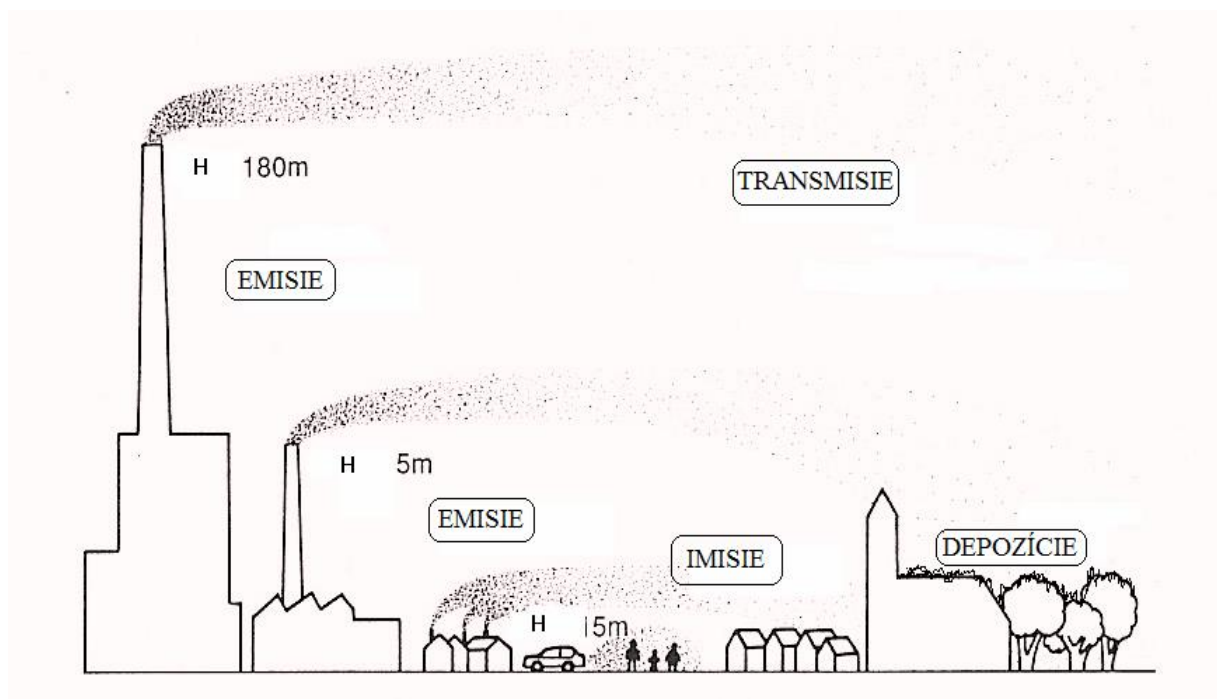
- Emisiou označujeme LZO v mieste, kde opúšťa proces (zdroj), ktorý ju generuje a rozptyľuje sa do prostredia (atmosféry).
- Transmisiou označujeme LZO počas doby, kedy sa nachádza v atmosfére, prekonáva rôzne fyzikálne a chemické premeny, ale nepôsobí na objekty biosféry (zjednodušene nepôsobí na zemský povrch).
- Imisiou začneme LZO označovať vo chvíli, kedy začne negatívne ovplyvňovať zemský povrch vo forme rozptýlenej v atmosfére (vzťažnou jednotkou koncentrácie je normálový meter kubický atmosféry)
- Depozíciou označíme LZO vo chvíli, kedy dôjde k jej zotrvačnému alebo gravitačnému odlúčeniu (depozícii) z atmosféry na zemský povrch (vzťažnou jednotkou koncentrácie je meter štvorcový zemského povrchu násobený časom depozície).

Rozdelenie LZO podľa chemického zloženia

Problematika rozdelenia LZO podľa chemického zloženia je komplikovaná v tom, že dnes existuje veľké množstvo zlúčením, ktoré možno takto označiť, sú dôsledkom ako primárnych procesov (v zdroji), tak sekundárnych (v atmosfére) procesov.

Bolo by možné urobiť rozdelenie napr. podľa:

- skupiny látok majúcich spoločný prvok, LZO na báze síry, na báze dusíka...
- skupina látok, ktoré majú podobné negatívne účinky na biosféru...



Obrázok 3.4 Schéma LZO v rôznych štádiách vývoja [4]

Rozdelenie LZO podľa spôsobu vzniku

Podľa spôsobu vzniku môžeme LZO rozdeliť do dvoch skupín:

- látky prirodzeného pôvodu;
- látky antropogénneho pôvodu.

LZO prirodzeného pôvodu sprevádzajú atmosféru od začiatku jej formovania (emisie zo sopečnej činnosti, erózia pôd, lesné požiare, pôsobenie peľu stromov a rastlín, kozmický prach ...).

LZO antropogénneho pôvodu majú často podobný charakter ako prirodzené LZO, ale počty ich druhov dosahujú rádovo 10^6 a denne vznikajú nové vďaka novým technológiám. Najzávažnejšou príčinou prírastku antropogénneho znečisťovania atmosféry je zvýšenie spotreby energie na obyvateľa, tzn. energie získavanej prevažne spaľovaním fosílnych palív.

K významným zdrojom antropogénneho znečisťovania atmosféry patrí najmä:

- spaľovanie (fosílna palivá, odpady, biomasa);
- metalurgia, koksárenstvo;
- výroba stavebných hmôt (cement, vápno, a i.);
- chemické procesy (chemický, farmaceutický a potravinársky priemysel);
- ťažobné a úpravnicke procesy (napr. ťažba fosílnych palív a nerastných surovín, rozpojovanie hornín).

V oblasti ochrany ovzdušia sa používajú dva základné pojmy: znečisťovanie a znečistenie ovzdušia. Pre vypúšťanie alebo vnášanie do atmosféry (emisiu) LZO sa používa pojem *znečisťovanie* ovzdušia. Tento pojem označuje činnosť alebo dej.

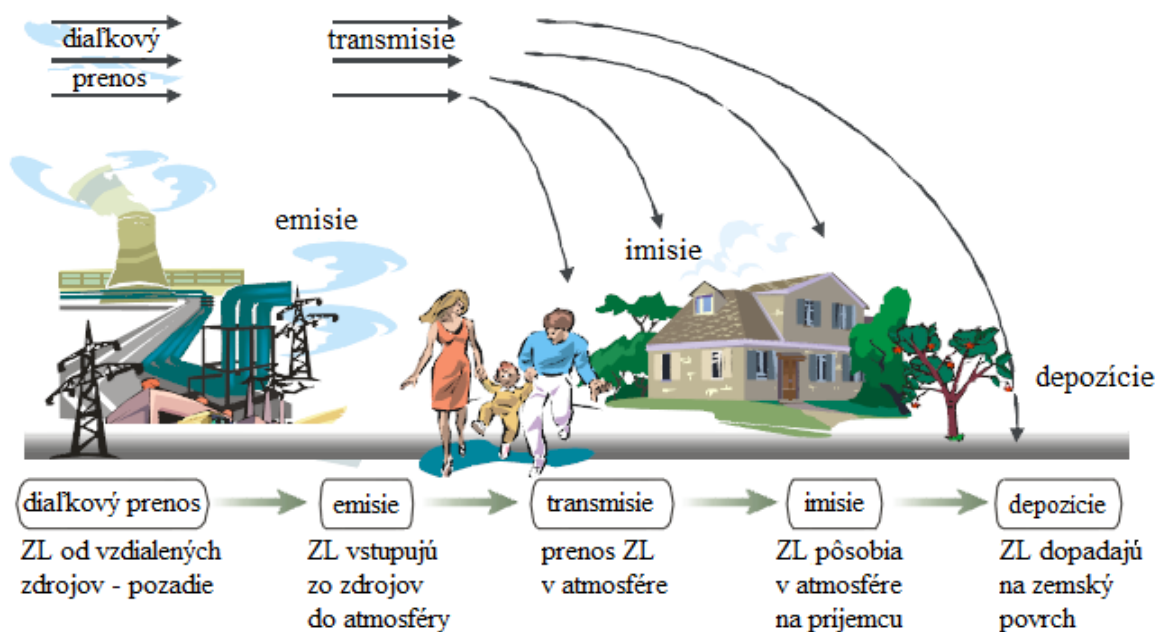
Pojem *znečistenie* ovzdušia chápeme ako prítomnosť alebo obsah (imisiu) LZO v ovzduší v takej miere a dobe trvania, pri ktorej sa prejaví nepriaznivé ovplyvňovanie životného prostredia. Tento pojem označuje určitý stav, ktorý je dôsledkom pôvodného deja.

Znečisťovanie ovzdušia má svoje príčiny a následky. Príčinou sú *emisie* (úlety) látok znečisťujúcich ovzdušie z jednotlivých zdrojov. Spojenie medzi príčinami a následkami obstaráva zemská atmosféra. Ovzduším sú znečisťujúce látky od zdrojov k príjemcom prenášané (transportované). Znečisťujúce látky, ktoré sa vyskytujú v prízemnej vrstve atmosféry a škodlivo pôsobia na zdravie ľudí a prírodu, označujeme ako *imisie* a tie, ktoré dopadnú na zemský povrch, ako *depozície*. V ovzduší prebiehajú taktiež zmeny (konverzie) jednotlivých druhov znečisťujúcich látok na iné, niekedy nebezpečnejšie ako tie pôvodné. Schematicky je dynamika znečisťovania ovzdušia znázornená na obrázku 3.5.

Atmosférické ZL sa v priebehu transportu (*transmisie*) v ovzduší pôsobením mnohých fyzikálnych a chemických procesov a reakcií premieňajú a postupne sú z atmosféry odstraňované vo forme:

- suchej atmosférickej depozície,
- mokrej atmosférickej depozície.

Suchá atmosférická depozícia ukladá atmosférické prímеси na zemský povrch pôsobením sedimentácie, adsorpcie, absorpcie a ďalších fyzikálnych pochodov a to vo forme plynnej alebo tuhej, tzv. tuhého spádu. Časť atmosférických prímесí tuhých, kvapalných a plyných je z ovzdušia vymývaná tzv. mokrymi procesmi. Vymývanie týchto ZL spôsobujú padajúce dažďové zrážky, sneh alebo iné formy zrážok.



Obrázok 3.5 Prenos znečisťujúcich látok v atmosfére [4]

Rozptyl znečisťujúcich látok v ovzduší

Na šírenie a rozloženie imisií do priestoru má vplyv niekoľko faktorov:

- zdroj – jeho výdatnosť, teplota a výstupná rýchlosť, výška nad terénom, časový režim,
- vlastnosti emisií – veľkosť, tvar, merná hmotnosť, elektromagnetické vlastnosti,
- meteorologické vplyvy,
- vplyv morfológie a povrchu terénu.

Všetky faktory navzájom súvisia, nemožno ich posudzovať samostatne. Najväčší vplyv na šírenie a rozloženie emisií sa prisudzuje meteorologickým a morfologickým podmienkam.

Inverzné poveternostné situácie

Veľký vplyv na rozptyl ZL v ovzduší má pochopiteľne rozvrstvenie teplôt vzduchu po výške. Najnebezpečnejšie situácie v rozptyle ZL vznikajú pri teplotných inverziách.

V prízemnej vrstve našej atmosféry teplota s výškou obvykle klesá rovnomerne a stredná hodnota predstavuje 0,6 °C (od 0,5 do 0,7 °C) na 100 m nadmorskej výšky.

Môžu však nastať aj prípady opačné. Obecne rozoznávame tri základné teplotné rozvrstvenia:

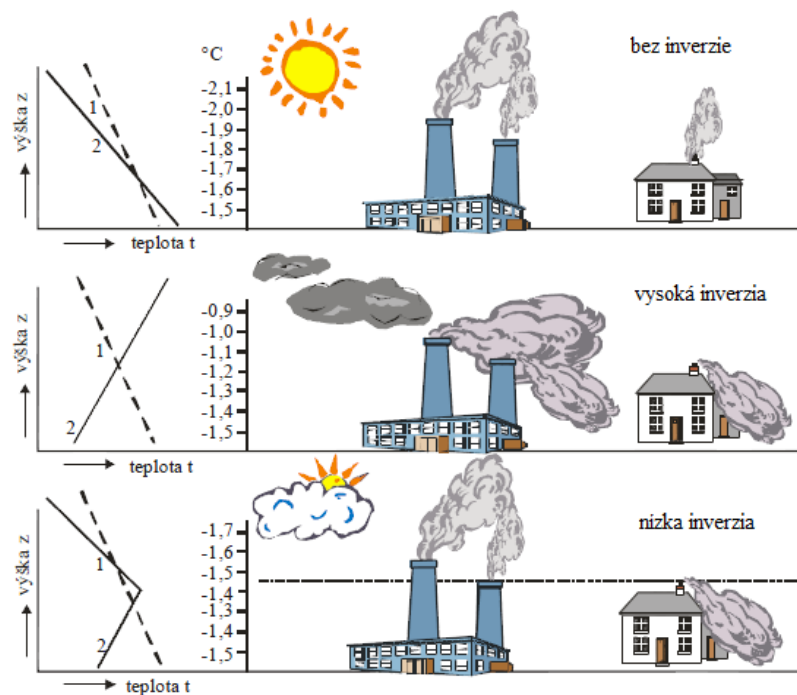
- labilné (veľký kladný gradient),
- indiferentné (nulový alebo veľmi malý kladný gradient),
- inverzné (veľký záporný gradient).

Pre priaznivý rozptyl ZL je najvýhodnejší stav labilný, naopak nežiaduci je stav inverzný.

Teplotné rozvrstvenie sa však môže v rôznych výškach meniť, môže prechádzať z jedného stavu na druhý. Najčastejšie sa vyskytujúce stavy počasia bez inverzie, s vysokou a nízkou inverziou sú schematicky znázornené na *obrázku 3.6*.

Poznámky:

- Pokles teploty s výškou je spôsobený prehriatím zemského povrchu slnečným žiarením. Teplejší vzduch (má menšiu mernú hmotnosť) v prízemnej vrstve sa stáva ľahším a preto stúpa dohora. Pri vzostupe vzduchu klesá jeho tlak, vzduch sa rozpína, čo vedie k jeho ochladzovaniu.
- Pomerne časté bývajú zimné, ale taktiež aj nočné a ranné inverzie. Prízemné inverzné situácie sa môžu vyskytovať aj v teplejších jarných a jesenných obdobiach, kedy ich pozorujeme ako hmly a opary. Inverzia je stav, kedy teplota vzduchu s výškou stúpa. V oblasti inverzie sa zastaví vertikálne (vzostupné) prúdenie vzduchu.
- Meteorológovia rozlišujú aj iné druhy a príčiny vzniku inverzií. Z hľadiska vzniku smogov nás ale najviac zaujímajú zimné inverzie, spôsobené nepriaznivým teplotným zvrstvením neprehriateho vzduchu.



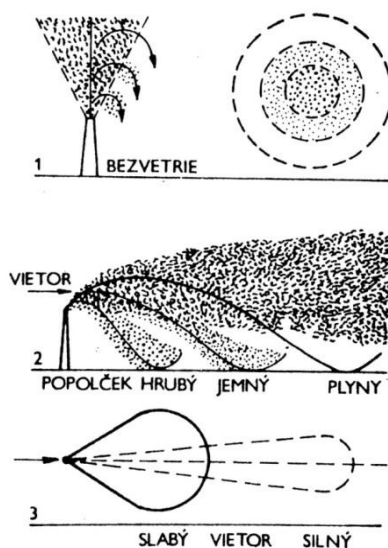
1 - suchoadiabatický teplotný gradient teploty, 2 - reálny (skutočný) teplotný gradient teploty

Obrázok 3.6 Charakteristické tvary dymových vlečiek v závislosti na vertikálnom teplotnom gradiente [4]

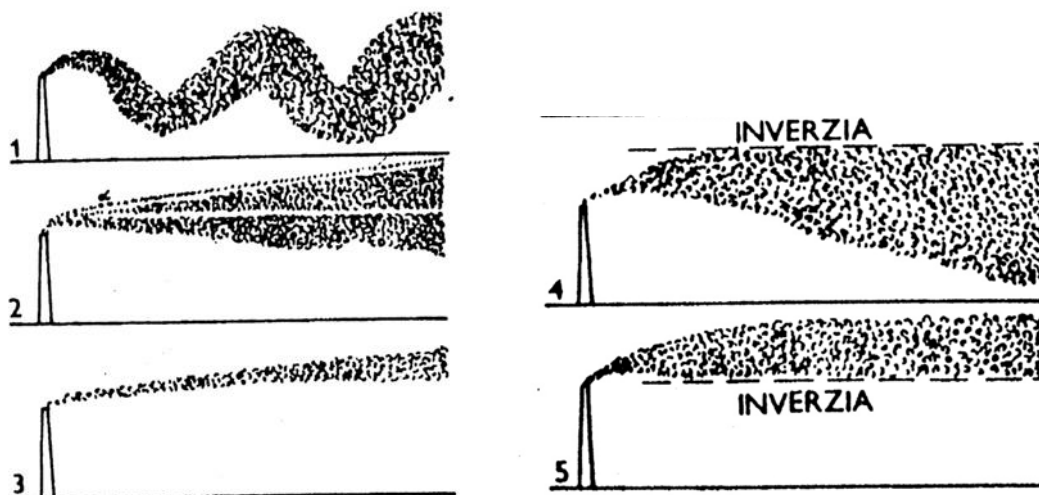
Ďalšie meteorologické faktory, ktoré pôsobia na rozptyl a rozloženie imisií:

- rýchlosť vetra – ovplyvňuje spádovú rýchlosť častíc,
- smer vetra – určuje smer dymovej vlečky, (berie sa do úvahy pri projektovaní),
- teplotné zvrstvenie – určuje typ dymovej vlečky,
- zrážky – zapríčiňujú tzv. samočistenie atmosféry [33].

Rozptyl dymu v ovzduší je znázornený na obrázku 3.7.



Obrázok 3.7 Rozptyl zložiek dymu v ovzduší [33]



Obrázok 3.8 Základné typy dymových vlečiek [33]

Tvar dymovej vlečky je závislý od fyzikálnych podmienok v atmosfére, od meteorologickej situácie. Základné typy dymových vlečiek sú znázornené na obrázku 3.8:

- typ 1 – slučkovitý tvar – vzniká pri vysokej turbulentii, za slnečných dní s bezoblačnou alebo polojasnou oblohou;
- typ 2 – kónický tvar – vzniká pri neutrálnych termálnych podmienkach, keď prevláda menšia mechanická turbulencia. Vyskytuje sa počas zamračených dní, keď je zohrievanie zemského povrchu sťažené;
- typ 3 – vejárovitý tvar – pri stabilných podmienkach, keď je termálna turbulencia obmedzená. Vytvára sa najčastejšie za jasných nocí, keď prebieha intenzívne vyžarovanie zemského povrchu;
- typ 4 – zadymovanie – pri prízemnej nestabilnej vrstve a stabilnej vrstve nad dymovou vlečkou. Za jasného rána, keď slnko ohrieva zemský povrch a ohriaty vzduch prudko stúpa nahor;
- typ 5 – strechovitý typ vlečky - pri nestabilnej vrstve nad vlečkou a stabilnej vrstve pod ňou. Podmienky priaznivé pre rozptyl ZL. Obyčajne sa vytvárajú popoludní a večer.

3.6 Dopravná prevádzka a životné prostredie

Doprava sa v posledných desaťročiach stala významným faktorom ovplyvňujúcim životné prostredie človeka či už v pozitívnom alebo negatívnom smere. Výpočet vplyvov dopravy na prostredie by musel zahŕňať znečistenie vznikajúce počas výroby dopravných prostriedkov, počas stavby a prevádzky komunikácií, zahrňujúc aj jej súčasti ako sú objekty a vybavenie ale aj kontaminácia z posypových solí, oteru pneumatík a povrchu vozovky a pod., ďalej je tu vplyv dopravy na fragmentáciu krajiny, kontaminácia prostredia spojená so skladovaním a transportom pohonných hmôt a taktiež významná je kontaminácia ovzdušia emisiami zo spaľovania pohonných hmôt (pozri tabuľku 3.1).

Najzávažnejším problémom je kontaminácia ovzdušia emisiami, predovšetkým pre ich významný vplyv na ľudské zdravie, najmä vo veľkých mestách s vysokou hustotou automobilovej dopravy. Odhaduje sa, že hmotnostná jednotka exhalátov z motorovej dopravy je vo veľkých obytných aglomeráciách 10 – násobná oproti exhalátom vznikajúcim z iných zdrojov (priemysel, vykurovanie). Príčinou emisií ZL z motorov vozidiel do voľného ovzdušia je predovšetkým spaľovanie pohonných hmôt. Výfukové plyny motorových vozidiel obsahujú množstvo chemických látok v rôznych koncentráciách s rôznymi účinkami na zdravie človeka. Do ovzdušia sa dostávajú predovšetkým oxidy dusíka (NO_x), polycyklické aromatické uhľovodíky (PAH) a oxidy uhlíka, najmä oxid uhoľnatý (CO).

Vplyv cestnej dopravy na množstvo emisií oxidu siričitého (SO₂) a olova (Pb) je možno vzhľadom na modernizáciu vozového parku považovať za menej významný. Problémom je však neustály nárast plynov prispievajúcich ku skleníkovému efektu: tzn. oxid uhličitý (CO₂) a predovšetkým oxid dusný (N₂O). K ďalším látkam, ktoré si zasluhujú pozornosť výskumu, patria aromatické a heterocyklické uhľovodíky, aldehydy, fenoly, ketóny, decht, sadze a tiež tzv. kovy zo skupiny platiny ako sú platina(Pt), paládium (Pd) a ródium (Rh).

Produkcia emisií ZL pri mobilných zdrojoch je závislá od počtu vozidiel a od výkonov, teda najazdených kilometrov. V tabuľke 3.2 je pre názornosť uvedený nárast počtu vozidiel v rokoch 2001 až 2011 a v nasledujúcej tabuľke 3.3 stagnácia dopravnej infraštruktúry.

Tabuľka 3.1 Produkcia emisií základných znečisťujúcich látok v SR v rokoch 2005 – 2010 (tis. t) [2]

			2005	2006	2007	2008	2009	2010
TZL	Stacionárne zdroje - NEIS	Veľké zdroje ¹	18,719	13,992	6,020	5,406	4,966	4,936
		Stredné zdroje ¹	2,392	2,281	1,979	1,764	1,554	1,474
		Malé zdroje ²	28,709	26,980	26,821	26,921	27,083	26,214
	Mobilné zdroje	Cestná doprava	2,849	2,610	3,074	2,791	2,470	2,745
		Ostatná doprava	0,359	0,336	0,353	0,325	0,295	0,388
	Spolu		53,028	46,199	38,247	37,207	36,368	35,758
SO₂	Stacionárne zdroje - NEIS	Veľké zdroje ¹	81,592	80,104	64,974	64,059	59,739	64,798
		Stredné zdroje ¹	2,107	1,902	1,598	1,246	0,991	0,906
		Malé zdroje ²	5,073	5,524	3,735	3,844	3,116	3,424
	Mobilné zdroje	Cestná doprava	0,189	0,177	0,204	0,210	0,194	0,211
		Ostatná doprava	0,047	0,044	0,047	0,045	0,041	0,072
	Spolu		89,008	87,751	70,558	69,404	64,081	69,410
NO_x	Stacionárne zdroje - NEIS	Veľké zdroje ¹	42,424	39,038	35,762	34,488	31,333	31,466
		Stredné zdroje ¹	4,377	4,992	3,542	3,575	3,389	3,485
		Malé zdroje ²	8,866	8,336	7,819	7,979	7,990	8,076
	Mobilné zdroje	Cestná doprava	41,473	39,561	43,838	43,249	37,638	40,510
		Ostatná doprava	4,723	4,427	4,654	4,568	3,854	5,010
	Spolu		101,863	96,354	95,615	93,859	84,204	88,547
CO	Stacionárne zdroje - NEIS	Veľké zdroje ¹	133,787	147,318	141,062	136,530	106,635	125,475
		Stredné zdroje ¹	5,853	5,350	5,330	4,518	4,104	4,446
		Malé zdroje ²	41,766	40,882	37,018	37,367	36,181	35,953
	Mobilné zdroje	Cestná doprava	89,077	77,516	59,244	65,068	59,568	53,489
		Ostatná doprava	1,566	1,452	1,533	1,446	1,360	1,926
	Spolu		272,049	272,518	244,187	244,929	207,848	221,289

Tabuľka 3.2 Počet motorových vozidiel v cestnej doprave SR [3]

Počet vozidiel	2001	2003	2005	2007	2008	2009	2010	2011
osobné	1292 843	1356 185	1303 704	1433 926	1544 888	1589 044	1669 065	1749 272
nákladné a dodávky	120 399	142 140	160 089	196 141	227 218	246 667	252 868	258 869
špeciálne	36 082	32 033	22 648	18 983	19 675	18 947	20 462	21 953
ťaháče	4 994	8 851	14 141	19 556	21 444	22 655	23 183	24 942
autobusy	10 649	10 568	9 113	10 480	10 537	9 400	9 350	9 074
traktory	63 422	61 690	46 544	44 098	45 387	45 769	46 092	46 846
motocykle	46 676	48 709	56 366	63 897	70 318	55 443	59 563	63 859
prívěsy a návěsy	202 627	218 517	188 411	199 329	211 555	218 724	226 333	234 502
ostatné	1 507	1 161	101	3 414	7 159	29 959	32 444	34 915
Spolu	1783 199	1879 854	1801 117	1989 824	2158 181	2236 608	2339 358	2442 231

Tabuľka 3.3 Dopravná infraštruktúra v SR v km [zdroj: MDVRR SR]

Infraštruktúra	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012
Dĺžka ciest a diaľnic	17 764	17 807	17 787	17 834	17 916	17 985	18 044
z toho diaľnice	296	302	316	328	384	416	419
Dĺžka železnič. tratí	3 662	3 657	3 660	3 658	3 622	3 622	3 624
z toho elektrifikovaných	1536	2101	1 556	1 577	1 577	1 577	1 578
Dĺžka splavných tokov	250	250	250	250	250	250	250
z toho Dunaj	172	172	38,45	172	38,45	172	172
kanály	38,45	38,45	38,45	38,45	38,45	38,45	38,45

Zhrnutie

Cestná doprava je hospodársky sektor, ktorý rastie v celosvetovom meradle vo väčšine ukazovateľov (spotreba palív, resp. energie, počet automobilov a prepravných výkonov) podstatne rýchlejšie, ako rastie HDP. Tým vznikajú a rastú aj súvisiace negatívne vplyvy na životné prostredie a zdravie obyvateľov. Legislatíva EÚ sa snaží, stanovením cieľov v oblasti klímy a energetiky, ktoré by sa mali splniť do roku 2020 a neskôr, tieto nepriaznivé environmentálne vplyvy emisie z dopravy čo najviac minimalizovať, a to prijatím integrovaného balíka opatrení na boj proti zmene klímy. Tento balík predstavuje jeden z piatich z hlavných cieľov stratégie Európa 2020 pre zamestnanosť a hospodársky rast.

Cieľom v oblasti zmeny klímy a energie je znížiť emisie skleníkových plynov o 20 % oproti dosiahnutým hodnotám z roku 1990.

4 Ekotoxikologické riziká vybraných znečisťujúcich látok produkovaných dopravou

4.1 Anorganické látky

4.1.1 Oxid uhoľnatý (CO)

Vzniká spaľovaním uhlíka za nedostatočného prístupu vzduchu alebo pri vysokých teplotách. Je taktiež súčasťou výfukových plynov spaľovacích motorov a značne prispieva k znečisťovaniu ovzdušia. Emisie CO pri zážihových i vznietových motoroch plynulou jazdou a vyššou rýchlosťou dopravného prúdu klesajú, naopak prudko stúpajú v priestoroch zaťažovaných križovatiek. Na celkovú produkciu CO z cestnej dopravy má preto podstatný pozitívny vplyv plynulosť premávky. Oxid uhoľnatý je jedovatý, pretože sa pri vdychovaní viaže na krvné farbivo hemoglobín ľahšie a pevnejšie než kyslík a zabraňuje tak prenosu kyslíku v organizme. Pri otravách sa objavujú zrakové a sluchové problémy, žalúdočné nevoľnosti, zvracanie, bolesti brucha. Pri ťažkej otrave je postihnutý v bezvedomí, môžu sa vyskytnúť kŕče, neskôr hlboké bezvedomie. Smrť udusením spôsobuje CO v koncentráciách až nad 750 mg/m³. Vo vzduchu dochádza k jeho oxidácii na oxid uhličitý, ktorý sa podieľa na skleníkovom efekte.

4.1.2 Oxid uhličitý (CO₂)

Je jediným zdrojom pre tvorbu ostatných uhlíkatých zlúčenín v živých organizmoch a má teda významnú úlohu v kolobe uhlíka, predovšetkým v procesoch fotosyntézy a dýchania. Popri dýchaní vzniká tiež pri kvasení, tlení, dokonale spaľovaní uhlíka a je konečným produktom spaľovania každej organickej látky. V atmosfére sa vyskytuje v koncentrácii približne 0,03 % a zaraďuje sa k plynom, ktoré sa najviac podieľajú na existencii skleníkového efektu na Zemi. Samotný oxid uhličitý je bezfarebný plyn, slabo kyslého zápachu, ťažší ako vzduch. Je nedýchateľný. Koncentráciu 1,5 % vo vzduchu znáša človek i pri viac hodinovom pôsobení bez následkov. Nebezpečné sú až koncentrácie

vyššie - napr. koncentrácia 3 – 5 % je životu nebezpečná po pol hodinovom pobyte, 8 – 10 % spôsobuje rýchlu stratu vedomia a smrť.

4.1.3 Oxidy dusíka (NO_x)

Spoločne s ozónom (O_3) sú hlavnými komponentmi tzv. letného alebo fotochemického smogu. Najrozšírenejším oxidom dusíka v atmosfére je oxid dusný (N_2O), ktorého hlavným zdrojom sú denitrifikačné baktérie v pôde a v povrchovej vrstve oceánov. N_2O je však relatívne málo reaktívny a tak na chemické procesy v atmosfére prakticky nemá vplyv. Naproti tomu oxidy dusnatý a dusičitý (NO a NO_2) sa aktívne podieľajú na vzniku tzv. fotochemického smogu a používa sa pre ne obvykle pojem suma oxidov dusíka a symbol NO_x .

V určitých zamestnaniach (napr. dopravná polícia, vodiči atd.) sú pracovníci vystavení vysokým koncentráciám NO_x . Škála patologických javov v pľúcach vyplývajúcich z profesionálnej expozície NO_x siaha od miernych zápalových reakcií na sliznici pri nízkych koncentráciách až po bronchitídu, bronchopneumoniu alebo aj akútny pľúcny edém pri vysokých koncentráciách.

Epidemiologické štúdie dokazujú nárast respiračných chorôb u detí mladších ako 12 rokov vystavených vysokým koncentráciám NO_2 . Bolo zistené, že už pri malom náraste jeho koncentrácie dochádza k významnému zvýšeniu pravdepodobnosti respiračného ochorenia. Opakované respiračné ochorenia v detstve sú považované za rizikový faktor, ktorého následky sa v dospelosti prejavujú väčšou dispozíciou k ochoreniam pľúc [6]. Oxidy dusíka v atmosfére reagujú s prítomnými polycyklickými aromatickými uhľovodíkmi pri vzniku nitroderivátov (tzv. nitro-PAU), ktoré sú predmetom záujmu pre svoje mutagénne a karcinogénne účinky [7].

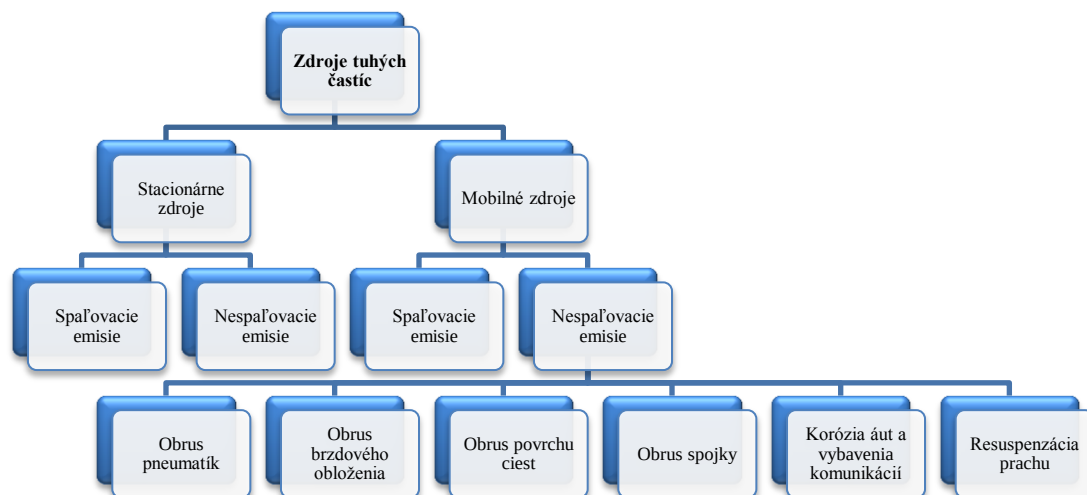
4.1.4 Tuhé častice (PM)

Hlavné priority ochrany ovzdušia v Európe v súčasnosti predstavujú jemné aerosólové častice (PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$) a prízemný ozón. V mnohých európskych štátoch je problémom dodržať v mestách prísne limitné hodnoty pre PM_{10} . Koncentrácie PM ovplyvňujú prírodné zdroje, regionálne antropogénne zdroje, diaľkový prenos a početné lokálne antropogénne zdroje. Pestré je aj chemické zloženie (organický a elementárny uhlík, minerálny prach, morský aerosól, sekundárne častice, najmä sírany a dusičnany, ťažké kovy a ďalšie látky). Regionálne pozadie v mestách zvyšuje doprava, najmä naftové motory, lokálny priemysel a vykurovanie, resuspenzia častíc z ulíc a ďalšie zdroje. Toxicita častíc obecné rastie s ich zmenšujúcimi sa rozmermi.

Základným predpokladom pre znižovanie znečistenia je vedomosť, z čoho konkrétne znečistenie tuhými časticami pochádza (zdroj znečistenia) a do akej miery je škodlivé pre životné prostredie.

PM zahrňujú častice pevného a kvapalného materiálu o veľkosti od 1 nm až po 100 μm , zostávajúce určitú dobu v ovzduší (tab.4.1). V atmosfére sa s nimi stretávame v podobe zložitej heterogénnej zmesi z hľadiska veľkosti častíc a ich chemického zloženia. PM sa vyznačujú svojimi špecifickými fyzikálnymi (tvar), veľkosť, elektrický náboj, povrch častíc a rozpustnosť) a chemickými vlastnosťami (anorganické a organické zložky), ktoré závisia na ich zdroji, mechanizme vzniku a ďalších podmienkach (vzdialenosť od zdroja, meteorologické podmienky). Z fyzikálnych vlastností je pre emitované častice rozhodujúce hlavne zastúpenie jednotlivých veľkostných frakcií častíc.

V ovzduší sa nevyskytujú častice z jedného zdroja samostatne, ale dochádza k miešaniu vstupov z najrôznejších zdrojov (obr.4.1). Poznanie veľkosti, tvaru a chemického zloženia častíc umožňuje robiť túto identifikáciu. Zloženie vzniknutej zmesi častíc je však ovplyvnené mimo vstupov (rozmiestnenie v čase a priestore), diaľkovým transportom a meteorologickými podmienkami [15].



Obrázok 4.1 Rozdelenie zdrojov podieľajúcich sa na tvorbe tuhých častíc v okolitom ovzduší [15]

Tabuľka 4.1 Typické veľkosti pevných častíc v mestskom ovzduší a ich pôvod [15]

Priemer	Materiál	Pôvod
≈ 50 μm	Guma, minerálny materiál, zlepený prach, kúsky hmyzu	Pneumatiky, erózia povrchu a staveniská
≈ 10 μm	Kvapôčky hmly, peľ, baktérie, popolček, pôdny materiál	Kondenzácia vody, biologický pôvod, spaľovanie, veterná erózia, resuspenzia prachu na vozovkách
≈ 5 μm	Popolček, pôdny materiál	
≈ 1 μm	„Mokrú časticu“, soľ z morskej vody	Síran, dusičnan narastený do roztoku kvapiek s pohltitím vody vo vlhkom prostredí
≈ 0,5 μm	Sírany, dusičnany, organické častice. „Mixované častice“	Rôznorodé spaľovacie procesy, konečný produkt kondenzácie na jestvujúcich časticách. Znovu vyparené a spracované mračná kvapôčok
≈ 0,1 μm	Sadze, cigaretový decht a popol	Vnútrotné spaľovacie motory, fajčenie
≈ 30 nm	Metallurgické výpary a kondenzácia	Spracovanie kovu, primárne častice z dieselových motorov
≈ 10 nm	Prechod plynu na častice	Reakcie predchodcov plynov
≈ 3 nm	Pôvodné jadrá foto oxidácie	

Za veľmi nepriaznivé z hľadiska vplyvov na zdravie sa dnes všeobecne pokladajú dve znečisťujúce látky – jemné tuhé častice a prízemný ozón. Ich dlhodobé pôsobenie a vysoká hladina v ovzduší môže viesť k mnohým dopadom na zdravie, počnúc menším podráždením dýchacieho systému až po predčasnú smrť. Termín tuhé častice je používaný na označenie rozličných malých častíc z takých zdrojov, ako napríklad výfukové plyny z automobilov a dym z domácich kotlov na tuhé palivá, ktoré poškodzujú pľúca. Vystavenie takýmto časticám môže škodiť ľuďom každého veku, avšak osoby so srdcovými alebo dýchacími problémami sú obzvlášť ohrozené. Podľa posledných údajov agentúry EEA (Európska environmentálna agentúra) od roku 1997 až 50 % obyvateľov Európskych miest môže byť vystavených koncentráciám tuhých častíc nad limitnou hodnotou stanovenou WHO na ochranu

ľudského zdravia. Odhaduje sa, že $PM_{2.5}$ (jemné tuhé častice) v ovzduší znižujú štatistickú dĺžku života v EÚ o viac ako osem mesiacov. Agentúra EEA zaznamenala, že zatiaľ čo emisie týchto dvoch hlavných znečisťujúcich látok v ovzduší od roku 1997 klesli, namerané koncentrácie vo vzduchu, ktorý dýchame zostali prevažne na tej istej úrovni. Zatiaľ sa nevie, prečo nedošlo k poklesu koncentrácií v okolitom ovzduší, mohlo to byť spôsobené kombináciou viacerých faktorov. Zvýšené teploty spôsobené klimatickou zmenou taktiež ovplyvňujú kvalitu ovzdušia [15].

Hlavnou príčinou škodlivosti tuhých častíc je ich schopnosť na seba naviazať rôzne škodlivé (toxické) látky. Existuje niekoľko faktorov, ktoré môžu ovplyvniť toxicitu pevných častíc v ovzduší.

Jedinou expozičnou cestou ako sa PM môžu dostávať do ľudského organizmu je inhalácia. Zdravotná významnosť prachu závisí od veľkosti častíc. Zatiaľ čo väčšie častice (nad $10\ \mu m$) môžu pôsobiť iba podráždenie horných dýchacích ciest s kašľom, kýchaním a dráždenie očných spojiviek, menšie častice sa dostávajú až do dolných dýchacích ciest a častice s rozmerom pod $2,5\ \mu m$ môžu prestupovať do pľúcnych alveol a buď sa usadzovať v pľúcach alebo prenikať do krvného obehu.

Zvýšená prašnosť v ovzduší všeobecne pôsobí dráždivo na dýchacie cesty a spravidla sa vyskytuje spolu s ďalšími škodlivinami, ako sú oxid siričitý alebo oxidy dusíka.

4.1.5 Oxid siričitý (SO_2)

Je bezfarebný jedovatý plyn štipľavého zápachu. Prirodzeným spôsobom sa do atmosféry dostáva pri sopečnej činnosti. Medzi najvýznamnejšie antropogénne zdroje patrí spaľovanie fosílnych palív. V ovzduší z neho môže vznikáť kyselina sírová, ktorej negatívny vplyv spočíva v okysľovaní dažďových zrážok. Účinok oxidu siričitého na človeka a živočchy je dráždivý. U človeka môže vyvolať dýchacie problémy. Oxid siričitý má negatívny vplyv taktiež na rastliny. Jeho akútne pôsobenie sa prejaví odumretím častí listov, ich zbelením alebo zhnednutím. Chronické pôsobenie vyvoláva zníženie schopnosti fotosyntézy [6].

4.1.6 Ozón (O_3)

Ozón je považovaný za biologicky najaktívnejšiu zložku fotochemického smogu. Expozícia O_3 spôsobuje bunčné a štrukturálne zmeny pľúcneho tkaniva, pričom celkový vplyv spočíva v zníženej schopnosti pľúc vykonávať normálnu funkciu [8]. Akútna expozícia ozónu vyvoláva radu symptómov [9]:

- a) symptómy postihnutia horných ciest dýchacích – prekrvenie nosnej sliznice, zvýšená sekrécia, dráždenie krku,
- b) symptómy postihnutia dolných ciest dýchacích – kašeľ s produkciou hlienu, pocit tlaku na hrudi, pálenie za hrudnou kosťou,
- c) nerespiračné symptómy – dráždenie očných spojiviek, bolesť hlavy, únava, nespavosť.

Vplyvy dlhodobej expozície sú stále nejasné, ale je pravdepodobné, že u detí a mladých osôb môžu viesť k chronickému zhoršeniu celkového vývoja a pľúcnych funkcií [6].

4.1.7 Olovo (Pb)

V posledných desaťročiach dvadsiateho storočia prebehla celosvetová kampaň v boji proti používaniu olova na zvýšenie oktanovej kvality benzínu. Výsledkom tejto kampane bol prechod na nízko olovnaté a bezolovnaté benzíny, ktorý vyústil k zastaveniu výroby a tým aj zrušeniu predaja olovnatého benzínu v SR (1. 1. 1997). Olovo je preukázateľne toxické vo vysokých dávkach. Hlavnými zdrojmi expozície pre človeka sú potraviny, voda, prach a ovzdušie. Podiel vzdušného Pb na obsahu Pb v krvi sa odhaduje len na 10 %. V súvislosti s vylúčením Pb z benzínov používajú rafinérie rôzne

zlúčeniny na zabezpečenie októanovej kvality benzínov. Jedná sa najmä o benzén, toluén alebo xylén. Ale ani použitie týchto zlúčenín nie je z hľadiska zdravia a životného prostredia bez rizika.

4.2 Organické látky

4.2.1 Benzén

Je zložkou surovej nafty a v Európe je prítomný v automobilovom benzíne v podiele 5 %, niekedy i viac než 10 %. Významným zdrojom benzénu popri odparovaní pohonných hmôt a výfukových plynov je taktiež aktívne a pasívne fajčenie. Koncentrácie benzénu v ovzduší obytných oblastí sa pohybujú väčšinou v rozmedzí $3 \mu\text{g.m}^{-3}$ – $30 \mu\text{g.m}^{-3}$ (0,001–0,01) ppm v závislosti na intenzite dopravy. Prahový denný príjem benzénu inhalačnou cestou môže byť v rozmedzí od 30 do $300 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Denný príjem z jedla a vody je odhadnutý na $100 \mu\text{g.m}^{-3}$ – $250 \mu\text{g.m}^{-3}$. U ľudí fajčiacich 20 cigariet denne by mohol denný príjem vzrásť približne na $600 \mu\text{g.m}^{-3}$. Benzén je preukázaný ľudský karcinogén zaradený do skupiny A podľa US EPA [10]. Mechanizmus jeho karcinogénneho pôsobenia je genotoxický a preto preň nie je možné stanoviť teoretický bezpečný limit v ovzduší. Toxický vplyv benzénu pochádzajúceho z inhalačnej expozície zahŕňa u ľudí napr. vplyvy na centrálnu nervovú sústavu, hematologické a imunologické vplyvy [11].

4.2.2 Toluén

Toluén sa používa v zmesiach s benzénom a xylénom ako prímies pre zvyšovanie októanového čísla automobilových benzínov. Experimenty na zvieratách ukázali, že väčšina inhalovaného toluénu je distribuovaná do tukového tkaniva, nadľadviniek, ľadvín a mozgu. Toluén je v pečeni metabolizovaný a tieto metabolity sú vylučované ľadvinami.

Štúdie zdravotných vplyvov toluénu boli vykonávané väčšinou u pracovníkov profesionálne exponovaných a u narkomanov zámerne zneužívajúcich toluén. Boli preukázané vážne poškodenia centrálnej nervovej sústavy a poškodenie chromozómov periférnych lymfocytov. Vzhľadom k tomu, že expozícia bežnej populácie sa líši od zmienovaných prípadov, nie sú predpokladané významnejšie vplyvy na zdravie človeka.

4.2.3 MTBE

Problémy so znečisťovaním životného prostredia sa vyskytujú predovšetkým v spojitosti so spaľovaním benzínu. Výskyt niektorých špecifických polutantov je ale rovnako ovplyvnený aj prísadami používanými k dosiahnutiu vyššieho výkonu spaľovacieho motoru.

Do motorových palív sa často pridávajú kyslíkaté organické zlúčeniny (oxygenáty) ako MTBE a etanol pre zvýšenie októanového čísla a zlepšenie spaľovacích podmienok. Následkom toho dôjde ku zníženiu emisií oxidov uhlíku, ale zároveň zvýšeniu emisií oxidov dusíku, uhľovodíkov a zvýšeniu potenciálu k tvorbe ozónu. Použitie etanolu je problematickejšie v súvislosti s výskytom nečistôt v etanole, čo môže viesť k znehodnoteniu paliva. Preto sú pri použití oxygenátov uprednostňované étery [12].

MTBE je horľavá kvapalina s nepríjemným zápachom. Od osemdesiatych rokov minulého storočia je používaná ako aditívum do bezolovnatých benzínov pre dosiahnutie účinnejšieho spaľovania. V lekárstve sa napr. používa na rozpúšťanie žľových kameňov. MTBE sa rýchlo odparuje z otvorených kontajnerov a povrchovej vody. V malých množstvách sa môže vo vode rozpúšťať, dostávať sa do podzemných vôd, kde môže pretrvávať dlhú dobu. Môže dochádzať k jeho väzbe na častice vo vode a následnému ukladaniu v sedimentoch. Vo vzduchu môže byť rýchlo odbúravaný slnečným svetlom. Pri rastlinách a živočíchoch sa významne nekumuluje [13, 14].

K expozícii MTBE môže dochádzať počas čerpania benzínu dotykom alebo vdychovaním kontaminovaného vzduchu, vdychovaním výfukových plynov počas vedenia automobilu, vdychovaním vzduchu v blízkosti diaľnic alebo v mestách, pitím, plávaním alebo sprchovaním sa vo vode kontaminovanej MTBE. Podľa US EPA má samotné MTBE nízku akútnu inhalačnú toxicitu a strednú akútnu toxicitu pri požití.

Výrobca dodáva neaditívovaný benzín, s výnimkou bezolovnatého benzínu, ktorý je aditívovaný draselnou soľou kyseliny sulfojantarovej. Ostatné aditívácie sú záležitosťou distribučných spoločností.

Zhrnutie teoretickej časti

Tuhé častice (PM) a sadze - vznikajú spaľovaním palív a spôsobujú okrem zdravotných problémov ľuďi aj znečistenie pamiatok a budov. Dochádza k zvyšovaniu nákladov na čistenie a údržbu. Úloha tejto znečisťujúcej látky v probléme globálneho otepľovania je stále podceňovaná.

Oxidy dusíka (NO_x) - prispievajú k tvorbe kyslých dažďov, postihujúcich pôdu a vegetáciu. Podieľajú sa na zvyšovaní koncentrácií nitrátov v pôde a povrchových vodách. Významná je ich úloha pri tvorbe ozónu.

Ozón (O₃) - spôsobuje poškodzovanie rôznych druhov poľnohospodárskych plodín i prírodnú vegetáciu. Je významným oxidačným činiteľom spôsobujúcim zhoršenie kvality vonkajších materiálov. Nízke úrovne koncentrácií ozónu majú vplyv pri skleníkovom efekte.

Oxid siričitý (SO₂) - prispieva k tvorbe kyslých dažďov, postihujúcich pôdu a vegetáciu rovnako ako niektoré druhy kameňa používaného v stavebníctve.

Oxid uhľnatý (CO) - má význam pre tvorbu ozónu. Je taktiež menený na oxid uhličitý (CO₂), ktorý je rovnako produkovaný pri spaľovaní palív. CO₂ nemá priame nepriaznivé zdravotné dopady, jedná sa však o človekom najrozšírenejší skleníkový plyn v atmosfére.

Olovo (Pb) a ťažké kovy - hromadia sa v pôde a dostávajú sa do potravinového reťazca niektorých druhov zvierat, ktorým spôsobujú zdravotné problémy.

Na základe popisu účinkov znečisťujúcich látok pôsobiacich v ovzduší na zdravotný stav obyvateľov a označenia rizík, ktoré z toho vyplývajú je zrejma skutočnosť, že je potrebné aj naďalej dôsledne vykonávať monitoring ovzdušia v okolí cestných komunikácií a venovať náležitú pozornosť aj jeho vyhodnocovaniu, aby boli zhodnotené všetky poznatky, ktoré je možné jeho analýzou získať a ďalej využívať v procese prípravy nových stavieb.

5 Rozbor vykonaných meraní úrovne znečistenia ovzdušia

Ako prípravu pre rozbor vykonaných meraní úrovne znečistenia ovzdušia v okolí ciest a diaľnic sme sa rozhodli vykonať rozbor systému hodnotenia kvality ovzdušia v okolitých krajinách a EÚ.

5.1 Hodnotenie miery znečistenia ovzdušia

Ako nástroj pre komplexné hodnotenie miery znečistenia ovzdušia sa v mnohých krajinách používa Index kvality ovzdušia (IKO). Boli vytvorené viaceré modifikácie IKO, ktoré sa líšia požiadavkami na rozsah vstupných dát a ich vyhodnotenie. Pre všetky je však spoločným kritériom hodnotenia vplyv škodlivín v ovzduší na ľudské zdravie. IKO by malo slúžiť na informovanie verejnosti zrozumiteľnou formou o úrovni znečistenia ovzdušia, nakoľko samotné namerané číselné hodnoty pre ľudí nemusia mať výpovednú hodnotu z pohľadu zdravotných dopadov pôsobiacich koncentrácií.

IKO používajú v mnohých krajinách, napr. v USA, Číne, Hongkongu, Malajzii, Novom Zélande, Mexiku, Kanade, Švédsku, Fínsku, Španielsku, Francúzsku, Belgicku a iných, nie je zatiaľ medzinárodne prijatá

jednotná metodika. Jednotlivé výpočty však uplatňujú štyri zásady: výber znečisťujúcich látok vstupujúcich do hodnotenia IKO, použitie zodpovedajúcej funkcie závislosti škodlivých účinkov na expozícii, výber relatívnej stupnice pre kvantifikáciu indexu a algoritmus výpočtu celkového indexu [17, 18].

5.1.1 Hodnotenie miery znečistenia ovzdušia podľa US EPA

Samotné hodnotenie úrovne znečistenia ovzdušia je previazané s meraním a zisťovaním úrovne znečistenia ovzdušia jednotlivými škodlivými látkami. Úroveň znečistenia sa vyjadruje predovšetkým v koncentráciách znečisťujúcej látky v ovzduší. Čo nám samotná koncentrácia znečisťujúcej látky hovorí o zdravotných rizikách konkrétneho množstva škodliviny vo vzduchu nie je až tak jasné. Spojítkom medzi jednotlivými úrovňami koncentrácií znečisťujúcich látok a ich zdravotnými rizikami predstavuje tzv. index kvality ovzdušia – AQI [19]. Ten jasne a zrozumiteľne pre širokú verejnosť vysvetľuje zdravotné riziko a ohrozenie jednotlivými úrovňami znečistenia ovzdušia. Jeho uplatnenie je možné aj v iných oblastiach, ako napríklad pri hodnotení dopadov činností za životné prostredie. Je jasným ukazovateľom prípadného zhoršenia alebo zlepšenia životného prostredia pri samotnom budovanom diele alebo jeho širšom okolí. Výsledky meraní a zisťovaní znečistenia ovzdušia nie sú už len určité čísla, ktoré je možné porovnať navzájom z viacerých meraní alebo s konkrétnymi limitmi, ale AQI predstavuje určitú interpretovateľnosť nameraných hodnôt vzhľadom na možnú škodlivosť danej koncentrácie na ľudské zdravie.

AQI je index pre vykazovanie dennej kvality ovzdušia. Hovorí o tom, aké čisté alebo znečistené je naše ovzdušie, a to je spojené so zdravotnými rizikami. EPA počíta AQI pre päť hlavných látok znečisťujúcich ovzdušia, ktoré upravuje zákon o ochrane ovzdušia: prízemný ozón, pevné častice, oxid uhoľnatý, oxid siričitý a oxid dusičitý. Pre každú z týchto látok, vytvorila EPA národné normy kvality ovzdušia pre ochranu verejného zdravia. Prízemný ozón a častice vo vzduchu sú dve znečisťujúce látky, ktoré predstavujú najväčšiu hrozbu pre ľudské zdravie.

Čím vyššia je hodnota AQI, tým vyššia je úroveň znečistenia ovzdušia a tým väčšie je riziko poškodenia zdravia. Napríklad hodnota AQI 50 predstavuje dobrú kvalitu vzduchu s malým potenciálnym vplyvom na verejné zdravie, zatiaľ čo hodnota AQI cez 300 predstavuje nebezpečnú kvalitu ovzdušia.

Hodnota AQI 100 všeobecne zodpovedá národnej norme kvality ovzdušia pre znečisťujúce látky. AQI hodnoty menšie ako 100 sa považujú za všeobecne uspokojivé. Keď AQI hodnoty sú nad 100, kvalita ovzdušia je považovaná za nezdravú, spočiatku len pre niektoré citlivé skupiny ľudí, potom pre každého, pokiaľ AQI rastie.

Účelom AQI je pomôcť pochopiť, čo kvalita miestneho ovzdušia znamená pre zdravie. Každá kategória zodpovedá inej úrovni zdravotného rizika. Šesť úrovní zdravotných problémov je popísaných nasledovne (viď. tab.5.1):

- "Dobrý" - AQI je 0-50. Kvalita ovzdušia je považovaná za uspokojivú, a znečistenie ovzdušia predstavuje malé alebo žiadne riziko.
- "Stredný" - AQI je 51 - 100. Kvalita ovzdušia je prijateľná, ale pre určité znečisťujúce látky môže byť mierne zdravotné riziko pre veľmi malý počet ľudí. Napríklad ľudia, ktorí sú nezvyčajne citliví na ozón – príznaky malátnosti.
- "Nezdravý pre citlivé skupiny" - AQI je 101-150. Aj keď verejnosť pravdepodobne nebude ovplyvnená v tomto rozsahu AQI, osoby s pľúcnym ochorením, staršie osoby a deti sú vo

väčšom nebezpečenstve z vystavenia sa ozónu a osoby s ochorením srdca a pľúc, staršie osoby a deti sú vo väčšom nebezpečenstve z prítomnosti častíc vo vzduchu.

- "Nezdravý" - AQI je 151-200. U každého môže začať dochádzať k nepriaznivým účinkom na zdravie a členovia citlivých skupín môžu mať aj vážnejšie následky.
- "Veľmi nezdravý" - AQI je 201-300. To by vyvolalo zdravotné upozornenie, že všetci môžu mať vážnejšie zdravotné účinky.
- "Nebezpečný" - AQI je väčší ako 300. To by vyvolalo zdravotné varovania núdzových podmienok. Celá populácia je pravdepodobne ovplyvnená.

Tabuľka 5.1 Intervaly indexu kvality ovzdušia podľa US EPA

Index kvality ovzdušia (AQI)	Úroveň kvality ovzdušia	Farebné označenie	Význam
0-50	Dobrá	Zelená	Kvalita ovzdušia je považovaná za uspokojivú a znečistenie ovzdušia predstavuje malé alebo žiadne riziko.
51-100	Stredná	Žltá	Kvalita ovzdušia je prijateľná, ale pri určitých znečisťujúcich látkach môže byť mierne zdravotné riziko pre veľmi malý počet ľudí, ktorí sú mimoriadne citliví na znečistenie ovzdušia.
101-150	Nezdravá pre citlivé skupiny	Oranžová	U ľudí citlivých skupín môže dôjsť k účinkom na zdravie. Nie je pravdepodobné, že bude ovplyvnená široká verejnosť.
151-200	Nezdravá	Červená	Každý môže začať pociťovať vplyv na zdravie, u ľudí citlivých skupín môže dôjsť k vážnejším zdravotným účinkom.
201-300	Veľmi nezdravá	Purpurová	Zdravotné varovania núdzových podmienok. Celá populácia je pravdepodobne ovplyvnená.
301-500	Nebezpečná	Gaštanovo hnedá	Zdravotné upozornenie: všetci môžu mať vážnejšie zdravotné následky.

Určenie AQI

Sledované znečisťujúce látky sú monitorované na monitorovacích staniciach v rámci krajiny alebo sú uskutočňované indikatívne merania. Hodnoty AQI sú určované pre každú znečisťujúcu látku separátne (ozón, pevné častice, oxid uhoľnatý, oxid dusičitý, oxid siričitý). Najväčšia hodnota AQI je reportovaná ako celkový AQI pre sledovaný monitorovací priestor.

AQI je vyčísľované pre každú znečisťujúcu látku samostatne a jeho hodnota je vyčísľovaná nasledovne (tabuľka 5.2):

- zistenie príslušných koncentrácií jednotlivých znečisťujúcich látok,
- použitie tabuľky 5.1, nájdenie dvoch hraničných hodnôt, do ktorých patrí príslušná koncentrácia polutantu,
- použitie vzťahu 5.1, vypočítanie indexu I_p ,
- zaokrúhľenie indexu na najbližšie celé číslo.

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo} \quad (5.1)$$

kde:

I_p = index pre polutant p ,

C_p = príslušná koncentrácia polutantu p ,

BP_{Hi} = hraničná hodnota koncentrácie, ktorá je väčšia alebo rovná ako C_p ,

BP_{Lo} = hraničná hodnota koncentrácie, ktorá je menšia alebo rovná ako C_p ,

I_{Hi} = hodnota AQI prislúchajúca k BP_{Hi} ,

I_{Lo} = hodnota AQI prislúchajúca k BP_{Lo} .

Tabuľka 5.2 Hraničné hodnoty pre AQI podľa US EPA

Hraničné hodnoty koncentrácií							Príslušná hodnota AQI	Kategória AQI
O ₃ [ppm] 8-hod	O ₃ [ppm] 1-hod	PM ₁₀ [µg/m ³] 24-hod	PM _{2,5} [µg/m ³] 24-hod	CO [ppm] 8-hod	SO ₂ [ppb] 1-hod	NO ₂ [ppb] 1-hod	AQI	
0,000 - 0,059	~	0 - 54	0,0 - 15,4	0,0 - 4,4	0 - 35	0 - 53	0 - 50	Dobrá
0,060 - 0,075	~	55 - 154	15,5 - 40,4	4,5 - 9,4	36 - 75	54 - 100	51 - 100	Stredná
0,076 - 0,095	0,125 - 0,164	155 - 254	40,5 - 65,4	9,5 - 12,4	76 - 185	101 - 360	101 - 150	Škodlivá pre senzitívne skupiny
0,096 - 0,115	0,165 - 0,204	255 - 354	(65,5 - 150,4)	12,5 - 15,4	(186 - 304)	361 - 649	151 - 200	Škodlivá
0,116 - 0,374	0,205 - 0,404	355 - 424	(150,5 - 250,4)	15,5 - 30,4	(305 - 604)	650 - 1249	201 - 300	Veľmi škodlivá
.	0,405 - 0,504	425 - 504	(250,5 - 350,4)	30,5 - 40,4	(605 - 804)	1250 - 1649	301 - 400	Nebezpečná
.	0,505 - 0,604	505 - 604	(350,5 - 500,4)	40,5 - 50,4	(805 - 1004)	1650 - 2049	401 - 500	Veľmi nebezpečná

5.1.2 Hodnotenie miery znečistenia ovzdušia podľa CAQI – Európsky index kvality ovzdušia

V rámci programu INTERREG IIIC bol zrealizovaný v rokoch 2004 až 2007 projekt CITEAIR – Common Information to European Air. Zapojilo sa 50 európskych miest vrátane Prahy, Brna, pôvodne aj Bratislavy, ktorá však projekt v roku 2006 ukončila. Jedným z výstupov projektu bolo spracovanie spoločného indexu kvality ovzdušia CAQI – Common Air Quality Index, ktorý umožňuje vzájomné porovnávanie kvality ovzdušia európskych miest. Jeho dôležitým rysom je dôsledné rozlišovanie medzi dopravnými a pozadovými stanicami imisného monitoringu [20]. CAQI sa určuje na základe

výpočtovej schémy uvedenej v tabuľke 5.3. na základe lineárnej interpolácie. Z čiastkových indexov znečisťujúcich látok sa vyberá maximálna hodnota, ktorá definuje výsledný index. Pre dopravné stanice vyhodnocuje CAQI koncentrácie NO₂ a PM₁₀. Doplnkovo môže byť zahrnuté CO, zatiaľ čo u pozadových staníc sa vyhodnocuje NO₂, PM₁₀ a O₃ a doplnkovo môže byť vyhodnotené CO a SO₂. Aktuálne hodnoty CAQI sú dostupné na [20].

Tabuľka 5.3 Európsky index kvality ovzdušia CAQI – CITEAIR [20]

Index	Úroveň	Dopravné stanice			Pozadové stanice				
		NO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂	PM ₁₀	O ₃	CO	SO ₂
veľmi nízky	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25	50	25	5000	50	25	60	5000	50
nízky	25	50	25	5000	50	25	60	5000	50
	50	100	50	7500	100	50	120	7500	100
stredný	50	100	50	7500	100	50	120	7500	100
	75	200	75	10000	200	75	180	10000	300
vysoký	75	200	75	10000	200	75	180	10000	300
	100	400	100	20000	400	100	240	20000	500
veľmi vysoký	>100	>400	>100	>20000	>400	>100	>240	>20000	>500
NO ₂ , O ₃ , SO ₂ hodinová koncentrácia / max. hodinová koncentrácia v µg.m ⁻³ CO 8-hod. kľzavý priemer / max. 8-hod. kľzavý priemer v µg.m ⁻³ PM ₁₀ hodinová koncentrácia / max. hodinová koncentrácia v µg.m ⁻³ Ak mesto neuvádza hodinové koncentrácie, ale len 24-hod. priemery, použijú sa tie, s korekciou 0,63									

5.1.3 Hodnotenie miery znečistenia ovzdušia vo Veľkej Británii

Vo Veľkej Británii bol pôvodne index znečistenia ovzdušia API - Air pollution index zavedený s delením na štyri pásma znečistenia: nízke, mierne, vysoké a veľmi vysoké znečistenie [18]. Neskôr bol tento systém prepracovaný na podrobnejšiu stupnicu s delením na 10 tried, ktorý je uvedený v tabuľke 5.4 [21].

Tabuľka 5.4 Intervaly indexu znečistenia ovzdušia API používané vo Veľkej Británii [21]

Pásma	Index	O ₃ [µg.m ⁻³]	NO ₂ [µg.m ⁻³]	SO ₂ [µg.m ⁻³]	CO [mg.m ⁻³]	PM ₁₀ [µg.m ⁻³]
		max. (8h, 1h)	1h	15min	8h	24h
nízke	1	0-32	0-95	0-88	0-3,8	0-16
	2	33-66	96-190	89-176	3,9-7,6	17-32
	3	67-99	191-286	177-265	7,7-11,5	33-49
mierne	4	100-126	287-381	266-354	11,6-13,4	50-57
	5	127-152	382-476	355-442	13,5-15,4	58-66
	6	153-179	477-572	443-531	15,5-17,3	67-74
vysoké	7	180-239	573-635	532-708	17,4-19,2	75-82
	8	240-299	636-700	709-886	19,3-21,2	83-91
	9	300-359	701-763	887-1063	21,3-23,1	92-99
veľmi vysoké	10	360 a viac	764 a viac	1064 a viac	23,2 a viac	100 a viac

5.1.4 Hodnotenie miery znečistenia ovzdušia v Nemecku

Kvalitu ovzdušia v Nemecku sleduje Spolkový úrad pre životné prostredie (Umweltbundesamt). Jednotlivé Spolkové krajiny sledujú tzv. krátkodobý index kvality ovzdušia Kurzzeit-Luftqualitätsindex – LuQx, ktorý sleduje 6 tried kvality ovzdušia pre aktuálny denný stav koncentrácie znečisťujúcich látok v ovzduší a ich pôsobenie na ľudské zdravie a tabuľka indexových tried 1 až 6 sa v jednotlivých Spolkových krajinách môže mierne líšiť.

Dlhodobý index kvality ovzdušia Langzeit-Luftqualitätsindex – LaQx je založený na hodnotení priemerných ročných koncentráciách piatich zložiek: NO₂, SO₂, PM₁₀, O₃ a benzénu (pozri tabuľku 5.5). Hranice medzi jednotlivými triedami boli odvodené na základe poznatkov o dlhodobom pôsobení škodlivín v ovzduší na ľudské zdravie. Hranice medzi triedou 4 a 5 zodpovedajú imisným limitom v zmysle Spolkového zákona o ochrane pred imisiami.

Tabuľka 5.5 Dlhodobý indexu kvality ovzdušia LaQx používaný v Nemecku [22]

Benzén [µg.m ⁻³]	NO ₂ [µg.m ⁻³]	SO ₂ [µg.m ⁻³]	PM ₁₀ [µg.m ⁻³]	Dni v roku s LuQx ≥4,5	Hodnota LaQx	Trieda	Hodnotenie
0,0-0,2	0-12	0-5	0-7	0-2	<1,5	1	veľmi dobrý
0,3-1,0	13-20	6-10	8-15	3-5	1,5-2,4	2	dobrý
1,1-2,0	21-30	11-20	16-30	6-15	2,5-3,4	3	uspokojivý
2,1-5,0	31-40	21-125	31-40	16-30	3,5-4,4	4	dostatočný
5,0	40	120	40	–	–	–	limitné hodnoty
5,1-25,0	41-200	125-350	41-50	31-40	4,5-5,4	5	zlý
>25,5	>200	>350	>50	>40	<5,5	6	veľmi zlý

5.1.5 Hodnotenie miery znečistenia ovzdušia v Rakúsku

Podobne ako v Nemecku, ani v Rakúsku nie je stanovený jednotný systém hodnotenia kvality ovzdušia na federálnej úrovni. Samostatne sa dá index kvality ovzdušia zistiť pre mesto Salzburg alebo Viedeň. Tunajší index kvality ovzdušia – Luftgüteindex – vyhodnocuje aktuálne namerané hodnoty škodlivín v ovzduší podľa tabuľky 5.6.

Tabuľka 5.6 Index kvality ovzdušia používaný vo Viedni [23]

O ₃ [µg.m ⁻³] 1h	PM ₁₀ [µg.m ⁻³] 24h	NO ₂ [µg.m ⁻³] 1h	SO ₂ [µg.m ⁻³] 1h	CO [mg.m ⁻³] 8h	Index	Hodnotenie
0-60	0-20	0-45	0-50	0,0-2,5	1	veľmi dobrý
61-90	21-35	46-100	51-85	2,6-3,5	2	dobrý
91-130	36-50	101-140	86-120	3,6-5,0	3	uspokojivý
131-180	51-100	141-200	121-200	5,1-10,5	4	dostatočný
181-240	101-150	201-400	201-500	10,6-20,5	5	zlý
>241	>151	>401	>501	>20,6	6	veľmi zlý

5.1.6 Hodnotenie kvality znečistenia ovzdušia v Poľsku

V Poľsku taktiež používajú rôzne hodnotenie kvality ovzdušia, podľa vojvodstiev. Na celoštátnej úrovni problematiku zastrešuje Główny Inspektorat Ochrony Środowiska – GIOŚ. Jednou z používaných metód hodnotenia je napr. hodnotenie, ktoré bolo použité pri riešení medzinárodného projektu AirSilesia a prezentované IMGW – PIB Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Krakow. Hodnotenie IKO je uvedené v tabuľke 5.7.

Tabuľka 5.7 Index kvality ovzdušia používaný v Poľsku [16]

Index	Kvalita ovzdušia	Hraničná koncentrácia v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$						
		1 hodina					24 hodín	
		SO ₂	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}
1	veľmi dobrá	0 - 50	0 - 50	0 - 60	0 - 25	0 - 15	0 - 15	0 - 10
2	dobrá	>50- 100	>50-100	>60-120	>25 - 50	>15 - 30	>15 - 30	>10 - 20
3	uspokojivá	>100-300	>100-200	>120-180	>50 - 90	>30 - 55	>30 - 50	>20 - 30
4	zlá	>300-500	>200-400	>180-240	>90- 270	>55- 180	>50- 150	>30 - 100
5	veľmi zlá	>500	>400	>240	>270	>180	>150-300	>100
6	extrémne zlá	–	–	–	–	–	>300	–

5.1.7 Hodnotenie kvality znečistenia ovzdušia v ČR

V ČR existujú dve metodiky stanovenia IKO. Jednu metodiku spracoval Štátny zdravotný ústav. Metodika je založená na ročných, denných a krátkodobých hodnotách koncentrácií znečisťujúcich látok v ovzduší. Metodika sa používa v rámci výročných hodnotiacich správ.

Druhú metodiku spracoval ČHMÚ (tabuľka 5.8). Odvodil metodiku IKO založenú na vyhodnotení koncentrácií SO₂, NO₂, CO, O₃ a PM₁₀. S výnimkou CO sú pre stanovenie IKO použité hodinové koncentrácie, pre CO sa používa 8-hodinový priemer. Index IKO je odstupňovaný do 6 tried, hraničná koncentrácia medzi triedou 4 a 5 bola definovaná na základe platných imisných limitov jednotlivých znečisťujúcich látok. Pre koncentráciu O₃ a PM₁₀, ktoré nemajú zodpovedajúci imisný limit, bola hodnota stanovená na základe štatistickej analýzy vzťahu medzi hodinovými hodnotami a dlhším priemerovaným obdobím.

Tabuľka 5.8 IKO podľa ČHMÚ

Index	Kvalita ovzdušia	Hraničná koncentrácia v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$				
		Hodinový priemer				8-hod. priem.
		NO ₂	O ₃	PM ₁₀	SO ₂	CO
1	veľmi dobrá	0 - 25	0 - 33	0 - 20	0 - 25	0 - 1000
2	dobrá	>25 - 50	>33 - 65	>20 - 40	>25 - 50	>1000 - 2000
3	uspokojivá	>50 - 100	>65 - 120	>40 - 70	>50 - 120	>2000 - 4000
4	vyhovujúca	>100 - 200	>120 - 180	>70 - 90	>120 - 350	>4000 - 10000
5	zlá	>200 - 400	>180 - 240	>90 - 180	>350 - 500	>10000- 30000
6	veľmi zlá	nad 400	nad 240	nad 180	nad 500	nad 30000

Výpočet indexu kvality ovzdušia, v ktorom je zohľadnený možný vplyv imisií na zdravotný stav obyvateľstva, je založený na vyhodnotení 1h koncentrácií oxidu siričitého (SO₂), oxidu dusičitého

(NO₂), tuhých častíc (PM₁₀), 8h kľzavých koncentrácií oxidu uhoľnatého (CO) a v letnom období (1. 4. - 30.9.) aj 1h koncentrácií prízemného ozónu (O₃).

IKO je v ČR k dispozícii on-line:

1. Index kvality ovzdušia sa zisťuje pre každú veličinu v danej lokalite zvlášť a prezentovaný je najvyšší z nich,
2. Index kvality ovzdušia je zobrazený, pokiaľ sú k dispozícii hodinové dáta aspoň pre NO₂, O₃ a PM₁₀ v letnom období (1.4. - 30.9.) alebo aspoň NO₂ a PM₁₀ v zimnom období (1.10. - 31.3.), ak sú v lokalite štandardne merané,
3. Označenie „neúplné dáta“ môže znamenať, že na stanici v danej hodine bola vykonávaná automatická kontrola prístrojov.

5.1.8 Hodnotenie kvality znečistenia ovzdušia na Slovensku

Na Slovensku sa v súčasnom *období index kvality ovzdušia nepoužíva*. SHMÚ zverejňuje len výsledky meraní staníc imisného monitoringu a vydáva ročné správy a stave životného prostredia.

Do roku 1995 sa však hodnotil IZO, podľa vyhlášky z roku 1993, ktorý sledoval obvykle štyri, najmenej však tri znečisťujúce látky so stanoveným imisným limitom – SO₂, NO_x, CO a PM₁₀. IZO mohol byť vyjadrený viacerými spôsobmi, ako index dlhodobého znečistenia IZO_r (tabuľka 5.9), index krátkodobého znečistenia IZO_k alebo index denného znečistenia IZO_d. Vypočítané hodnoty sa klasifikovali do piatich úrovní hodnotiacich mieru znečistenia ovzdušia. IZO sa vypočítal ako suma koncentrácií znečisťujúcich látok podelená imisným limitom:

$$IZOr = \Sigma [\text{priemerná ročná koncentrácia/IHr}] \quad (5.2)$$

Tabuľka 5.9 Index znečistenia ovzdušia – (Vyhl. MŽP č. 112/93 Zb., dnes už neplatná)

IZO	Znečistenie ovzdušia
0,0 – 0,4	takmer žiadne
0,5 – 0,9	slabé
1,0 - 1,4	mierne
1,5 - 2,0	stredné
nad 2,0	veľké

5.2 Hodnotenie úrovne znečistenia ovzdušia v zmysle technického predpisu MDVRR

Zo zákona [Z2] o posudzovaní vplyvov na životné prostredie vyplýva investorovi povinnosť monitorovania environmentálnych vplyvov činnosti vrátane vplyvov na zdravie. Z tohto dôvodu boli spracované technické podmienky [T1], v zmysle ktorých sa realizuje monitoring zložiek ŽP pri výstavbe a prevádzke pozemných komunikácií.

Cieľom monitoringu ovzdušia je poskytovať objektívne informácie o stave a vývoji znečistenia ovzdušia na predmetných úsekoch ciest a diaľnic a prípadne v mieste uvažovanej výstavby, a to ešte pred výstavbou, v priebehu výstavby a počas prevádzky diela. Tieto informácie majú za cieľ:

- určenie najvyšších koncentrácií sledovaných látok, ktoré sa podľa očakávania vyskytujú na monitorovanom území od mobilných zdrojov,
- stanovenie reprezentatívnych koncentrácií pre časti územia s väčšou hustotou osídlenia,
- stanovenie celkovej hladiny koncentrácie od sekundárnych zdrojov znečisťovania ovzdušia a od mobilných zdrojov.

Tabuľka 5.10 Porovnanie požiadaviek na monitoring

Predmet monitoringu	Predmet monitoringu	Frekvencia monitorovania TP 06/2008	Frekvencia monitorovania TP13/2011
Pred výstavbou	plánovaná trasa existujúca komunikácia	2-4 orientačné merania pri rôznych poveternostných podmienkach	Indikatívne meranie (8 týždňov v roku)
Počas výstavby	stavba komunikácie nová komunikácia	4 x ročne pri rôznych poveternostných podmienkach	Indikatívne meranie (8 týždňov v roku)
Počas prevádzky	Nová komunikácia existujúca komunikácia	1.rok: 4 x ročne, ďalej 1x ročne a podľa výsledkov 1. roka	1. rok indikatívne meranie (8 týždňov), ďalej podľa výsledkov 1.roku

Pôvodná Príručka monitoringu vplyvu ciest a diaľnic na životné prostredie TP 06/2008 bola nahradená revidovanou príručkou v roku 2011 v znení TP 13/2011. Porovnanie požiadaviek na monitoring je uvedené v tabuľke 5.10. Vzhľadom na charakter emisií znečisťujúcich látok z automobilovej dopravy a možnosť monitorovania a vyhodnocovania meraní sa pri monitoringu ciest a diaľnic odporúča stanovenie minimálnych parametrov:

- oxid dusičitý - NO₂ a oxidy dusíka NO_x,
- oxid uhoľnatý – CO,
- tuhé častice - PM₁₀.

Požadované je aj sledovanie meteorologických parametrov:

- teplota vzduchu,
- rýchlosť vetra,
- smer vetra,
- relatívna vlhkosť vzduchu,
- atmosférický tlak vzduchu,
- atmosférické zrážky,
- celkové slnečné žiarenie.

Ako iné doplňujúce parametre sa odporúča sledovať intenzita a zloženie dopravného prúdu na základe skutočného sčítania dopravy počas monitorovania. Tieto parametre zostali rovnaké v oboch Technických podmienkach z roku 2008 aj 2011. Počas spracovania rozborovej úlohy sme mali

k dispozícii niekoľko uskutočnených monitoringov ovzdušia, ktoré sme sa pokúsili analyzovať a vyhodnotiť na základe TP 06/2008 a TP 13/2011.

5.3 Analýza merania znečistenia ovzdušia pri výstavbe diaľnic

Pre spracovanie tejto rozborovej úlohy sme mali k dispozícii na analýzu Správy o meraní úrovne znečistenia ovzdušia od rôznych dodávateľov. Zistili sme, že všetci vykonávali monitoring v zmysle technických podmienok [T1].

Monitorované boli znečisťujúce látky: SO₂, NO_x, NO₂, CO, PM₁₀ a meteorologické údaje. Údaje o intenzite dopravy sledované neboli, aj napriek tomu, že v niektorých prípadoch bolo stanovište tesne pri ceste I. triedy alebo neďaleko diaľnice.

Analyzované boli nasledovné Správy o meraní úrovne znečistenia ovzdušia:

▪ D1 Sverepec - Vrtižer

Monitoring bol vykonávaný na dvoch miestach. Stanovisko IM1 bolo umiestnené pri budove polície, blízko estakády diaľnice D1. Stanovisko IM2 bolo umiestnené v blízkosti cesty I/61 smerom na Žilinu;

- monitoring pred výstavbou – *IM1 budova polície*
 - v rokoch 2006 – 2007 sa v 4 etapách uskutočnilo 9 dní merania, z toho sa zistilo 1x prekročenie 24-hodinovej limitnej hodnoty na ochranu zdravia ľudí pre PM₁₀
- monitoring pred výstavbou – *IM2 kostol pri ZŠ Stred*
 - v rokoch 2006 – 2007 sa v 4 etapách uskutočnilo 10 dní merania, z toho sa zistilo 1x prekročenie 24-hodinovej limitnej hodnoty na ochranu zdravia ľudí pre PM₁₀
- monitoring počas výstavby – *IM1 budova polície*
 - v rokoch 2008 – 2010 sa v 4 etapách uskutočnilo 17 dní merania, z toho sa zistilo 7x prekročenie 24-hodinovej limitnej hodnoty na ochranu zdravia ľudí pre PM₁₀ a 2x limit ozónu
- monitoring počas výstavby – *IM2 kostol pri ZŠ Stred*
 - v rokoch 2008 – 2010 sa v 4 etapách uskutočnilo 16 dní merania, z toho sa zistilo 3x prekročenie 24-hodinovej limitnej hodnoty na ochranu zdravia ľudí pre PM₁₀
- monitoring po uvedení do prevádzky – *IM1 budova polície*
 - v rokoch 2010 – 2011 sa v 4 etapách uskutočnilo 12 dní merania, z toho sa zistilo 1x prekročenie 24-hodinovej limitnej hodnoty na ochranu zdravia ľudí pre PM₁₀
- monitoring po uvedení do prevádzky – *IM2 kostol pri ZŠ Stred*
 - v rokoch 2010 – 2011 sa v 4 etapách uskutočnilo 11 dní merania, z toho sa zistilo 3x prekročenie 24-hodinovej limitnej hodnoty na ochranu zdravia ľudí pre PM₁₀ a 1x limit ozónu

V grafickom zobrazení polohy meracích miest IM nie je vidieť umiestnenie IM vzhľadom k ceste I/18 a D1. Okrem základných škodlivín je sledovaný aj benzén. Správa je bez celkového komentára výsledkov, ale obsahuje porovnanie nameraných hodnôt pred výstavbou, počas výstavby a po uvedení stavby do prevádzky. Jedná sa o jedinú úplnú správu s komplexným monitoringom, ktorá bola k dispozícii. Výsledky sú bez komentára.

▪ **D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka - Višňové**

Monitoring vykonávaný v blízkosti rodinných domov:

- monitoring pred výstavbou
- úsek Hr. Podhradie – L. Lúčka
 - 4 IM, 2 merania po 2 dni/3dni v lete 07/2009 a v zime 11-12/2009
 - na 1 IM bol prekročený imisný limit PM_{10} v lete
- úsek L. Lúčka - Višňové
 - 3 IM, 2 merania po 2 dni/5dni (L. Lúčka) v lete 07-08/2009 a v zime 12/2009
- privádzač L. Lúčka
 - 2 IM, 2 merania po 2 dni v lete 07-08/2009 a v zime 12/2009

Vyhodnotenie formou porovnania s imisnými limitmi.

▪ **D1 Jablonov – Studenec**

- monitoring počas výstavby polovičného profilu (1.jazdný pás)
 - 2 IM, po 4 dni v roku 2010 a 3 dni v roku 2011
- monitoring po uvedení do prevádzky
 - 2 IM, po 3 dni v roku 2010 a 3 dni v roku 2011
- monitoring počas výstavby polovičného profilu (2.jazdný pás)
 - 2 IM, po 3 dni v roku 05/2012 a 3 dni v roku 12/2012
 - Celkovo došlo 4x k prekročeniu limitu PM_{10} , 3x počas výstavby v zimnom období a 1x po uvedení do prevádzky

V správe absentuje sčítanie dopravy, IM2 je 30 m od cesty I. triedy; v dokumentácii chýba grafické zobrazenie umiestnenia polohy bodov IM oproti ceste I/18 a D1, chýba monitoring pred výstavbou a celkové zhodnotenie.

▪ **D1 Jánovce – Jablonov, I. úsek**

- monitoring počas výstavby 2 IM, po 3 dni 2 merania a 3 dni 1 meranie v roku 2011
 - IM3 -08 a 11/2011; IM4- 11/2011
 - 6x prekročený imisný limit PM_{10}
 - 2 IM, po 3 dni po 1 meraní v roku 2012
 - IM3 -03/2011; IM4- 03/2011
 - 4x prekročený imisný limit PM_{10}

V správe absentuje sčítanie dopravy, IM3 je len 12 m od cesty I. triedy; v grafickom zobrazení polohy meracích miest IM nie je vidieť umiestnenie IM vzhľadom k ceste I/18 a D1., správa je len z monitoringu počas výstavby.

▪ **D1 Dubná Skala - Turany**

- monitoring počas výstavby
 - 3 IM, po 5 dní 3 merania vo vykurovacej sezóne 10/2012
 - nebol prekročený imisný limit PM_{10}

V správe sa nachádza porovnanie s imisnými limitmi, obrazová dokumentácia, zobrazenie bodov IM, cesty I. triedy aj D1. Chýba sčítanie dopravy, nakoľko IM2 v Sučanoch na Hlavnej ulici sa nachádzal priamo na ceste I/18.

▪ **D1 Fričovce - Svinia**

Monitoring vykonávaný v blízkosti rodinných domov:

- monitoring pred výstavbou
 - 7 IM, 1 meranie po 4 dni vo vykurovacej sezóne 10/2010 až 01/2011
 - na 6 IM bol prekročený imisný limit PM_{10}
- monitoring počas výstavby
 - 7 IM, 2 merania po 2 dni v nevykurovacej sezóne 09/2012 a 2 meranie po 2 dni vo vykurovacej sezóne 04/2012 a 10/2012
 - na 1 IM bol prekročený imisný limit PM_{10}

Vyhodnotenie formou porovnania s imisnými limitmi.

5.3.1 Vyhodnotenie monitoringu podľa Indexu kvality ovzdušia

Správa o meraní úrovne znečistenia ovzdušia na diaľnici D1 Sverepec – Vrtižer bola síce najúplnejšia z pohľadu vykonaných meraní aj vyhodnotenia, ale aj napriek tomu to bol len prehľad výsledkov a ich vzájomné porovnanie. Pokúsili sme sa preto využiť v mierne modifikovanej forme hodnotenie podľa IKO, ktoré používa ČHMÚ a podľa AQI, ktoré je používané inštitúciou US EPA. Modifikácia spočíva v tom, že ČHMÚ vyhodnocuje Index kvality ovzdušia aktuálne pre denné merania z AMS. US EPA využíva tiež 24-hodiné dáta, pričom sa berie do úvahy príslušná priemerovaná hodnota pre danú znečisťujúcu látku (Tabuľka 5.2). My sme v uvedenej tabuľke 5.11 určili IKO a AQI z max. priemerných hodinových hodnôt meraných veličín (pre CO to bol max. 8. hod. priemer) z 24 hodinového merania z čoho sa následne vytvoril priemer z celého 2 alebo 3 - dňového merania. V prípade určovania IKO podľa ČHMÚ sa používa Tabuľka 5.8, pričom podľa toho, do ktorého intervalu patrí konkrétna koncentrácia znečisťujúcej látky, sa priradí príslušný stupeň IKO k danej koncentrácii. Toto sa vykoná pre všetky monitorované znečisťujúce látky a nakoniec sa vyberie ten najnepriaznivejší IKO, ktorý určuje aktuálnu úroveň kvality ovzdušia. Hodnotenie indexu kvality ovzdušia podľa US EPA sa realizuje pomocou Tabuľky 5.2 a vzťahu 5.1. Ich kombináciou sa dospeje k čiastkovým indexom kvality ovzdušia pre monitorované znečisťujúce látky a následne sa vyberie ten najnepriaznivejší, ktorý je určujúci pre pomenovanie zistenej kvality ovzdušia.

Na základe takéhoto vyhodnotenia pri porovnaní obdobia pred výstavbou a po uvedení diaľnice do prevádzky je zrejmé, že v prvom roku po uvedení diaľnice do prevádzky nedošlo k zníženiu znečisťovania ovzdušia v meste. Treba však hľadať príčiny. To by bolo možné, keby monitoring pokračoval, kedy boli známe intenzity dopravy na ceste I/61 pri kostole resp. II/517 pri budove polície. V TP 13/2011 je stanovené, že monitoring po uvedení komunikácie do prevádzky by mal obsahovať v 1. roku indikatívne meranie (8 týždňov) a ďalej by sa malo postupovať podľa výsledkov 1. roku. V tomto prípade výsledky jednoznačne ukazujú, že monitoring by mal pokračovať. Dosiahnuté výsledky mohli byť spôsobené tým, že aj po spustení prevádzky na diaľnici sa naďalej realizovali rozsiahlejšie dokončovacie práce. Či sa niečo zmenilo k lepšiemu mohol ukázať len ďalší monitoring v nasledujúcom období.

Tabuľka 5.11 Monitoring D1 v Považskej Bystrici vyhodnotený podľa IKO (ČHMÚ) a AQI (US EPA)

Obdobie	Dátum monitoringu	Kvalita ovzdušia		Hraničná koncentrácia v µg/m ³ / priemerovaný interval				
		IKO** (ČHMÚ)	AQI* (US EPA)	1 h				8 h
				NO ₂	O ₃	PM ₁₀	SO ₂	CO
IM1 PB – Polícia (pri II/517)								
Monitoring pred výstavbou	6.-8.12.06	2	25	45	–	27	7,6	954
	17.-18.2.07	2	35	22,7	–	37	10,3	680
	9.-10.10.07	3	48	36,1	–	52	4,6	925
	30.11.-1.12.07	3	42	56,4	–	46	3,6	1225
Monitoring počas výstavby	25.-27.4.08	2	48	35,9	74,6	52	7,9	614
	21.-22.10.08	5	107	41,8	–	168	6,7	806
	30.11.-2.12.08	3	50	34,3	–	54	6,1	648
	13.-15.6.09	2	34	26,8	72,4	37	1,5	700
	15.-16.9.09	3	55	51,3	porucha	64	4,2	1130
	10.-11.12.09	4	59	41,4	–	71	3,6	950
	25.-26.5.10	3	44	24,9	60,4	48	0,8	670
Monitoring po uvedení do prevádzky	10.-11.8.10	3	39	18,7	60,4	42	2,2	560
	7.-8.11.10	2	17	35,4	–	neuvedené	2,6	660
	14.-16.5.11	2	24	27,3	64,1	26	4,1	440
	12.-14.8.11	2	23	23,8	58,5	25	2,9	540
	29.-30.11.11	3	58	39,1	–	70	2,9	1140
IM1 PB – Kostol pri ZŠ Stred (pri I/61)								
Monitoring pred výstavbou	10.-13.12.06	2	23	46,7	–	17	5,6	818
	14.-15.2.07	2	27	40,8	–	30	5,3	778
	12.-13.10.07	3	52	44,2	–	57	5,9	413
	4.-5.12.07	3	31	62,6	–	21	2,1	526
Monitoring počas výstavby	22.-23.4.08	3	33	31,4	66,4	35	5,1	487
	24.-26.10.08	3	58	27,3	–	69	5	573
	4.-5.12.08	3	45	41,8	–	49	4,5	724
	17.-18.6.09	3	27	36,7	78,9	29	1,5	400
	18.-20.9.09	3	44	21,7	58,2	48	1,8	410
	13.-14.12.09	3	51	37,2	–	55	5,7	540
	28.-29.5.10	3	30	19,8	67,8	32	1,2	410
Monitoring po uvedení do prevádzky	13.-14.8.10	3	55	19,5	79,7	64	1,4	520
	10.-11.11.10	2	13	27,1	–	neuvedené	3,4	460
	18.-19.5.11	3	22	18,5	81,9	24	1,7	310
	19.-21.8.11	3	29	15,3	69,6	31	1,5	460
	21.-22.12.11	5	78	54,3	–	110	2,8	1620
Kvalita ovzdušia IKO: viď. Tabuľka 5.8								
Kvalita ovzdušia AQI: viď. Tabuľka 5.1								

*(AQI – stanovené podľa „Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality –the Air Quality Index“ vydané U. S. Environmental protection agency)

** (IKO – stanovené podľa ČHMÚ)

http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/actual_hour_data_CZ.html)

5.4 Závěry a odporúčania z analýzy monitoringov

Analyzovaných bolo šesť správ o meraní úrovne znečistenia ovzdušia od troch rôznych spracovateľov. Všetci sa striktne držali postupu monitorovania a spracovania podľa [T1]. Sledovanie intenzity dopravy nie je povinnou položkou pre sledovanie, preto ju nezaznamenávali a zrejme ani nebola obstarávateľom požadovaná ani v prípade, keď sa monitoring realizoval v tesnej blízkosti komunikácie.

Z hodnotených 6 správ o meraní, bola len jedna kompletná - monitoring bol vykonaný pred výstavbou, počas výstavby a po uvedení stavby do prevádzky, 1 správa bola z monitoringu počas výstavby a po uvedení ½ profilu diaľnice do prevádzky, 1 správa bola z monitoringu pred začiatkom výstavby a tri správy boli z monitorovania ovzdušia počas výstavby.

Všeobecne správy obsahujú len popis monitorovacích miest a výsledky monitoringu s porovnaním s limitnými hodnotami. Chýba grafické zobrazenie umiestnenia polohy bodov IM – imisného monitorovania oproti súčasnej ceste a diaľnici. Správy sú bez celkového komentára a zhodnotenia výsledkov, formou vhodnou pre zverejnenie obyvateľom. Zadávatelom komentár nebol požadovaný.

Analyzované správy o meraní úrovne znečistenia ovzdušia boli z rokov 2006 až 2011.

Všetky okolité štáty, EÚ aj EPA na účely hodnotenie kvality ovzdušia využívajú hodnotenie prostredníctvom IKO – indexu kvality ovzdušia. Preto sme jeden z vykonaných monitoringov týmto spôsobom vyhodnotili, viď. kap. 5.3.1.

Takto spracované výsledky a hodnotenie kvality ovzdušia umožňujú porovnať navzájom monitorované obdobia aj lokality verejnosti zrozumiteľným spôsobom. Ponúka sa otázka, či nevyužiť z tohto dôvodu metodiku hodnotenia IKO pre potreby vyhodnocovania meraní úrovne znečistenia ovzdušia v okolí pozemných komunikácií.

Stanovené úrovne indexu kvality ovzdušia podľa ČHMÚ a US EPA vyšli odlišné (Tabuľka 5.11), čo je výsledkom rôzneho prístupu k stanovovaniu tohto indexu. Dôležitý nie je však postup akým sa dospeje k určitému výsledku, ale to čo nám výsledok povie a čo znamená vo vzťahu k informovanosti obyvateľstva o možných zdravotných rizikách. Práve tieto odozvy jednotlivých úrovní indexu kvality ovzdušia na zdravotný stav obyvateľstva musia byť podložené dlhodobým výskumom o možných účinkoch rôznych koncentrácií znečisťujúcich látok na človeka.

Dôležité je zvoliť metódu a potom ju dôsledne využívať pre potreby informovania o stave znečistenia ovzdušia.

Na základe tohto zistenia sme dospeli k názoru, že by bolo vhodné zadávateľom požadovať, aby správa z monitoringu bola doplnená o komentár a hodnotenie výsledkov ako samostatný dokument, nakoľko akreditačné požiadavky (SNAS) neumožňujú dávať zhotoviteľovi monitoringu do správ komentáre. Ukázalo sa, že limitné hodnoty spravidla prekračujú tuhé častice PM₁₀. Celkovú kvalitu ovzdušia však ovplyvňujú aj vyššie hodnoty NO₂ a v letnom období aj ozón. Bolo by vhodné, doplniť komentár. Či sa jedná o oblasť zastavanú IBV, zimnú vykurovaciu sezónu alebo letnú sezónu, poprípade oblasť ovplyvnenú dopravou.

6 Experimentálne merania v teréne

Experimentálne merania sa uskutočnili počas dvoch meracích cyklov od 11. 1. 2014 do 16. 1. 2014 na monitorovacom stanovišti pri diaľnici D1 v areáli bývalej SSÚD Predmier a od 18. 3. 2014 do 23. 3. 2014 na monitorovacom stanovišti pri diaľničnom privádzači na D3 Žilina, Strážov.

Na monitorovacom stanovišti pri diaľnici D1 boli experimentálne merania realizované za účelom zistenia vplyvu vzdialenosti umiestnenia monitorovacej stanice od cestnej komunikácie na zmenu koncentrácií znečisťujúcich látok v ovzduší. Výber monitorovacieho stanovišta pri diaľničnom privádzači Žilina, Strážov bol orientovaný na zistenie vplyvu protihlukovej steny (PHS) na šírenie znečistenia ovzdušia od cestnej dopravy.

Meracie stanovište pri diaľnici D1 sa nachádzalo na bývalom Stredisku správy a údržby diaľnic pri diaľnici D1 na 182 km diaľnice v Predmieri v smere jazdy z Bratislavy do Žiliny. Pôvodné SSÚD je v súčasnej dobe nevyužívané, nakoľko je presťahované do nových priestorov v Považskej Bystrici, preto areál bolo možné využiť pre účely merania.

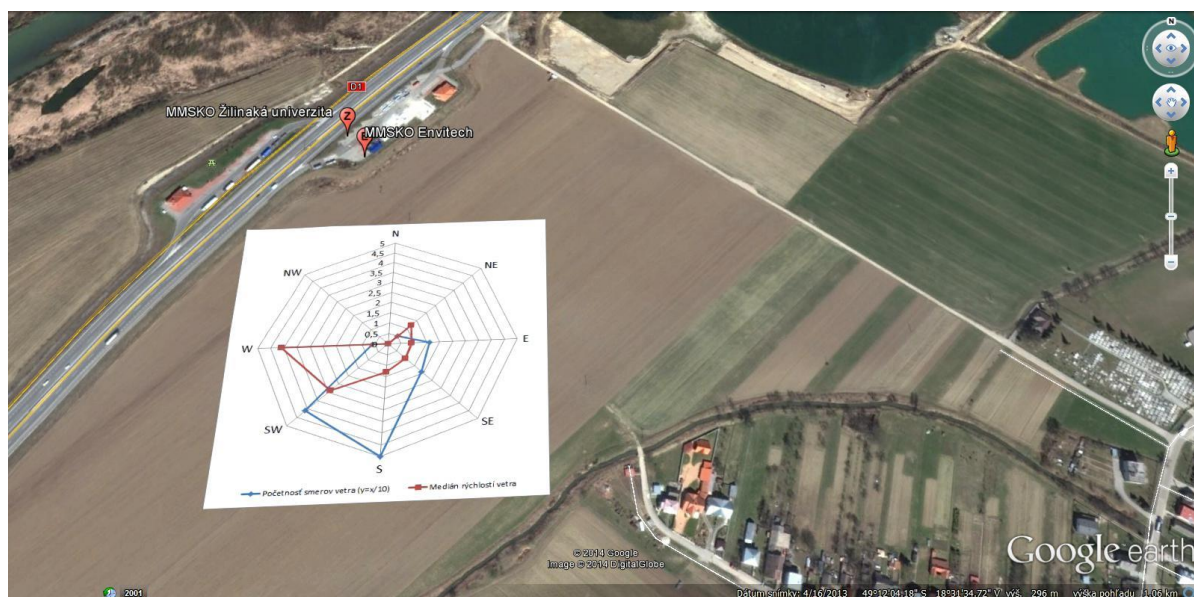
Mobilná meracia stanica kvality ovzdušia Žilinskej univerzity (MMSKO ŽU) bola umiestnená vo vzdialenosti cca 7,0 m od krajnice diaľnice. Meracia stanica Envitech (MMSKO ENV) bola umiestnená od MMSKO ŽU cca 30 m smerom od diaľnice D1 k obci Predmier (37 m od krajnice cestnej komunikácie Obrázok 6.1). V areály SSÚD sa nerealizovali počas merania iné aktivity. Stanovisko na bývalom SSÚD sa nachádza asi 500 m od obce Predmier, ktorá leží na ľavom brehu Váhu v strede Bytčianskej kotliny. Na severozápade ju ohraničujú Javorníky a na juhovýchode Strážovská hornatina. Obec leží v nadmorskej výške 280 - 300 m.n.m. Predmier sa rozkladá v Bytčianskej kotline neďaleko Súľovských skál a Javorníkov. Obteká ho rieka Váh. Chotár je zalesnený len vo vyšších polohách. V okolí SSÚD sa nachádzajú polia.

Z morfológického hľadiska územie spadá do horizontálne rozčlenenej roviny so sklonovitosťou 0 až 2°. Vlastná lokalita sa nachádza v nive Váhu, územie je rovinatého charakteru.

Vzhľadom na tvar okolitého terénu (rovinatý terén obklopený pahorkovitým reliéfom tvoriaci údolie rieky Váh v smere juhozápad ↔ severovýchod) sa prejavuje aj prúdenie vetra v danom území (Obrázok 6.2). Prevládajúce vetry sú v smere orientácie údolia rieky Váh a zároveň je v tomto smere orientovaná aj diaľnica D1. Tejto skutočnosti je podriadené aj šírenie znečisťujúcich látok, ktoré produkuje cestná doprava na D1, a to v smere orientácie diaľnice resp. v smere od umiestnených monitorovacích staníc. Úroveň znečistenia ovzdušia cestnou dopravou po stranách diaľnice môže byť znížená práve vzhľadom na predpokladané šírenie imisií v smere diaľnice.



Obrázok 6.1 Monitorovanie znečistenia ovzdušia v areáli bývalej SSÚD Predmier



Obrázok 6.2 Umiestnenie monitorovacieho stanovišťa pri diaľnici D1 a prevládajúce smerovanie vetra v danej lokalite (zdroj podklad: Google earth)

Monitorovacie stanovište pri diaľničnom privádzači na D3 Žilina, Strážov bolo umiestnené po pravej strane v smere do Žiliny. MMSKO ŽU bola umiestnená pri firme KABE, ako monitorovacie stanovište bez protihlukovej steny (PHS) cca 35 m od krajnice cestnej komunikácie (Obrázok 6.3). MMSKO ENV bola umiestnená v areáli firmy TECHPLASTY s.r.o., ako monitorovacie stanovište za protihlukovou

stenou (PHS) s výškou cca 4,5 m vo vzdialenosti od krajnice cestnej komunikácie cca 15 m (Obrázok 6.4). Vzdialenosť medzi monitorovacími stanicami bola približne 100 m (Obrázok 6.5).

V najbližšom okolí monitorovacieho stanovišťa sa nachádzajú spomínané dve firmy, niekoľko objektov súkromných podnikateľov a rodinné domy. Cestná komunikácia je v danej lokalite orientovaná v smere severozápad – juhovýchod. Zo severnej strany je cestná komunikácia obklopená niekoľkými rodinnými domami, železničnou traťou a riekou Váh. Zo západnej strany vystupuje mierny pahorkovitý terén, pričom tvorí bariéru prúdenia vetra z tejto strany. Zo svetových strán juhozápad, juh, juhovýchod a východ sa otvára mesto Žilina.

Prevládajúce vetry v danej oblasti prúdili od mesta Žilina – južným, juhozápadným, juhovýchodným smerom. Boli smerované prevažne od monitorovacích staníc (Obrázok 6.5). Daná lokalita je veľmi členitá nielen z hľadiska terénu, ale tiež vzhľadom na výskyt rôznorodých umelých prekážok a bariér, ktoré ovplyvňujú predovšetkým prúdenie vetra a prirodzené prevetrávanie územia.

Použité metódy merania:

NO_x , NO_2 STN EN 14211:2013 Ochrana ovzdušia. Vonkajšie ovzdušie. Štandardná chemiluminiscenčná metóda merania koncentrácie oxidu dusičitého a oxidu dusnatého

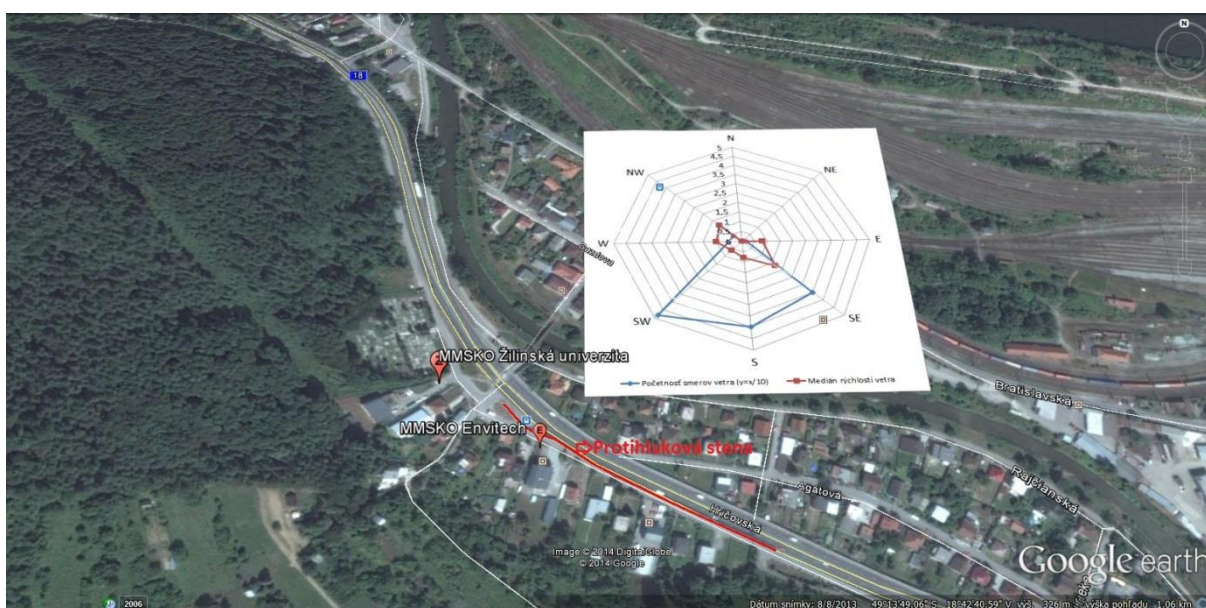
PM_{10} STN ISO 10473:2002 Ochrana ovzdušia. Vonkajšie ovzdušie. Meranie hmotnosti tuhých častíc zachytených na filtri. Metóda absorpcie žiarenia beta



Obrázok 6.3 Monitorovanie znečistenia ovzdušia pri diaľničnom privádzači Žilina, Strážov na D3 (pri firme KABE), MMSKO ŽU bez PHS



Obrázok 6.4 Protihluková stena a monitorovacie stanovište v areáli firmy TECHPLASTY s.r.o., MMSKO ENV



Obrázok 6.5 Umiestnenie monitorovacieho stanovišta pri diaľničnom privádzaní Žilina, Strážov na D3 a prevládajúce smery vetra v danej lokalite (zdroj podklad: Google earth)

6.1 Experimentálne merania pri diaľnici D1 – vplyv vzdialenosti monitorovacej stanice od cestnej komunikácie (CK) na zisťované koncentrácie znečisťujúcich látok

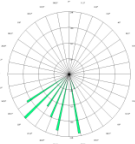
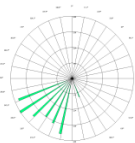
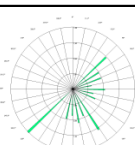
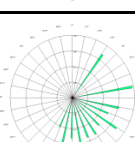
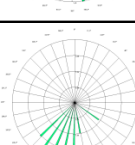
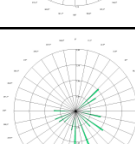
Jedným z cieľov danej rozborovej úlohy bolo zistenie vplyvu vzdialenosti monitorovacej stanice od CK na koncentrácie znečisťujúcich látok. Pre tento účel boli zrealizované experimentálne merania pri diaľnici D1 v areáli bývalej SSÚD Predmier. MMSKO ŽU bola umiestnená cca 7 m od krajnice CK a MMSKO ENV bola umiestnená cca 37 m od krajnice CK, takže medzi monitorovacími stanicami bola vzdialenosť 30 m. Boli zisťované koncentrácie znečisťujúcich látok NO, NO₂, NO_x a PM₁₀, hodnoty meteorologických parametrov teplota, vlhkosť, tlak, rýchlosť vetra, smer vetra, úhrn zrážok a tiež intenzita dopravy, ako predpokladaný primárny zdroj znečistenia ovzdušia na danom mieste (Tabuľka 6.1).

Z realizovaných experimentálnych meraní vyplynuli niektoré skutočnosti, ktoré zásadne vplyvajú na primerané hodnotenie kvality ovzdušia vo vybraných lokalitách súvisiacich so zisťovaním úrovne znečistenia. Priemerná koncentrácia PM₁₀ za sledované obdobie zistená na MMSKO ENV (32 µg/m³) bola o 8 µg/m³ nižšia než priemerná koncentrácia PM₁₀ na MMSKO ŽU (40 µg/m³). Zníženie priemernej koncentrácie PM₁₀ za sledované obdobie na vzdialenejšom mieste od D1 tak predstavuje **20 %**. Prekročenie dennej limitnej hodnoty pre PM₁₀ 50 µg/m³ bolo zaznamenané len v jednom prípade, a to 14.1.2014, kedy bola nameraná koncentrácia PM₁₀ 75 µg/m³ na MMSKO ŽU a 58 µg/m³ na stanici MMSKO ENV (Obrázok 6.9).

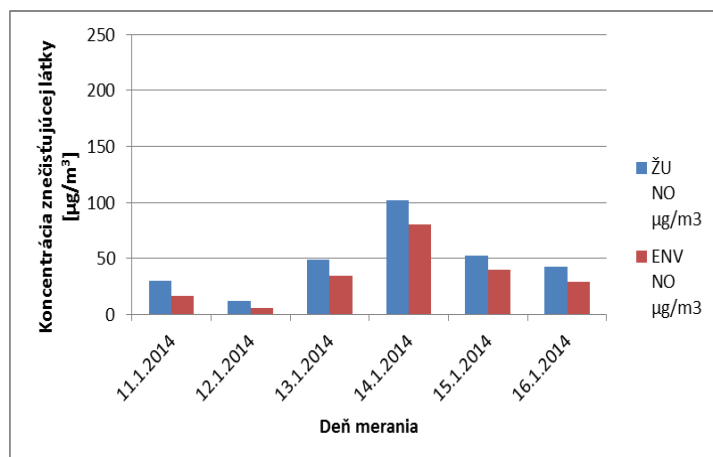
Aj napriek poveternostným podmienkam v sledovanom období, pri ktorých prevládali vetry orientované v smere pozdĺž diaľnice resp. v smere od monitorovacích staníc ku diaľnici, bol zistený pokles koncentrácie PM₁₀ so zväčšujúcou sa vzdialenosťou od primárneho zdroja znečistenia (cestná doprava). Taktiež pri oxidoch dusíka sa vplyv väčšej vzdialenosti od CK na ich koncentrácie prejavil. Pri koncentráciách NO µg/m³ bol badateľný pokles koncentrácií na MMSKO ENV, čo predstavovalo v priemere za meracie obdobie 13,8 µg/m³ t. j. **29 %** pokles koncentrácie vo väčšej vzdialenosti od CK. Najväčšia priemerná 24-hodinová koncentrácia NO bola zaznamenaná 14.1.2014 102 µg/m³ na MMSKO ŽU a 80,4 µg/m³ na MMSKO ENV (Obrázok 6.6). Tak ako koncentrácie NO aj koncentrácie NO₂ a NO_x boli namerané nižšie na vzdialenejšej meracej stanici MMSKO ENV. Pri NO₂ to predstavuje v priemere za meracie obdobie pokles o hodnotu 4,9 µg/m³ t. j. **13 %** a pri NO_x 25,8 µg/m³ t. j. **23 %**. Najväčšie priemerné 24-hodinové koncentrácie NO₂ boli zistené 14.1.2014 49,3 µg/m³ na MMSKO ŽU a 43,8 µg/m³ na MMSKO ENV a v ten istý deň boli najväčšie koncentrácie aj pre NO_x 205,3 µg/m³ na MMSKO ŽU a 166,8 µg/m³ na MMSKO ENV (Obrázok 6.7, 6.8). Limitná hodnota stanovená pre NO₂ 200 µg/m³ nebola prekročená ani v jednom prípade počas monitorovacieho obdobia (Obrázok 6.11). Priebeh 1-hodinových koncentrácií oxidov dusíka NO, NO₂ a NO_x poukazuje na markantný vplyv cestnej dopravy na zmenu koncentrácií týchto znečisťujúcich látok (Obrázok 6.10, 6.11, 6.12).

Priebeh 1-hodinových koncentrácií PM₁₀ počas monitorovacieho obdobia nevykazuje jednoznačnú zmenu vzhľadom na zmenu intenzity dopravy, čo je spôsobené veľkou citlivosťou tuhých častíc na okolité meteorologické podmienky (Obrázok 6.13). Odlišný priebeh koncentrácií PM₁₀ od priebehu intenzity dopravy môže byť čiastočne spôsobený aj sekundárnou prašnosťou – diaľkovým prenosom tuhých častíc, ktorá pri vhodnom smere a rýchlosti vetra ovplyvňuje tieto koncentrácie.

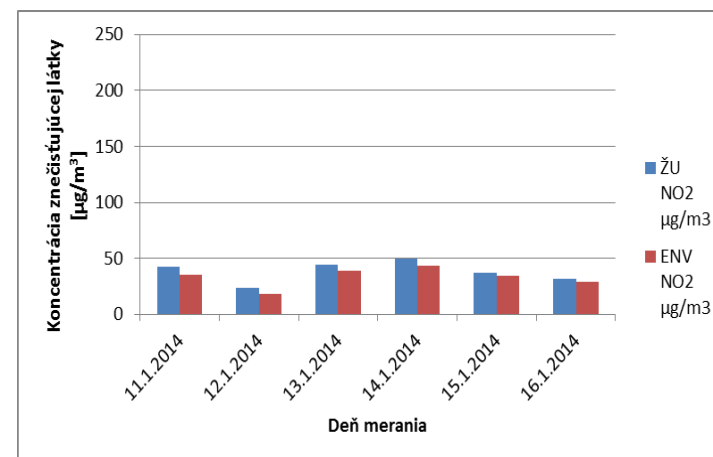
Tabuľka 6.1 Priemerné denné koncentrácie znečisťujúcich látok, meteorologické parametre a intenzita dopravy na meracom stanovišti pri diaľnici D1

Meranie znečistenia ovzdušia diaľnica D1 Predmier (bývalé SSÚD) 11.1.-16.1.2014 - vplyv vzdialenosti od cestnej komunikácie na šírenie emisií z cestnej dopravy																				
Veličina/ dátum	MMSKO Žilinská univerzita										MMSKO Envitech									
	ŽU NO µg/m³	ŽU NO₂ µg/m³	ŽU NOₓ µg/m³	ŽU PM₁₀ µg/m³	ŽU Teplota °C	ŽU Vlhkosť %	ŽU Tlak hPa	ŽU Rýchlosť vetra m/s	ŽU Smer vetra deg	ŽU Intenzita dopravy voz/h	ENV NO µg/m³	ENV NO₂ µg/m³	ENV NOₓ µg/m³	ENV PM₁₀ µg/m³	ENV Teplota °C	ENV Vlhkosť %	ENV Tlak hPa	ENV Rýchlosť vetra m/s	ENV Úhrn zrážok mm/h	
11.1.2014	30,3	42,3	88,7	35	3,3	83	980	1,9		11346	16,3	35,2	60,1	28	3,5	77	982	1,7	0,4	
12.1.2014	11,8	23,6	41,6	13	3,4	68	981	3,8		10707	5,5	17,9	26,4	11	3,6	63	983	3,6	3,4	
13.1.2014	49,1	44,4	119,6	50	-1,5	88	979	1,0		17751	34,6	38,9	91,9	35	-0,8	79	981	0,8	0,0	
14.1.2014	102,0	49,3	205,3	75	0,5	97	972	1,1		18242	80,4	43,8	166,8	58	0,8	90	974	0,8	3,2	
15.1.2014	52,7	37,3	117,8	41	2,7	97	972	2,4		18658	40,0	34,9	96,0	36	2,9	91	974	2,3	29,2	
16.1.2014	42,6	31,5	96,6	27	2,4	94	974	1,5		19669	29,2	28,7	73,4	21	2,8	87	976	1,3	0,0	

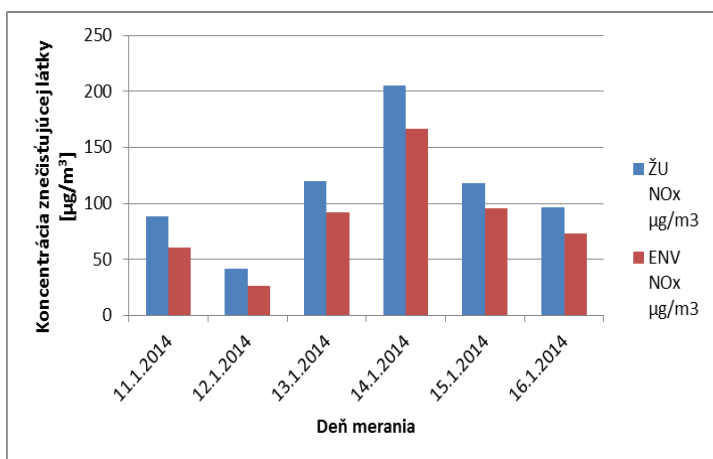
*(MMSKO ŽU 7 m od krajnice CK, MMSKO ENV 37 m od krajnice CK)



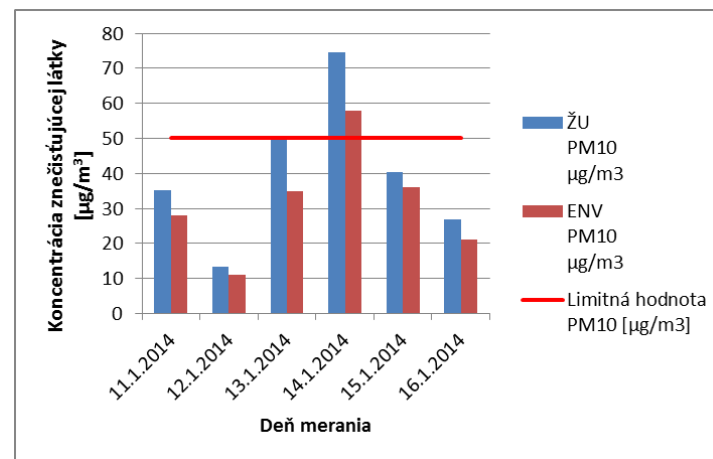
Obrázok 6.6 Porovnanie priemerných denných koncentrácií NO na meracom stanovišti pri diaľnici D1 vo vzdialenosti 7 m (ŽU) a 37 m (ENV) od krajnice CK



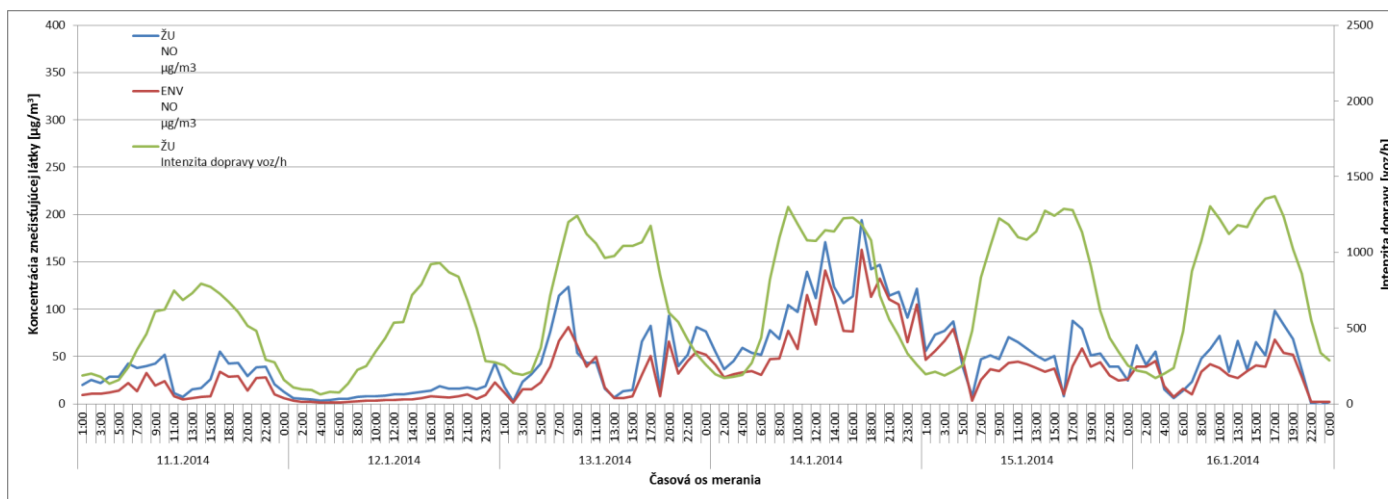
Obrázok 6.7 Porovnanie priemerných denných koncentrácií NO₂ na meracom stanovišti pri diaľnici D1 vo vzdialenosti 7 m (ŽU) a 37 m (ENV) od krajnice CK



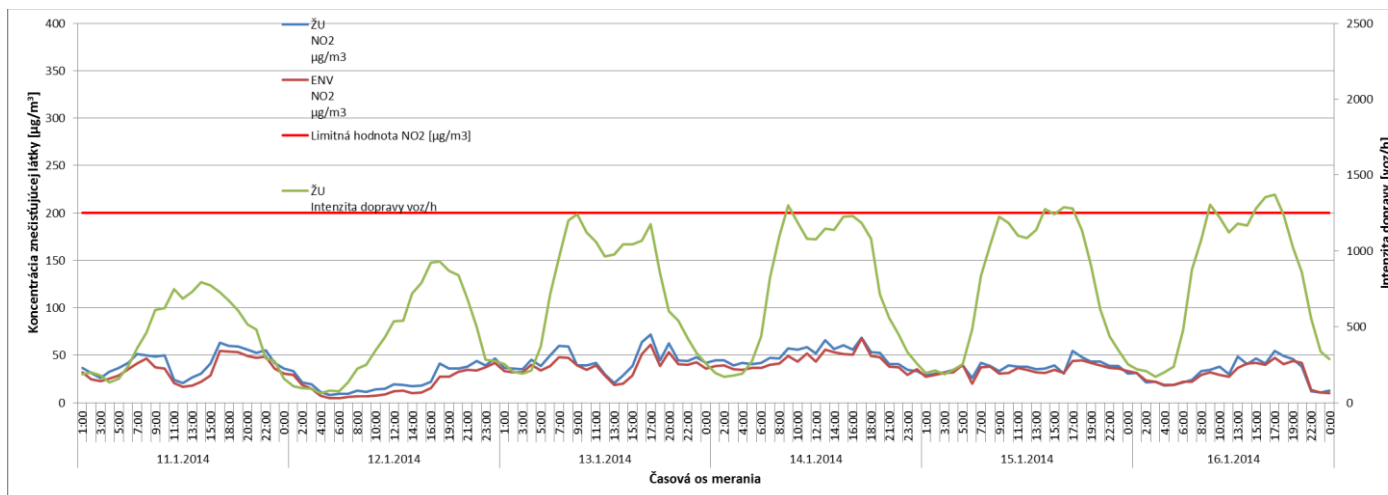
Obrázok 6.8 Porovnanie priemerných denných koncentrácií NO_x na meracom stanovišti pri diaľnici D1 vo vzdialenosti 7 m (ŽU) a 37 m (ENV) od krajnice CK



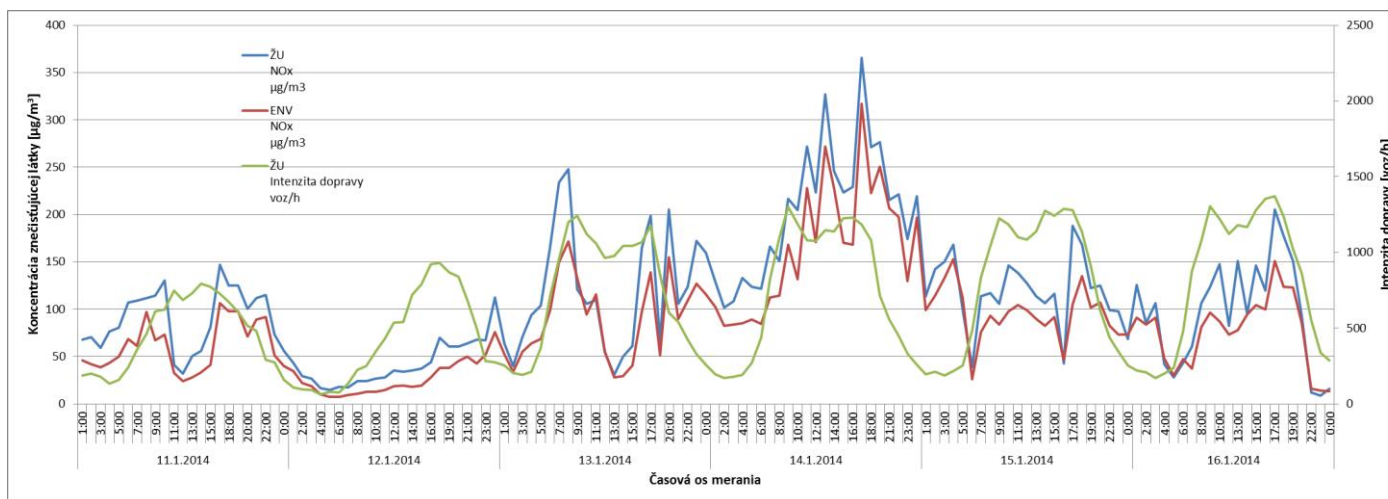
Obrázok 6.9 Porovnanie priemerných denných koncentrácií PM₁₀ na meracom stanovišti pri diaľnici D1 vo vzdialenosti 7 m (ŽU) a 37 m (ENV) od krajnice CK



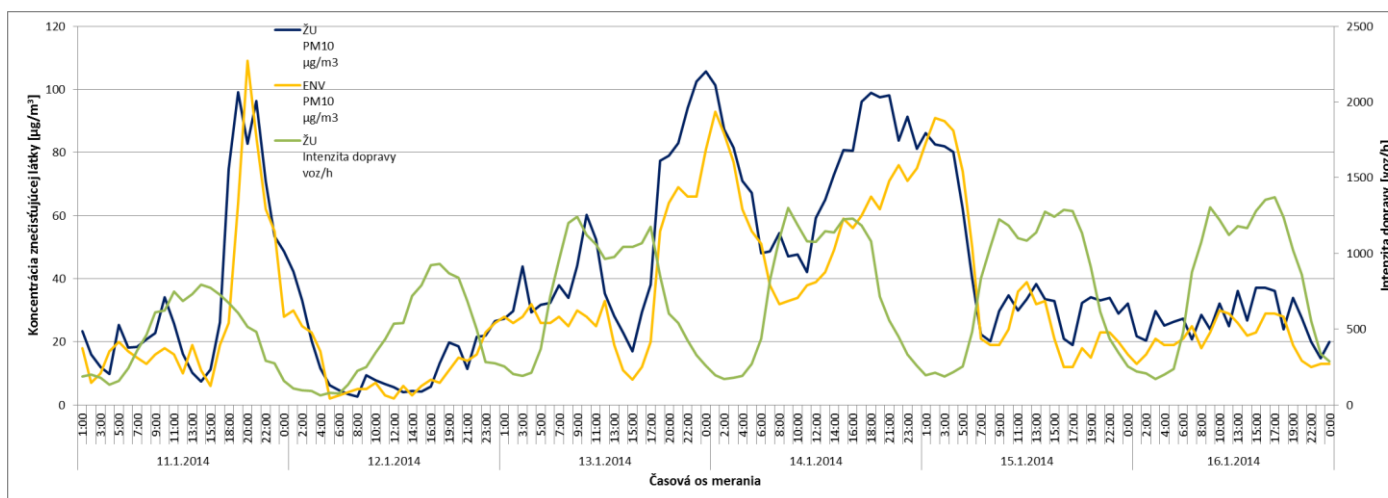
Obrázok 6.10 Pribeh priemerných hodinových koncentrácií NO vo vzdialenosti 7 m (ŽU) a 37 m (ENV) od krajnice CK a intenzity dopravy na meracom stanovišti pri diaľnici D1



Obrázok 6.11 Pribeh priemerných hodinových koncentrácií NO₂ vo vzdialenosti 7 m (ŽU) a 37 m (ENV) od krajnice CK a intenzity dopravy na meracom stanovišti pri diaľnici D1



Obrázok 6.12 Priebek priemerných hodinových koncentrácií NO_x vo vzdialenosti 7 m (ŽU) a 37 m (ENV) od krajnice CK a intenzity dopravy na meracom stanovišti pri diaľnici D1



Obrázok 6.13 Priebek priemerných hodinových koncentrácií PM_{10} vo vzdialenosti 7 m (ŽU) a 37 m (ENV) od krajnice CK a intenzity dopravy na meracom stanovišti pri diaľnici D1

V ďalšom sa skúmal vplyv jednotlivých zložiek meteorologických parametrov a intenzity dopravy na zmenu koncentrácií PM_{10} a NO_x . Bola na to využitá viacrozmerná lineárna regresná analýza – MRA, ktorou sa preukázal dominantný vplyv jednotlivých nezávislých premenných na závislé PM_{10} a NO_x . Vstupnú maticu tvorilo 137 prípadov (1-hodinové koncentrácie PM_{10} a NO_x), vždy jedna závislá premenná PM_{10} alebo NO_x a 6 nezávislých premenných (teplota, tlak, rýchlosť vetra, vlhkosť, úhrn zrážok a intenzita dopravy). Predovšetkým koncentrácie PM_{10} sú do veľkej miery ovplyvnené meteorologickými parametrami, čo má samozrejme dopad na vhodnosť výberu časového obdobia na samotný monitoring. Z uskutočnených analýz vyplynulo, že pre PM_{10} sú veľmi dôležité predovšetkým meteorologické podmienky rýchlosť vetra, teplota a tlak. Najväčšiu negatívnu koreláciu s koncentraciami PM_{10} vykázala rýchlosť vetra $r = -0,57$ v prípade MMSKO ŽU a v prípade MMSKO ENV to bola hodnota $r = -0,48$ (Tabuľka 6.2, 6.3). Tzn., rýchlosť vetra vo veľkej miere ovplyvňuje samotné imisie PM_{10} rozptýlené v ovzduší. Intenzita dopravy vykazuje dokonca malú negatívnu koreláciu s PM_{10} , čo svedčí o fakte, že meteorologické parametre ovplyvňujú koncentrácie PM_{10} do takej miery, že priamy prejav primárneho zdroja znečistenia touto škodlivinou nie možné v tomto kontexte preukázať. Samotný model zostavený z teploty, tlaku, rýchlosti vetra a intenzity dopravy objasnil 53 % pôvodného rozptylu dát PM_{10} pri MMSKO ŽU a 52 % pri MMSKO ENV.

V prípade závislej premennej NO_x vyšiel ako najviac vplývajúci parameter na túto znečisťujúcu látku rýchlosť vetra, pričom korelácia vykázala rovnakú hodnotu pre MMSKO ŽU a MMSKO ENV $r = -0,54$ (Tabuľka 6.2, 6.3). Tzn., že pri väčších rýchlostiach prúdenia vetra boli koncentrácie NO_x nižšie. Celkový model zostavený z významných nezávislých premenných teplota, tlak, rýchlosť vetra a intenzita dopravy vysvetlil pri oboch monitorovacích staniciach 57 % pôvodného rozptylu dát NO_x . V prípade analýzy NO_x bola korelácia s intenzitou dopravy dosť vysoká $r = 0,45$ v prípade MMSKO ŽU a $r = 0,4$ pri MMSKO ENV (Tabuľka 6.2, 6.3), čo naznačuje nižšiu senzitivitu tejto plynnej škodliviny na meteorologické parametre ako pri PM_{10} . V tomto prípade je viac viditeľný vplyv cestnej dopravy na koncentrácie NO_x ako pri PM_{10} .

Tabuľka 6.2 Významné premenné zahrnuté pre modely PM_{10} , NO_x a výsledky MRA na stanovišti D1, MMSKO ŽU

Závislá premenná	Zahrnutá nezávislá premenná	Parameter "b"	Významnosť "p"	Korelačný koeficient	Koeficient determinácie viacnásobný R^2
PM_{10}	Abs. člen	3392,2	0,000000	-	0,53
	TEMP	-2,98	0,000379	-0,43	
	PRES	-3,41	0,000000	-0,48	
	WV	-7,47	0,000014	-0,57	
	ID	-0,012	0,005040	-0,03	
NO_x	Abs. člen	6892,8	0,000000	-	0,57
	TEMP	-4,21	0,038041	-0,26	
	PRES	-6,34	0,000000	-0,52	
	WV	-17,54	0,000031	-0,54	
	ID	0,054	0,000001	0,45	

*Poznámka: TEMP – teplota, PRES – tlak, WV – rýchlosť vetra, ID – intenzita dopravy

Tabuľka 6.3 Významné premenné zahrnuté pre modely PM₁₀, NO_x a výsledky MRA na stanovišti D1, MMSKO ENV

Závislá premenná	Zahrnutá nezávislá premenná	Parameter "b"	Významnosť "p"	Korelačný koeficient	Koeficient determinácie viacnásobný R ²
PM ₁₀	Abs. člen	3323,8	0,000000	-	0,52
	TEMP	-2,60	0,000448	-0,38	
	PRES	-3,35	0,000000	-0,49	
	WV	-4,84	0,001172	-0,48	
	ID	-0,018	0,000005	-0,15	
NO _x	Abs. člen	6949,6	0,000000	-	0,57
	TEMP	-3,24	0,047982	-0,25	
	PRES	-7,02	0,000000	-0,59	
	WV	-14,48	0,000021	-0,54	
	ID	0,036	0,000039	0,40	

*Poznámka: TEMP – teplota, PRES – tlak, WV – rýchlosť vetra, ID – intenzita dopravy

Monitorovanie znečistenia ovzdušia (kvality ovzdušia) a jeho výsledky sú preukazným materiálom na to, aby sme dostali obraz o životnom prostredí v danej lokalite, kde sa realizuje príslušný monitoring v stanovenom rozsahu. Vyhodnotenie uskutočneného monitoringu musí byť jasné a zrozumiteľné nielen odbornej verejnosti ale predovšetkým laickej verejnosti, ktorej sa zhoršené ovzdušie priamo týka. Na tento zámer je veľmi dobre použiteľný jednotný hodnotiaci systém kvality ovzdušia, ktorý jednou hodnotou a sfarbením vypovedá o zdravotných rizikách pre samotné obyvateľstvo. Aj v prípade týchto realizovaných experimentálnych meraní boli koncentrácie jednotlivých monitorovaných znečisťujúcich látok vyhodnotené a bol stanovený tzv. index kvality ovzdušia – AQI (air quality index) podľa *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index* vydané U. S. Environmental protection agency (kap. 5.1.1). Na monitorovacom stanovišti pri diaľnici D1 bol samostatne stanovený celkový index kvality ovzdušia pre MMSKO ŽU a MMSKO ENV. Pre NO₂ bola použitá najvyššia priemerná 1-hodinová koncentrácia v konkrétnom posudzovanom dni v ppb a pre PM₁₀ bola použitá 24-hodinová koncentrácia prislúchajúca pre posudzovaný deň v µg/m³. Najskôr boli vypočítané čiastkové indexy kvality ovzdušia I_p pre NO₂ a PM₁₀ v jednotlivých meracích dňoch. Z týchto indexov sa vybral ten najnepriaznivejší a ten predstavuje celkový AQI pre danú monitorovaciu stanicu v danom monitorovacom období. V prípade MMSKO ŽU bola najnepriaznivejšia hodnota AQI **61**, ktorá prislúcha koncentrácii PM₁₀ 75 µg/m³. Pri MMSKO ENV to bola hodnota AQI **52**, ktorá prislúcha koncentrácii PM₁₀ 58 µg/m³ (Tabuľka 6.4). V oboch prípadoch vyšla úroveň kvality ovzdušia „Stredná“, čo predstavuje riziko len pre malú časť obyvateľstva, ktorá je výrazne citlivá na znečistenie ovzdušia (Tabuľka 6.5). Pri stanovovaní IKO podľa ČHMÚ sa vychádzalo z Tabuľky 5.8, podľa ktorej sa určil pre každú znečisťujúcu látku čiastkový index kvality ovzdušia a následne sa vybral ten najnepriaznivejší, ktorý je určujúci pre danú monitorovaciu stanicu a monitorovacie obdobie. IKO bol priradený konkrétnej znečisťujúcej látke podľa toho, do ktorého intervalu patrila nameraná koncentrácia posudzovanej znečisťujúcej látky. IKO určený podľa ČHMÚ dosiahol max. hodnoty **4** pre MMSKO ŽU a **3** pre MMSKO ENV za celé monitorovacie obdobie (Tabuľka 6.5).

Tabuľka 6.4 Stanovenie indexu kvality ovzdušia (IKO podľa ČHMÚ a AQI podľa US EPA) z nameraných koncentrácií vybraných znečisťujúcich látok na meracom stanovišti pri diaľnici D1

D1																
Veličina/ dátum	ŽU								ENV							
	ŽU NO ₂ ppb 1 - hod	IKO NO ₂ ŽU ČHMÚ	Ip NO ₂ ŽU US EPA	ŽU PM ₁₀ µg/m ³ 24 - hod	IKO PM ₁₀ ŽU ČHMÚ	Ip PM ₁₀ ŽU US EPA	IKO ČHMÚ**	AQI US EPA*	ENV NO ₂ ppb 1 - hod	IKO NO ₂ ŽU ČHMÚ	Ip NO ₂ ŽU US EPA	ENV PM ₁₀ µg/m ³ 24 - hod	IKO PM ₁₀ ŽU ČHMÚ	Ip PM ₁₀ ŽU US EPA	IKO ČHMÚ**	AQI US EPA*
11.1.2014	33	3	31	35	2	33	4	61	28	3	27	28	2	26	3	52
12.1.2014	24	2	23	13	1	12			22	2	21	11	1	10		
13.1.2014	38	3	36	50	3	46			32	3	31	35	2	32		
14.1.2014	36	3	34	75	4	61			36	3	34	58	3	52		
15.1.2014	29	3	27	41	3	38			24	2	22	36	2	33		
16.1.2014	29	3	27	27	2	25			25	2	23	21	2	19		
Kvalita ovzdušia IKO: viď. Tabuľka 5.8																
Kvalita ovzdušia AQI: viď. Tabuľka 5.1																

*(AQI – stanovené podľa „Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality –the Air Quality Index“ vydané U. S. Environmental protection agency)

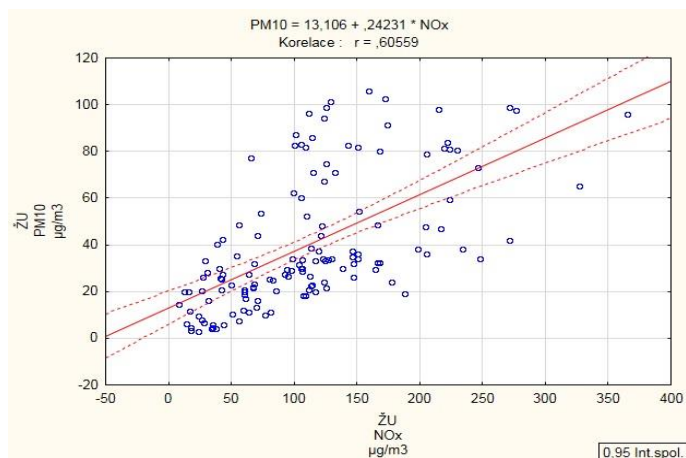
** (IKO – stanovené podľa ČHMÚ

http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/actual_hour_data_CZ.html)

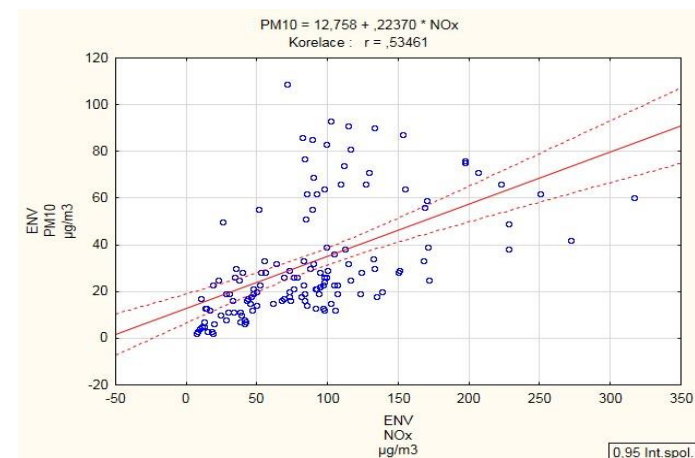
Tabuľka 6.5 Vyhodnotená úroveň kvality ovzdušia podľa US EPA a popis jej významu

Úroveň kvality ovzdušia	Numerická hodnota AQI	Význam
Stredná	51-100	Kvalita ovzdušia je prijateľná, ale pri určitých znečisťujúcich látkach môže byť mierne zdravotné riziko pre veľmi malý počet ľudí, ktorí sú mimoriadne citliví na znečistenie ovzdušia.

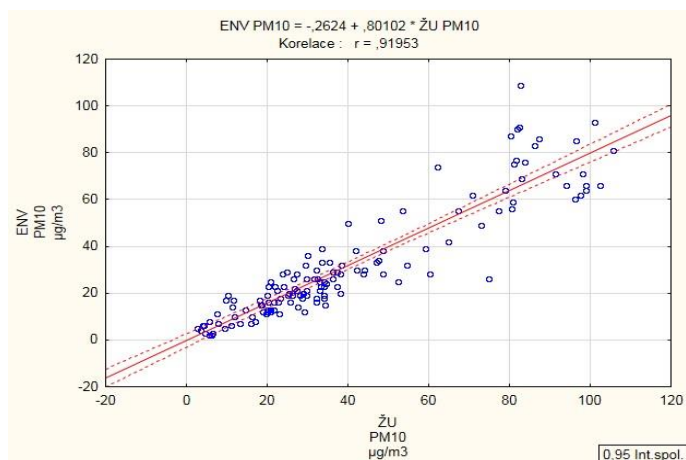
Čo sa týka vzájomného vzťahu medzi PM₁₀ a NO_x, potvrdila sa vysoká previazanosť tuhých častíc a oxidov dusíka. Korelácia týchto znečisťujúcich látok bola pri MMSKO ŽU popísaná hodnotou $r = 0,61$ (Obrázok 6.14) a pri MMSKO ENV $r = 0,53$ (Obrázok 6.15), čo je relatívne vysoká korelácia. V prípade koncentrácií PM₁₀ zistených MMSKO ŽU to predstavuje 37 % pôvodného rozptylu dát, ktoré dokážeme vysvetliť rozptylom koncentrácií NO_x a v prípade MMSKO ENV to je 28 %. Pri skúmaní vzájomného vzťahu koncentrácií PM₁₀ a koncentrácií NO_x nameraných MMSKO ŽU a MMSKO ENV bola zistená vysoká korelácia (previazanosť) týchto koncentrácií medzi týmito stanicami. V prípade PM₁₀ to bola hodnota $r = 0,92$ (Obrázok 6.16) a NO_x $r = 0,97$ (Obrázok 6.17). Tieto vysoké hodnoty korelačných koeficientov naznačujú šíriace sa imisie medzi týmito dvoma monitorovacími stanicami s dokázaným poklesom koncentrácií so zvyšujúcou sa vzdialenosťou od primárneho zdroja znečistenia – cestná doprava.



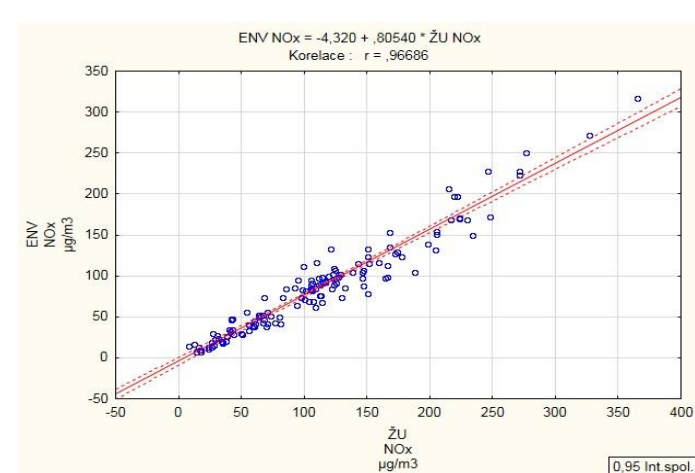
Obrázok 6.14 Vzťah medzi koncentraciami PM₁₀ a NO_x na monitorovacom stanovišti pri diaľnici D1, MMSKO ŽU



Obrázok 6.15 Vzťah medzi koncentraciami PM₁₀ a NO_x na monitorovacom stanovišti pri diaľnici D1, MMSKO ENV



Obrázok 6.16 Vzťah medzi koncentraciami PM₁₀ nameranými MMSKO ŽU a MMSKO ENV na monitorovacom stanovišti pri diaľnici D1



Obrázok 6.17 Vzťah medzi koncentraciami NO_x nameranými MMSKO ŽU a MMSKO ENV na monitorovacom stanovišti pri diaľnici D1

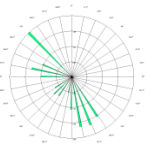
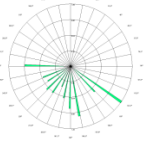
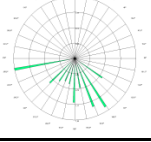
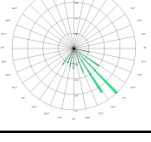
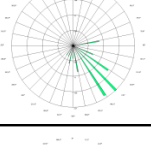
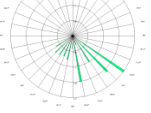
6.2 Experimentálne merania pri diaľničnom privádzaní Žilina, Strážov – vplyv protihlukovej steny (PHS) na šírenie znečistenia ovzdušia od cestnej dopravy

Druhým cieľom rozborovej úlohy vzhľadom na uskutočnené experimentálne merania bolo zistenie vplyvu protihlukovej steny na šírenie znečistenia ovzdušia od cestnej dopravy. Monitorovacie stanovište bolo umiestnené pri diaľničnom privádzaní Žilina, Strážov po pravej strane CK v smere do Žiliny. MMSKO ENV bola umiestnená za protihlukovou stenou vo vzdialenosti cca 15 m od krajnice CK, MMSKO ŽU bola umiestnená mimo protihlukovej steny s priamym výhľadom na CK vo vzdialenosti cca 35 m od krajnice CK. Vzdialenosť medzi týmito monitorovacími stanicami bola cca 100 m pozdĺž CK. Zisťované boli koncentrácie znečisťujúcich látok NO, NO₂, NO_x a PM₁₀, hodnoty meteorologických parametrov teplota, vlhkosť, tlak, rýchlosť vetra, smer vetra, úhrn zrážok a tiež intenzita dopravy, ako predpokladaný primárny zdroj znečistenia ovzdušia na danom mieste (Tabuľka 6.6). Protihluková stena mala výšku cca 4,5 m.

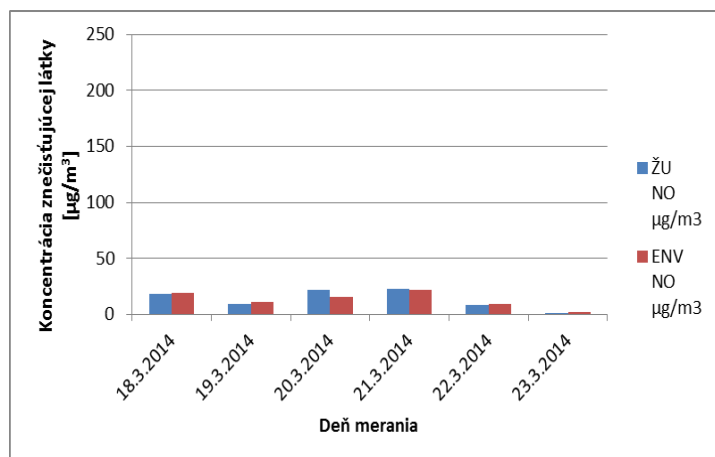
Predpokladaný vplyv protihlukovej steny na zníženie koncentrácií znečisťujúcich látok sa badateľne prejavil iba pri PM₁₀. Priemerná koncentrácia PM₁₀ za sledované obdobie zistená na MMSKO ENV (18 µg/m³) bola o 5 µg/m³ nižšia než priemerná koncentrácia PM₁₀ na MMSKO ŽU (23 µg/m³). Zníženie priemernej koncentrácie PM₁₀ za sledované obdobie za protihlukovou stenou oproti miestu bez steny tak predstavuje **22 %**. Počas sledovaného obdobia nebolo na monitorovacom stanovišti zistené žiadne prekročenie dennej limitnej hodnoty pre PM₁₀ 50 µg/m³ (Obrázok 6.21). Najvyššia zistená denná priemerná hodnota koncentrácie PM₁₀ v sledovanom období bola na MMSKO ŽU 27 µg/m³ a na MMSKO ENV 20 µg/m³. V prípade koncentrácií NO, NO₂ a NO_x na mieste za PHS a na mieste bez PHS boli zistené iba minimálne rozdiely, takže pri týchto plynných znečisťujúcich látkach prakticky nebol zistený vplyv PHS na namerané koncentrácie (Obrázok 6.18, 6.19, 6.20).

Je to pravdepodobne spôsobené členitosťou okolitého terénu a veľkým vplyvom prúdenia vetra na danom mieste, pričom prevažovalo prúdenie smerom od mesta Žilina. Dôležitú úlohu môže zohrávať aj umiestnenie staníc od CK, pričom MMSKO ENV za PHS bola umiestnená bližšie k CK ako MMSKO ŽU bez PHS. V prípade, že by boli umiestnené v rovnakej vzdialenosti od CK, vplyv PHS by sa mohol výraznejšie prejavíť, keďže vplyv vzdialenosti na merané koncentrácie znečisťujúcich látok je evidentný. Najvyššie denné priemerné koncentrácie oxidov dusíka na MMSKO ŽU boli namerané dňa 21.3.2014 pre NO (22,6 µg/m³), pre NO₂ (26,5 µg/m³) a pre NO_x (61 µg/m³). Najvyššie denné priemerné koncentrácie oxidov dusíka na MMSKO ENV boli namerané dňa 21.3.2014 pre NO (21,7 µg/m³), pre NO₂ (25,4 µg/m³) aj pre NO_x (58,7 µg/m³) (Tabuľka 6.6). Priebeh koncentrácií NO, NO₂ a NO_x evidentne korešponduje s priebehom hodinových intenzít dopravy. Je to badateľné predovšetkým pri rannom náraste intenzity dopravy, kedy rapídne vzrastie koncentrácia všetkých troch plynných škodlivín (Obrázok 6.22, 6.23, 6.24). Zvýšené ranné koncentrácie oxidov dusíka môžu byť zapríčinené malými rannými inverziami, ktoré vplývajú na rozptyl znečisťujúcich látok produkovaných cestnou dopravou. V sledovanom období nebolo zistené žiadne prekročenie hodinovej limitnej hodnoty na ochranu zdravia ľudí pre NO₂ 200 µg/m³ (Obrázok 6.23).

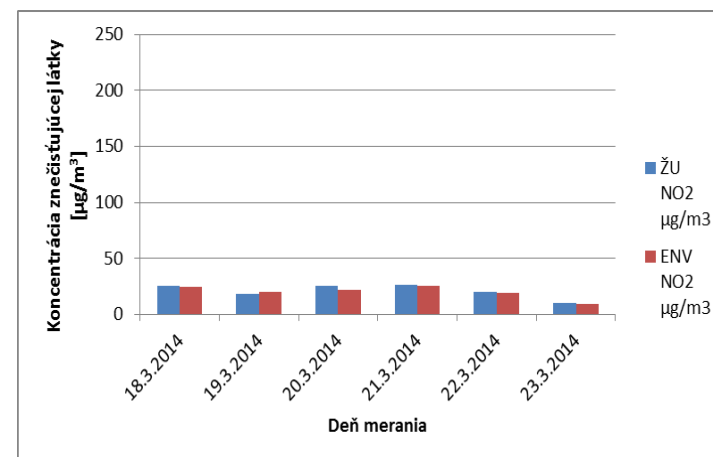
Tabuľka 6.6 Priemerné denné koncentrácie znečisťujúcich látok, meteorologické parametre a intenzita dopravy na meracom stanovišti Žilina, Strážov

Meranie znečistenia ovzdušia Žilina Strážov 18.3. - 23.3.2014 - vplyv protihlukovej steny na šírenie emisií z cestnej dopravy																				
Veličina/ dátum	MMSKO Žilinská univerzita										MMSKO Envitech									
	ŽU NO μg/m ³	ŽU NO ₂ μg/m ³	ŽU NO _x μg/m ³	ŽU PM ₁₀ μg/m ³	ŽU Teplota °C	ŽU Vlhkosť %	ŽU Tlak hPa	ŽU Rýchlosť vetra m/s	ŽU Smer vetra deg	ŽU Intenzita dopravy voz/h	ENV NO μg/m ³	ENV NO ₂ μg/m ³	ENV NO _x μg/m ³	ENV PM ₁₀ μg/m ³	ENV Teplota °C	ENV Vlhkosť %	ENV Tlak hPa	ENV Rýchlosť vetra m/s	ENV Úhrn zrážok mm/24h	
18.3.2014	18,3	25,8	53,8	27	8,8	77	974	1,1		26532	19,2	25,0	54,4	19	9,3	68	977	0,7	0,4	
19.3.2014	9,1	18,3	32,2	22	8,2	89	975	0,7		26890	11,3	20,3	37,6	16	8,7	80	977	0,4	73,8	
20.3.2014	22,0	25,3	59,0	21	8,9	77	981	0,9		28685	15,3	21,8	45,2	16	9,3	69	984	0,4	0,0	
21.3.2014	22,6	26,5	61,0	24	10,2	65	976	1,3		30790	21,7	25,4	58,7	19	10,3	60	978	0,6	0,0	
22.3.2014	8,8	20,3	33,7	23	12,0	63	968	1,3		19580	9,1	19,5	33,5	20	12,2	58	971	0,7	0,0	
23.3.2014	0,7	9,8	10,8	19	11,2	81	964	1,1		19269	1,9	9,6	12,5	18	11,6	75	966	0,6	18,2	

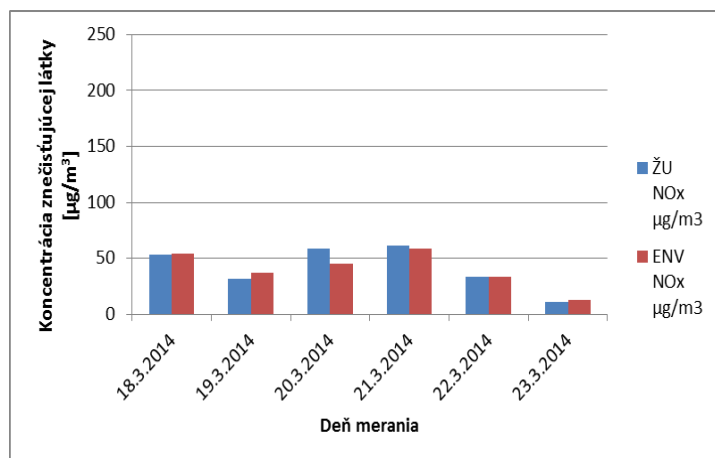
*(MMSKO ŽU bez PHS, MMSKO ENV umiestnená za PHS)



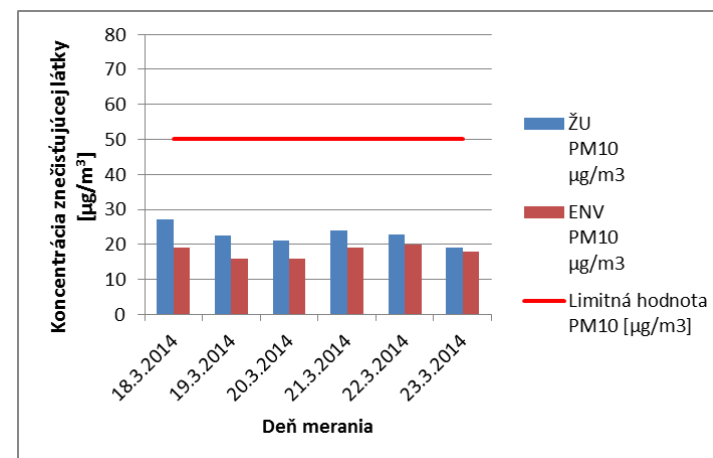
Obrázok 6.18 Porovnanie priemerných denných koncentrácií NO na meracom stanovišti pri diaľničnom privádzачi Žilina, Strážov bez PHS (ŽU) a s PHS (ENV)



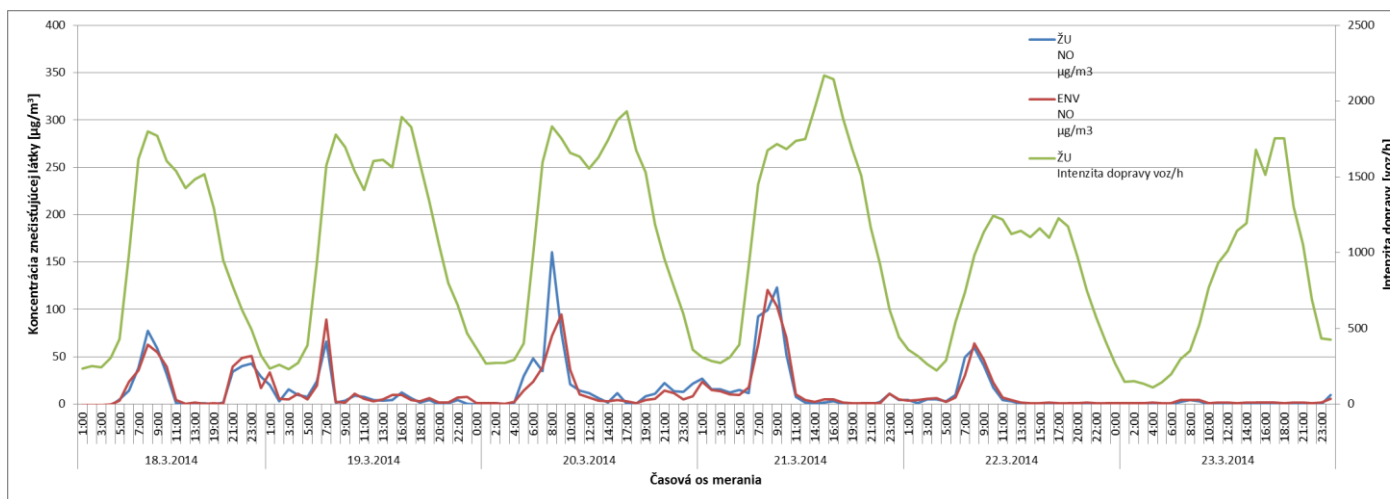
Obrázok 6.19 Porovnanie priemerných denných koncentrácií NO₂ na meracom stanovišti pri diaľničnom privádzачi Žilina, Strážov bez PHS (ŽU) a s PHS (ENV)



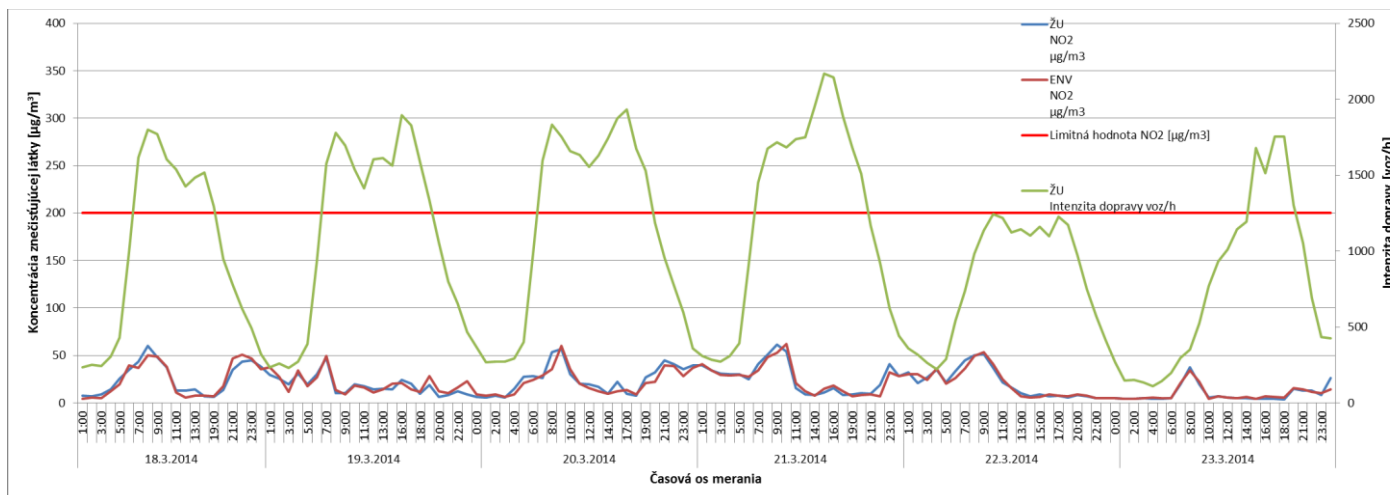
Obrázok 6.20 Porovnanie priemerných denných koncentrácií NOx na meracom stanovišti pri diaľničnom privádzачi Žilina, Strážov bez PHS (ŽU) a s PHS (ENV)



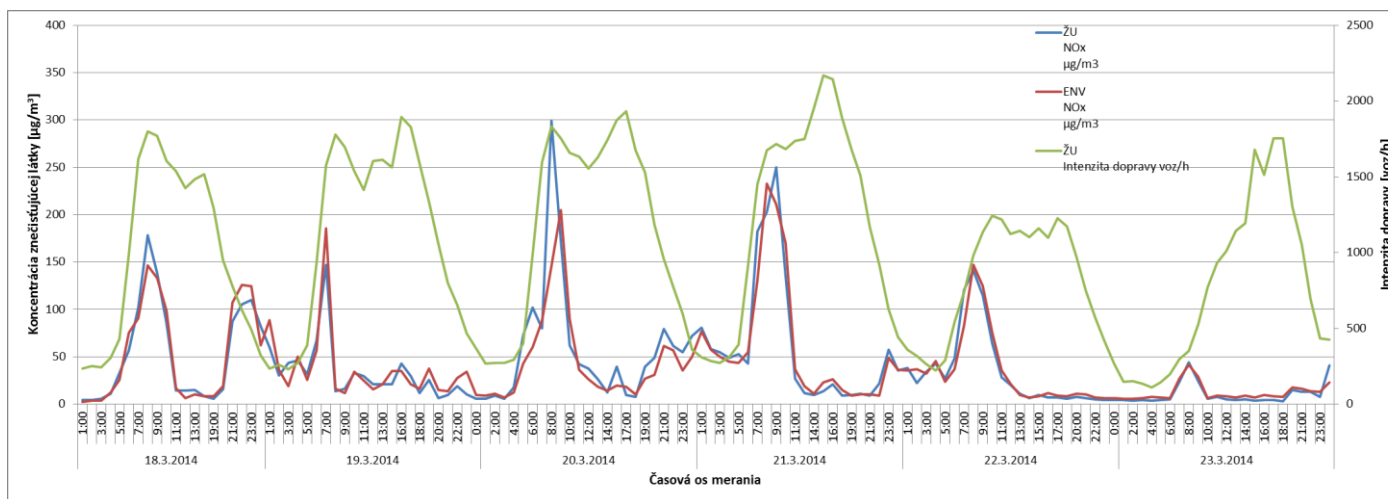
Obrázok 6.21 Porovnanie priemerných denných koncentrácií PM₁₀ na meracom stanovišti pri diaľničnom privádzачi Žilina, Strážov bez PHS (ŽU) a s PHS (ENV)



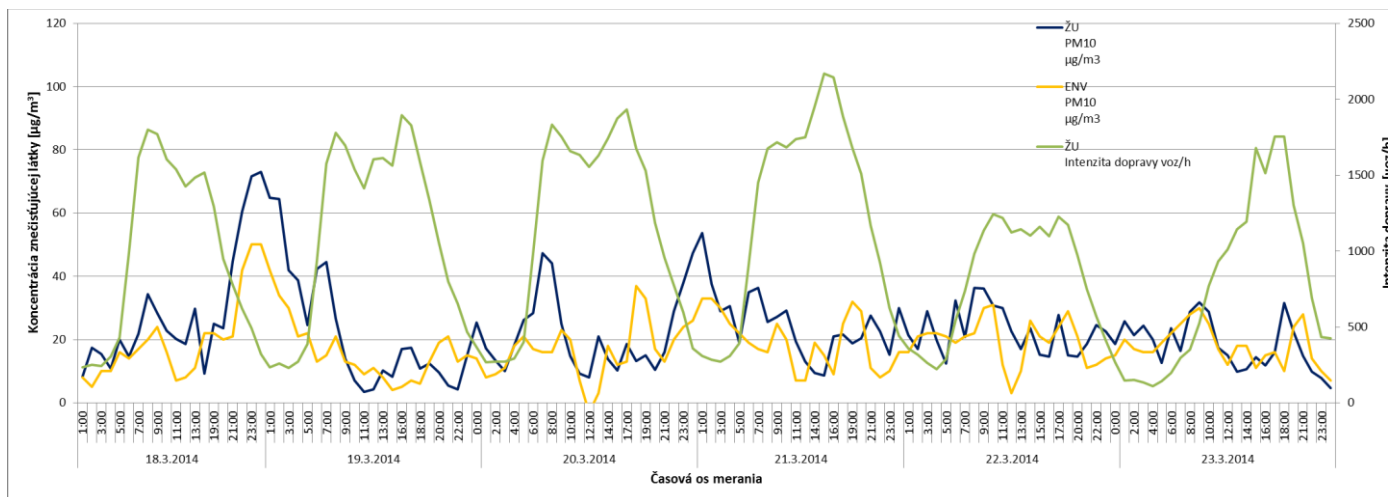
Obrázok 6.22 Pribeh priemerných hodinových koncentrácií NO bez PHS (ŽU) a s PHS (ENV) a intenzity dopravy na meracom stanovišti pri diaľničnom privádzači Žilina, Strážov



Obrázok 6.23 Pribeh priemerných hodinových koncentrácií NO₂ bez PHS (ŽU) a s PHS (ENV) a intenzity dopravy na meracom stanovišti pri diaľničnom privádzači Žilina, Strážov



Obrázok 6.24 Pribeh priemerných hodinových koncentrácií NO_x bez PHS (ŽU) a s PHS (ENV) a intenzity dopravy na meracom stanovišti pri diaľničnom privádzači Žilina, Strážov



Obrázok 6.25 Pribeh priemerných hodinových koncentrácií PM₁₀ bez PHS (ŽU) a s PHS (ENV) a intenzity dopravy na meracom stanovišti pri diaľničnom privádzači Žilina, Strážov

Aj na týchto experimentálnych meraniach uskutočnených pri diaľničnom privádzači Žilina, Strážov bola zrealizovaná analýza MRA vplyvu jednotlivých faktorov na koncentrácie PM₁₀ a NO_x. Do výpočtu vstupovali PM₁₀ a NO_x ako závislé premenné a meteorologické parametre teplota, vlhkosť, tlak, rýchlosť vetra, úhrn zrážok a intenzita dopravy ako nezávislé premenné. Dátová matica obsahovala 134 prípadov – koncentrácií znečisťujúcich látok. Modely pre PM₁₀ a NO_x neboli tak jednoznačné ako v prípade monitorovacieho stanovišťa pri diaľnici D1 a boli veľmi málo výpovedné, čo sa týka vplyvu jednotlivých faktorov na koncentrácie znečisťujúcich látok (Tabuľka 6.7, 6.8). PM₁₀ vykazovala zápornú koreláciu s teplotou a zrážkami a kladnú koreláciu s vlhkosťou na obidvoch MMSKO. Koncentrácie NO_x boli negatívne ovplyvnené hlavne teplotou a zrážkami a tak, ako v prípade stanovišťa pri diaľnici D1 boli pozitívne ovplyvnené intenzitou dopravy (Tabuľka 6.7, 6.8). Z modelu v tomto prípade vypadla rýchlosť vetra oproti modelu zostavenom pri diaľnici D1. Daná lokalita, kde bolo uskutočnené experimentálne meranie na zistenie vplyvu PHS na šírenie znečistenia ovzdušia od cestnej dopravy, je charakteristická zložitým usporiadaním jednotlivých zložiek priestoru (prírody, domov, umelých prekážok), čo môže mať negatívny dopad na správanie sa zložiek okolitého ovzdušia.

Tabuľka 6.7 Významné premenné zahrnuté pre modely PM₁₀, NO_x a výsledky MRA na stanovišti Žilina, Strážov, MMSKO ŽU

Závislá premenná	Zahrnutá nezávislá premenná	Parameter "b"	Významnosť "p"	Korelačný koeficient	Koeficient determinácie viacnásobný R ²
PM ₁₀	Abs. člen	3,78	0,350239	-	0,20
	HUM	0,28	0,000000	0,32	
	RAIN	-3,80	0,000030	-0,21	
NO _x	Abs. člen	73,85	0,000000	-	0,37
	TEMP	-7,02	0,000000	-0,38	
	RAIN	-11,94	0,000066	-0,15	
	ID	0,04	0,000000	0,20	

*Poznámka: TEMP – teplota, PRES – tlak, WV – rýchlosť vetra, ID – intenzita dopravy

Tabuľka 6.8 Významné premenné zahrnuté pre modely PM₁₀, NO_x a výsledky MRA na stanovišti Žilina, Strážov, MMSKO ENV

Závislá premenná	Zahrnutá nezávislá premenná	Parameter "b"	Významnosť "p"	Korelačný koeficient	Koeficient determinácie viacnásobný R ²
PM10	Abs. člen	-15,30	0,106849	-	0,19
	TEMP	0,90	0,013759	-0,21	
	HUM	0,35	0,000046	0,27	
	RAIN	-3,00	0,000007	-0,21	
NOx	Abs. člen	63,52	0,000000	-	0,28
	TEMP	-5,59	0,000000	-0,32	
	RAIN	-9,32	0,001195	-0,12	
	ID	0,04	0,000000	0,21	

*Poznámka: TEMP – teplota, PRES – tlak, WV – rýchlosť vetra, ID – intenzita dopravy

Aj v tomto prípade boli experimentálne merania vyhodnotené podľa postupu na stanovenie indexu kvality ovzdušia AQI podľa *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index* vydané U. S. Environmental protection agency (kap. 5.1.1) a podľa postupu stanovenia IKO ČHMÚ. Pri obidvoch monitorovacích staniciach MMSKO ŽU (bez PHS) a MMSKO ENV

(s PHS) bola pre celkový index kvality ovzdušia AQI za monitorovacie obdobie zistená hodnota 31 (Tabuľka 6.9). Táto hodnota reprezentuje uspokojivú kvalitu ovzdušia a znečistenie ovzdušia predstavuje len nízke až žiadne riziko (Tabuľka 6.10). Podľa postupu ČHMÚ bol zistený IKO **3** pre obidve monitorovacie stanice.

Skúmanie vzťahu PM₁₀ a NO_x opäť potvrdilo skutočnosť vysokej vzájomnej previazanosti týchto dvoch znečisťujúcich látok. V prípade MMSKO ŽU bola korelácia týchto dvoch polutantov $r = 0,47$ (Obrázok 6.26), tzn. 22 % variability oboch premenných je determinovaných spoločne. Pri MMSKO ENV bola korelácia týchto dvoch polutantov nižšia $r = 0,28$ (Obrázok 6.27). To naznačuje teóriu, že prúdenie a správanie sa tuhých častíc v okolí PHS je úplne iné ako v prípade plyných polutantov ako napríklad NO_x. Korelácia medzi koncentraciami PM₁₀ zistených na MMSKO ŽU a MMSKO ENV predstavuje hodnotu $r = 0,62$, čo je celkom vysoká previazanosť oboch miest – bez PHS a s PHS. Z analýzy vyplýva 38 % prekryv variability oboch premenných, čo poukazuje na ich vzájomnú previazanosť a tiež pravdepodobný spoločný pôvod (Obrázok 6.28). Vzájomná previazanosť NO_x na oboch miestach merania za PHS a bez PHS je ešte evidentnejšia, pričom korelačný koeficient má hodnotu $r = 0,93$ (Obrázok 6.29).

Tabuľka 6.9 Stanovenie indexu kvality ovzdušia (IKO podľa ČHMÚ a AQI podľa US EPA) z nameraných koncentrácií vybraných znečisťujúcich látok na meracom stanovišti Žilina, Strážov

Strážov																
Veličina/ dátum	ŽU								ENV							
	ŽU NO ₂ ppb 1 - hod	IKO NO ₂ ŽU ČHMÚ	Ip NO ₂ ŽU US EPA	ŽU PM ₁₀ μg/m ³ 24 - hod	IKO PM ₁₀ ŽU ČHMÚ	Ip PM ₁₀ ŽU US EPA	IKO ČHMÚ**	AQI US EPA *	ENV NO ₂ ppb 1 - hod	IKO NO ₂ ŽU ČHMÚ	Ip NO ₂ ŽU US EPA	ENV PM ₁₀ μg/m ³ 24 - hod	IKO PM ₁₀ ŽU ČHMÚ	Ip PM ₁₀ ŽU US EPA	IKO ČHMÚ**	AQI US EPA *
18.3.2014	31	3	30	27	2	25	3	31	27	3	25	19	1	18	3	31
19.3.2014	25	2	24	22	2	21			26	2	25	16	1	15		
20.3.2014	30	3	28	21	2	20			31	3	30	16	1	15		
21.3.2014	32	3	31	24	2	22			32	3	31	19	1	18		
22.3.2014	27	3	26	23	2	21			28	3	26	20	1	19		
23.3.2014	19	2	18	19	1	18			18	2	17	18	1	17		
Kvalita ovzdušia IKO: viď. Tabuľka 5.8																
Kvalita ovzdušia AQI: viď. Tabuľka 5.1																

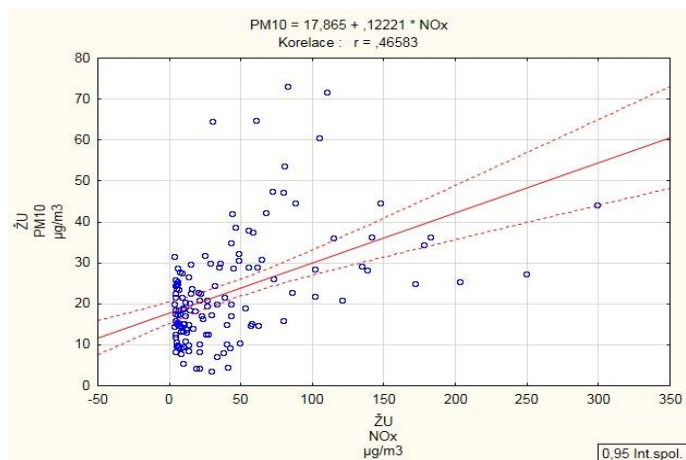
*(AQI – stanovené podľa „Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality –the Air Quality Index“ vydané U. S. Environmental protection agency)

** (IKO – stanovené podľa ČHMÚ

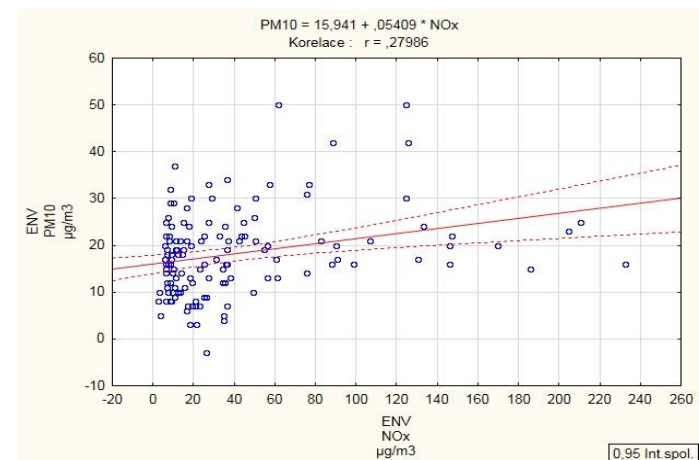
http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/actual_hour_data_CZ.html)

Tabuľka 6.10 Vyhodnotená úroveň kvality ovzdušia podľa US EPA a popis jej významu

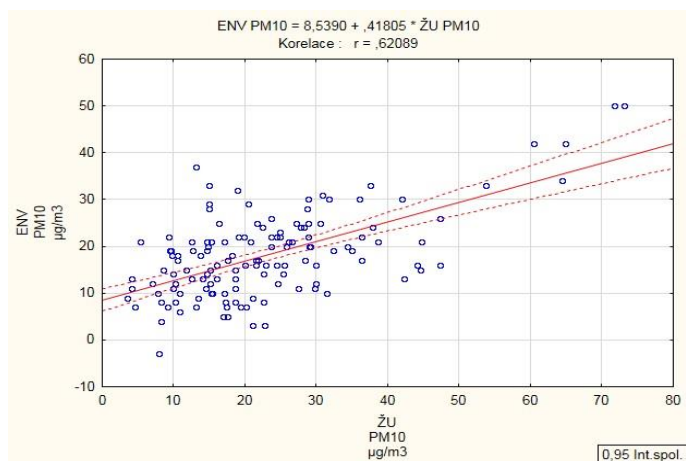
Úroveň kvality ovzdušia	Numerická hodnota AQI	Význam
Dobrá	0 až 50	Kvalita ovzdušia je považovaná za uspokojivú a znečistenie ovzdušia predstavuje malé alebo žiadne riziko



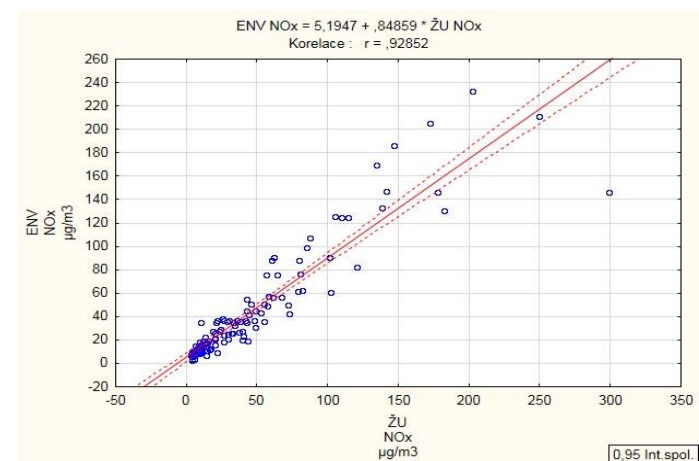
Obrázok 6.26 Vzťah medzi koncentraciami PM₁₀ a NO_x na monitorovacom stanovišti Žilina, Strážov, MMSKO ŽU



Obrázok 6.27 Vzťah medzi koncentraciami PM₁₀ a NO_x na monitorovacom stanovišti Žilina, Strážov, MMSKO ENV



Obrázok 6.28 Vzťah medzi koncentraciami PM₁₀ nameranými MMSKO ŽU a MMSKO ENV na monitorovacom stanovišti Žilina, Strážov



Obrázok 6.29 Vzťah medzi koncentraciami NO_x nameranými MMSKO ŽU a MMSKO ENV na monitorovacom stanovišti Žilina, Strážov

6.3 Zhodnotenie experimentálnych meraní

V rámci experimentálnych meraní boli realizované dva zámery na zistenie vplyvov na šírenia plyných a tuhých polutantov v ovzduší. Ako plyné znečisťujúce látky boli pozorované oxidy dusíka NO, NO₂ a NO_x a tuhé znečisťujúce látky reprezentovali častice PM₁₀. Experimentálne merania boli uskutočnené na dvoch meracích stanovištiach za rôznym účelom:

- meracie stanovište pri diaľnici D1 v areáli bývalej SSÚD za účelom zistenia vplyvu vzdialenosti monitorovacej stanice od cestnej komunikácie (CK) na zisťované koncentrácie znečisťujúcich látok,
- meracie stanovište pri diaľničnom privádzači Žilina, Strážov za účelom zistenia vplyvu protihlukovej steny (PHS) na šírenie znečistenia ovzdušia od cestnej dopravy.

Z meraní na meracom stanovišti pri diaľnici D1 a následnej analýzy získaných dát vyplynuli závery o vplyve umiestnenia monitorovacej stanice vo väčšej vzdialenosti od primárneho (skúmaného) zdroja znečistenia (cestná doprava) na koncentrácie znečisťujúcich látok nasledovne:

- jednoznačne sa prejavil pokles koncentrácií PM₁₀ vo väčšej vzdialenosti od CK, a to o **20 %** oproti koncentráciám nameraných bližšie k CK,
- taktiež vo väčšej vzdialenosti od CK boli namerané nižšie koncentrácie NO, NO₂ a NO_x, čo predstavovalo pokles koncentrácie v priemere o **29 %, 13 % a 23 %** za celé monitorovacie obdobie,
- vplyv okolitých faktorov, predovšetkým meteorologických podmienok, na šírenie znečistenia ovzdušia sa preukázal ako dominantný. Najväčší vplyv (negatívny) na koncentrácie PM₁₀ a NO_x mali meteorologické parametre rýchlosť vetra, teplota a tlak.
- intenzita dopravy mala výraznejší vplyv (priamo preukázateľný) predovšetkým na oxidy dusíka

Z meraní uskutočnených pri diaľničnom privádzači Žilina, Strážov a ich následnom vyhodnotení, kde monitorovacie stanice boli umiestnené za PHS a mimo PHS, vyplynulo niekoľko faktov týkajúcich sa šírenia znečistenia ovzdušia v takejto lokalite a priestore:

- za PHS boli namerané nižšie koncentrácie PM₁₀ ako bez PHS, čo činilo za celé monitorovacie obdobie v priemere pokles o **22 %**,
- znížené koncentrácie NO, NO₂ a NO_x za PHS oproti miestu bez PHS sa jednoznačne nepreukázali, pričom zníženie koncentrácií za PHS bolo za celé monitorovacie obdobie len **3 %** pre NO₂ a **4 %** pre NO, NO_x. Dôležitú úlohu mohol zohrať fakt, že MMSKO ENV bola umiestnená bližšie k CK ako MMSKO ŽU, čo mohlo znížiť prejavenie efektu vplyvu PHS na koncentrácie znečisťujúcich látok,
- vplyv meteorologických faktorov nebol na danom monitorovacom stanovišti jednoznačne preukázaný, ani v prípade miesta za PHS, ani v prípade miesta bez PHS,
- intenzita dopravy mala kladný korelačný vzťah s oxidmi dusíka.

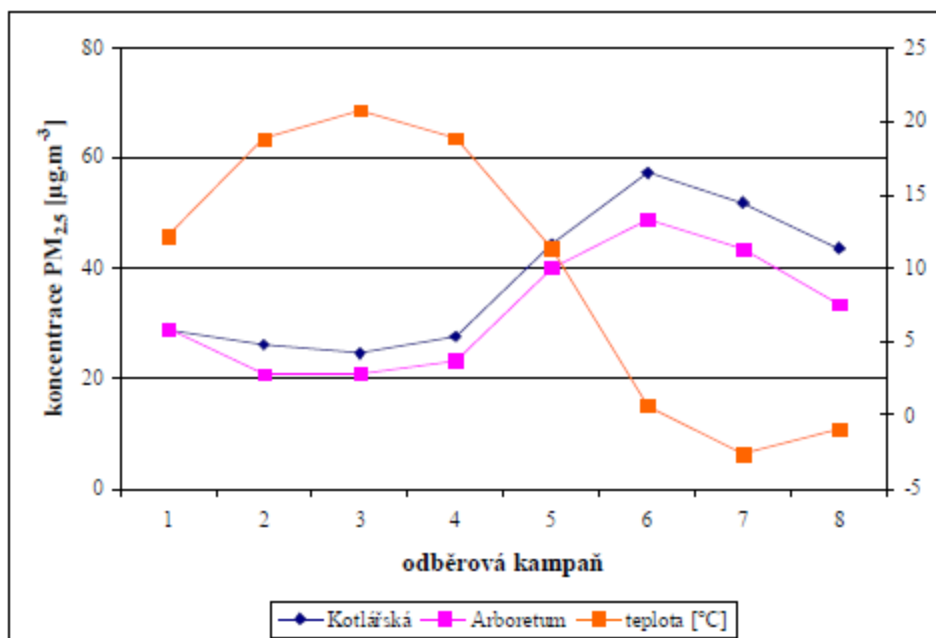
Experimentálne merania prebiehali na diametrálne dvoch odlišných stanovištiach. Pri diaľnici D1 sa jedná o otvorený priestor, rovinné územie bez akýchkoľvek umelých prekážok, ktoré by ovplyvňovali a narúšali prirodzené šírenie znečistenia ovzdušia podriadené len produkcii samotného zdroja znečistenia a meteorologickým faktorom. Pri diaľničnom privádzači Žilina, Strážov sa jedná o lokalitu s veľkou členitosťou okolitého terénu, výraznú zástavbu rodinných aj firemných budov a samozrejme išlo o úsek CK s rozsiahlymi protihlukovými stenami, kde tieto zložky prostredia predstavujú významné bariéry prirodzeného šírenia znečistenia ovzdušia.

7 Kvantifikácia zdroja a zloženia suspendovaných častíc v ovzduší

Vzhľadom na skutočnosť, že ekonomické možnosti tejto rozborovej úlohy nedovolili vykonať merania v dostatočne rozsiahlom časovom horizonte, uvádzame pre porovnanie aj výsledky našich meraní z predošlých projektov a taktiež výsledky dostupné z literatúry.

7.1 Meranie tuhých častíc realizované v Brne

Merania podobného zamerania robilo aj Centrum dopravného výskumu Brno [34]. Zamerali sa na sledovanie tuhých častíc frakcie $PM_{2,5}$ a $PM_{1,0}$ a ich vzťahu k teplote ako aj ich veľkostné zastúpenie v pomere k frakcii PM_{10} . S veľkosťou častíc súvisia ich možné účinky na ľudské zdravie a možné zdravotné riziká, pretože práve veľkosť častíc určuje, ako hlboko preniknú dýchacím ústrojenstvom. Odbery vzoriek ovzdušia boli vykonané s využitím stredne objemových čerpadiel LECKEL MVS6, koncentrácie častíc sa zisťovali gravimetricky z exponovaných filtrov. Kontinuálne merania jednotlivých veľkostných frakcií sa realizovali prístrojom EnvironCheck 107 – Grimm.

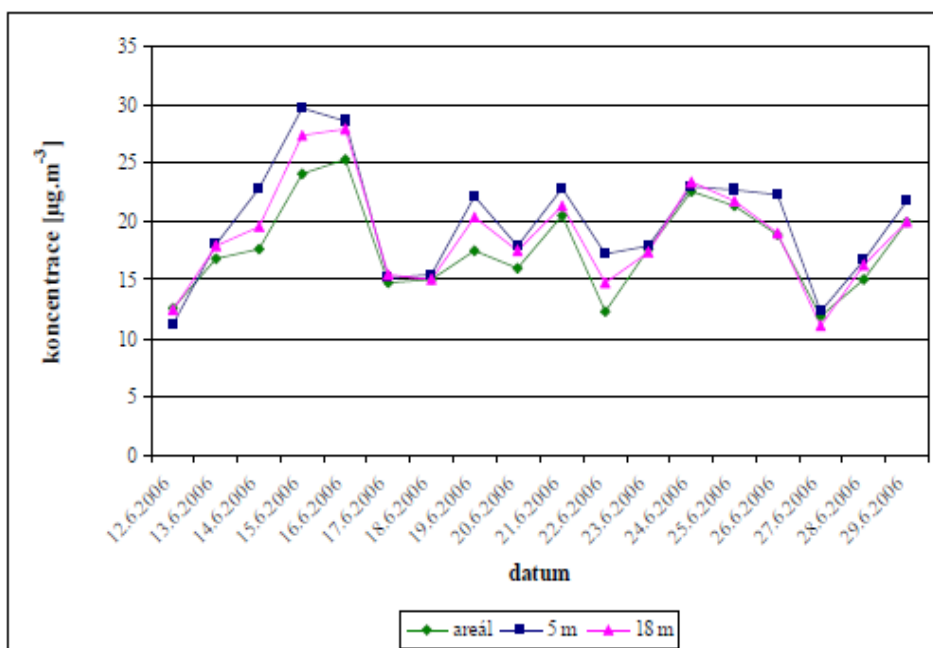


Obrázok 7.1 Vývoj koncentrácií $PM_{2,5}$ a teploty ovzdušia v sledovanom období [34]

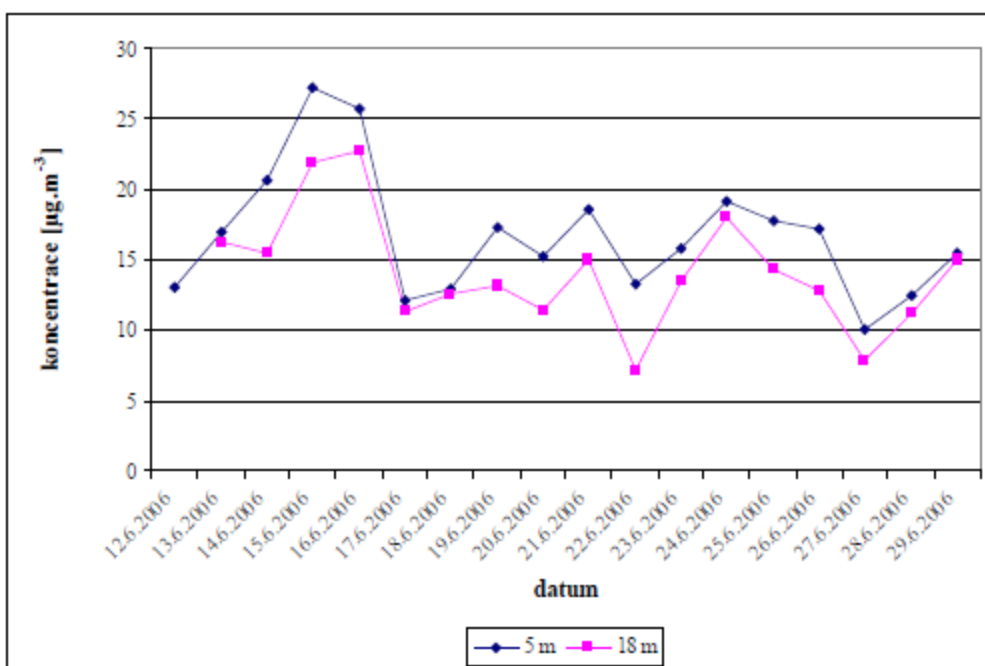
Z grafu na obrázku je zrejماً negatívna korelácia koncentrácií $PM_{2,5}$ a teploty. Čím je nižšia teplota, tým sú vyššie koncentrácie tuhých častíc $PM_{2,5}$ (Obrázok 7.1).

Významné pre obyvateľov žijúcich v blízkosti mestských komunikácií, ktoré sú zdrojom tuhých častíc z dopravy, sú poznatky o vertikálnom správaní sa častíc. Pre zmeny koncentrácie vzhľadom k vertikálnej polohe je charakteristický pokles koncentrácie tuhých častíc s výškou. Wu et al. [35] stanovili pri meraniach koncentrácie PM_{10} , $PM_{2,5}$ a $PM_{1,0}$ vo výške 79 m nad vozovkou na úrovni 60%, 62% a 80% maximálnych koncentrácií nameraných vo výške 2 m. Podobné výsledky boli publikované aj ďalšími autormi [36, 37, 38].

Pre sledovanie vertikálnej distribúcie PM bola vybratá budova Ústavu analytickej chémie AV v Brne, ul. Vevěří s intenzitou dopravy cca 18 tis. vozidiel za 24 h. Merania sa uskutočnili v období od 12. do 20.6.2006.



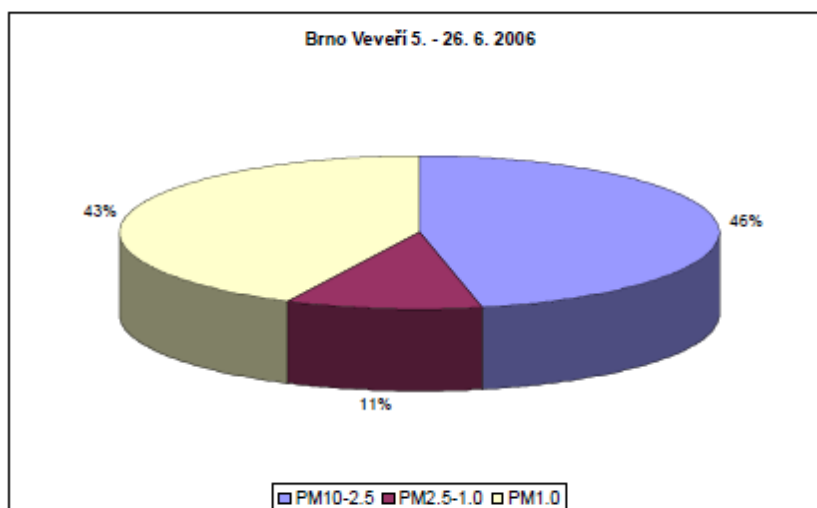
Obrázok 7.2 Vertikálna distribúcia PM_{2.5} (24 h koncentrácie)



Obrázok 7.3 Vertikálna distribúcia PM_{1.0} (24 h koncentrácie)

Podľa obrázkov 7.2 a 7.3 je viditeľný mierny pokles koncentrácií oboch frakcií tuhých častíc s vertikálnou vzdialenosťou od zdroja. Najvyššie koncentrácie boli namerané vo výške 5 m nad terénom, nižšie vo výške 18 m nad terénom. Na obrázku 7.2 je zachytené aj meranie PM_{2.5} v areáli za budovou. Tam boli namerané nižšie koncentrácie. To spôsobuje vplyv zástavby, ktorá bráni transportu PM na väčšiu vzdialenosť.

Podiel veľkostných frakcií na zložení PM₁₀ bol stanovený ako priemer za celé sledované obdobie (Obrázok 7.4).



Obrázok 7.4 Podiel veľkostných frakcií vo výške 5 m nad terénom

Je veľmi dôležité pre charakterizáciu chovania PM, určenie ich zdroja a pre posúdenie možných zdravotných rizík mať poznatky o fyzikálnych vlastnostiach emitovaných tuhých časticiach. Z tohto pohľadu je to predovšetkým ich veľkosť a tvar, ktoré odrážajú najmä spôsob ich vzniku. Inými slovami povedané, podľa ich tvaru možno usudzovať, z akého zdroja pochádzajú. Preto, čím viac informácií z monitoringu dokážeme získať a vyhodnotiť, tým boli finančné prostriedky naň vynaložené lepšie zhodnotené.

7.2 Meranie tuhých častíc realizované v Žiline

Merania tuhých častíc boli uskutočňované pri mestskej komunikácii v Žiline pravidelne 4-krát do roka. Cieľom bolo dlhodobé sledovanie pomerného zastúpenia tuhých častíc v ovzduší a ich správanie sa vzhľadom na okolité podmienky. V druhej fáze sa realizoval chemický rozbor tuhých častíc za účelom stanovenia množstva vybraných ťažkých kovov v jednotlivých frakciách PM.

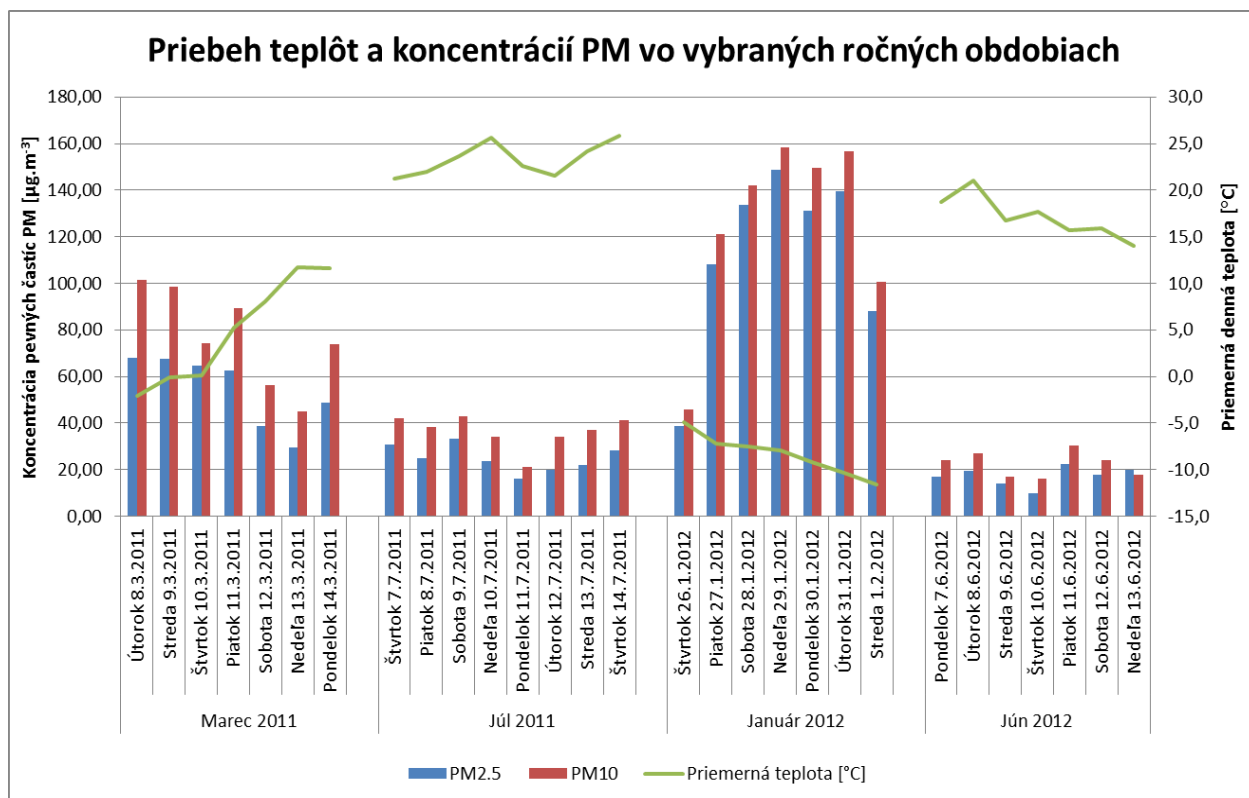
Meracie stanovište v Žiline bolo umiestnené na ulici Vojtecha Spanyola, kde intenzita dopravy dosahuje v priemere 14 tisíc vozidiel za 24 h. Pre zisťovanie množstva pevných častíc v ovzduší bola používaná referenčná metóda podľa STN EN 12341. Na meranie boli používané nízko objemové prietokové vzorkovače LECKEL LVS3 v počte 3 kusy. Súbežne boli merané tri frakcie tuhých častíc PM_{10} , $PM_{2.5}$ a PM_1 . Pevné častice boli zachytávané na nitrocelulózové filtre priemeru 47 mm a gravimetricky vyhodnocované [15, 39].

Dosiahnuté výsledky sú prezentované na nasledovných obrázkoch. Výsledky sú porovnateľné s výsledkami získanými v Brne. V období január 2012 sa prejavila vysoká inverzia na koncentráciách PM, pričom počas niekoľkých dní bola prekročená limitná hodnota stanovená pre PM_{10} a $PM_{2.5}$ (Obrázok 7.5).

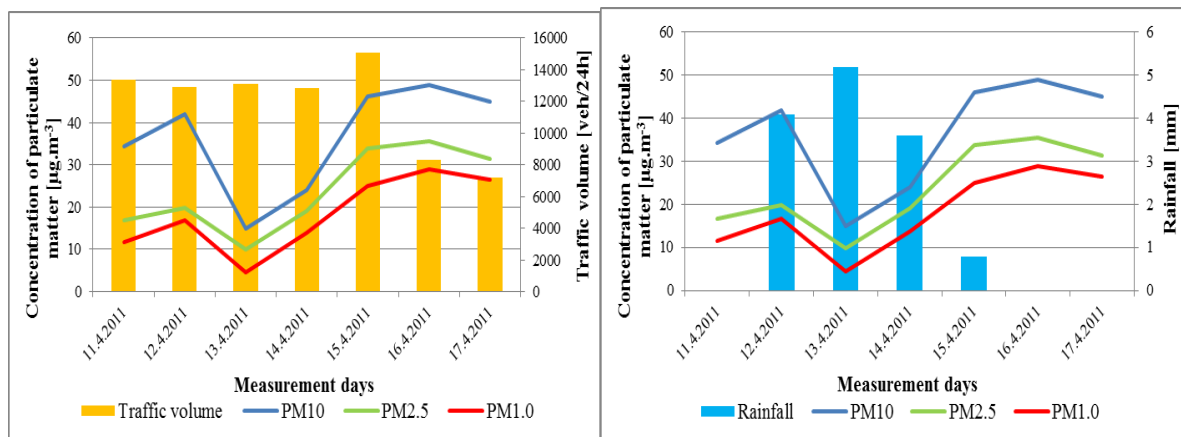
Počas merania 13.apríla 2011 sme zaznamenali intenzívny privalový dážď, čo okamžite prejavilo na výsledkoch zaznamenaných koncentrácií tuhých častíc (Obrázok 7.6).

Aj to potvrdzuje, že je potrebné zodpovedne pristupovať k samotnému meraniu a taktiež sa podrobne a individuálne venovať vyhodnocovaniu výsledkov.

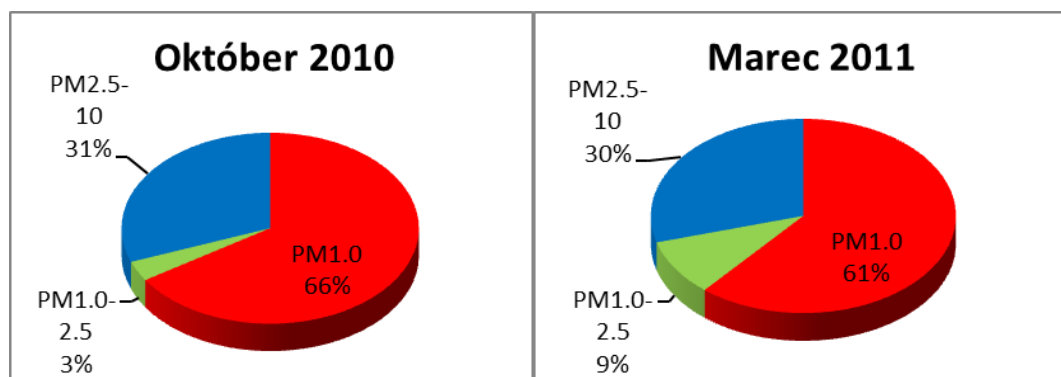
Celkové porovnanie podielu veľkostných frakcií na jeseň a na jar je znázornené na obrázku 7.7.



Obrázok 7.5 Vývoj koncentrácií PM a teploty ovzdušia v sledovanom období



Obrázok 7.6 Prejav pôsobenia intenzívneho dažďa

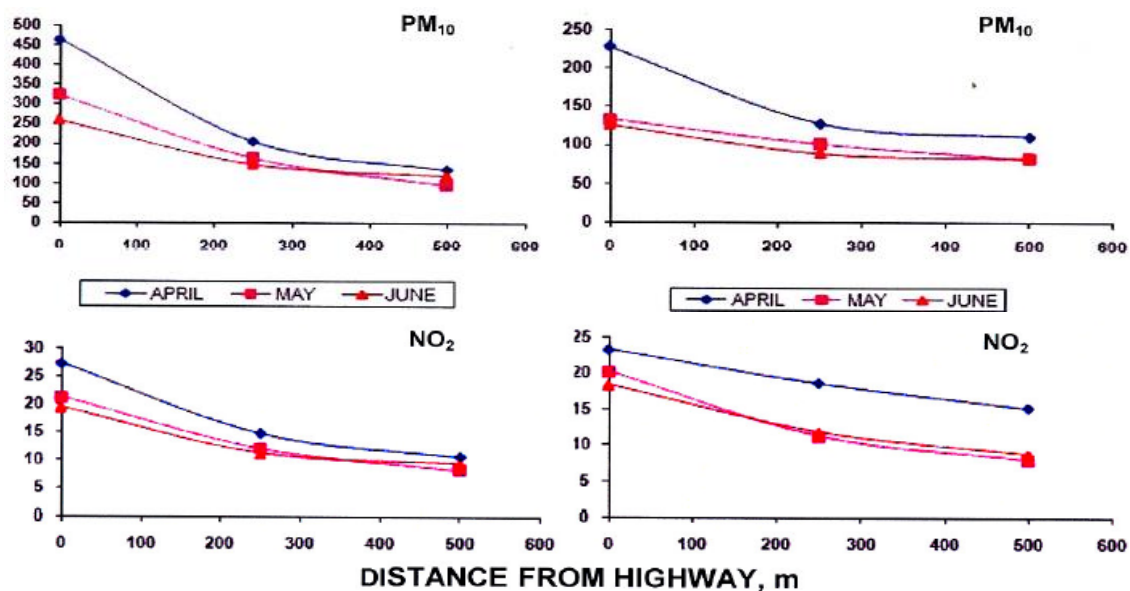


Obrázok 7.7 Podiel veľkostných frakcií vo výške 1,5 m nad terénom [15, 39]

7.3 Meranie tuhých častíc realizované v zahraničí

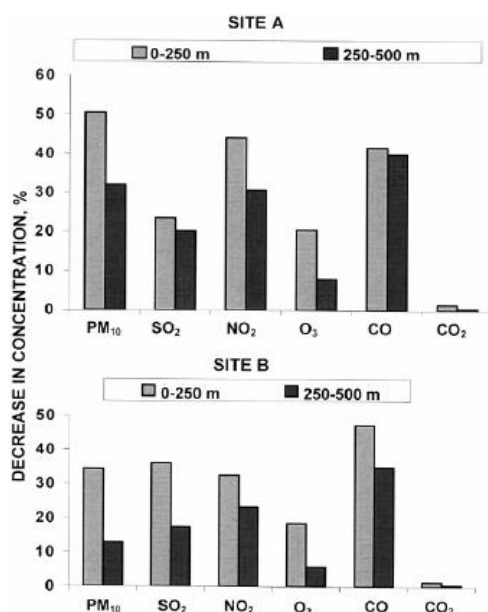
7.3.1 Merania realizované v Agre

Prezentovaná štúdia bola realizovaná na národnej diaľnici v Agre v Indii. Boli realizované merania poklesu koncentrácie znečisťujúcich látok z dopravy v závislosti na vzdialenosti od komunikácie sledované do vzdialenosti 0; 250 a 500 m (Obrázok 7.8). Jednalo sa o komunikáciu s intenzitou dopravy 7 tisíc vozidiel za 24 hodín.



Obrázok 7.8 Pokles koncentrácie v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v závislosti na vzdialenosti od cestnej komunikácie [41]

Štúdia [40] bola realizovaná od apríla do júna 2007. Pre monitorovanie PM₁₀ bol použitý veľkoobjemový vzorkovač APM 460DX Envirotecho s prietokom 1,1 m³/min.



Obrázok 7.9 Percentuálny pokles koncentrácií ZL na dvoch sledovaných lokalitách v závislosti na vzdialenosti od diaľnice [41]

7.3.2 Merania realizované v New Jersey

Emisie zo spaľovania motorových vozidiel tvoria nielen emisie zo spaľovania, ale aj nespáľovacie emisie, ako sú resuspendované častice cestného prachu, zostatky pneumatík a opotrebenie brzd. Nespáľovacie emisie môžu hrať dôležitú úlohu pri stanovení koncentrácie celkových suspendovaných častíc (TSP), ktoré sa skladajú z 80% PM_{10} [36]. Meranie väčších častíc vyvolaných nespáľovacími emisiami z dopravy môže zlepšiť hodnotenie expozície látok znečisťujúcich ovzdušie blízko vozoviek. V rámci vykonanej štúdie sú k dispozícii výsledky meraní TSP a $PM_{2,5}$ každý 6. deň jeden rok (2007-2008) v troch rôznych vzdialenostiach (50, 100 a 150 m) na diaľnici v New Jersey s intenzitou dopravy 700 tis. vozidiel za 24 hodín. Vzorky $PM_{2,5}$ boli zachytené na teflonové filtre (priemer = 47 mm, veľkosť pórov = 2,0 μm , Whatman) vzorkovačom Ninety Six (WINS) s prietokom 16,7 l/min [41]. TSP koncentrácie poklesli významne vo vzdialenosti medzi 50 m a 100 m od diaľnice, kde sa zaznamenalo zníženie 23% a 21%. Zatiaľ čo priemerné koncentrácie TSP vykazovali trvalo klesajúci trend do vzdialenosti do 150 m od diaľnice, koncentrácie $PM_{2,5}$ poklesli významne do vzdialenosti 100 m a ďalej nebol štatisticky významný pokles vo vzdialenosti 100 až 150 m od diaľnice. Výsledky štúdie boli podrobne publikované v literatúre [41].

Tabuľka 7.1 TSP a $PM_{2.5}$ priemerné hodnoty za vzorkovacie obdobie 09/2007 až 09/2008

Frakcia PM	Vzdialenosť od CK		
	50 m	100 m	150 m
TSP [$\mu g \cdot m^{-3}$]	51,7	34,9	31,4
$PM_{2.5}$ [$\mu g \cdot m^{-3}$]	14,1	11,8	11,9

Diskusia k meraniam realizovaným na zahraničných pracoviskách

Jedná sa o problematiku sledovanú mnohými pracoviskami po celom svete. Počas meraní vykonaných na rôznych pracoviskách bolo opakovane potvrdené, že dochádza k znižovaniu účinku znečisťujúcich látok v závislosti na vzdialenosti od komunikácie. Tento účinok je pomerne výrazný do vzdialenosti 50 až 100 m v závislosti od intenzity dopravy na komunikácii. Výraznejšie sa pokles prejavuje u tuhých častíc.

8 Komparácia predikčných modelov imisií z cestnej dopravy

Ponúka sa otázka, prečo modelovať znečistenie ovzdušia od automobilovej dopravy. Súčasťou technickej dokumentácie v časti „Prieskumy“ je požiadavka na emisnú, emisno-imisnú rozptylovú resp. exhalačnú štúdiu. Už tu sa naskytá otázka, o akú štúdiu sa jedná. Každý obstarávateľ si názov zadefinuje po svojom. Pokiaľ sa nezrealizuje počas riešenia projektovej dokumentácie, doplní sa ako súčasť procesu EIA, kde je nevyhnutným podkladom pre hodnotenie vplyvov stavby a návrh opatrení na ich možné znižovanie. Možno ju teda chápať ako jeden z prvkov preventívnej ochrany životného prostredia.

Vzhľadom na skutočnosť, že v ČR je Metodickým pokynom MŽP ako referenčný model pre intravilán (uličný kaňon) stanovený softvér AEOLIUS, tzn. orgány štátnej správy by ho mali používať, aby bolo možné porovnávať výsledky modelovania z rôznych území a pre extravilán je určený model SYMOS97 a ATEM. Taktiež sú odporúčané pre používanie emisné faktory z celoštátnej databázy MEFA13. Situácia je teda pre riešenie rozptylových štúdií jednoznačne zadefinovaná a štúdie spracované pre rôzne stupne dokumentácie sú navzájom porovnateľné.

Situácia na Slovensku je však odlišná. Používajú sa rôzne softvéry, rôzne emisné faktory, často bez udania zdroja ich pôvodu. Vzniká tým situácia, že rozptylové štúdie pre rôzne stupne projektovej dokumentácie nie sú porovnateľné.

8.1 Softvéry najčastejšie používané v SR

V praxi sa stretávame s používaním rôznych modelov a teda aj s rôznorodými výsledkami. Nakoľko v rozptylových štúdiách pre potreby procesu EIA sa jedná o porovnávanie variantných riešení, je postačujúce, ak sa v štúdií zohľadnia prírastky znečistenia ovzdušia v okolí posudzovaných komunikácií. Z rozptylovej štúdie sa teda dá zistiť, ktorý z posudzovaných variantov je priaznivejší. Sú to ale relatívne výsledky, ktoré nemusia zodpovedať vždy skutočnému imisnému zaťaženiu okolia komunikácie posudzovanými znečisťujúcimi látkami. Záleží aký model – softvér bol pri spracovaní použitý. Najčastejšie sa používajú nasledovné softvéry.

MODIM EXPERT - matematický model pracuje na základe medzinárodne uznávaného EPA US štandardu ISC2 (Industrial Source Complex Dispersion Models, U.S. EPA, 1992) [42], používa gaussovskú formulu rozptylu znečisťujúcich látok v ovzduší a Pasquill-Giffordove parametre rozptylu pre 6 kategórií stability atmosféry. Model rozlišuje dva turbulentné režimy typické pre mestskú zástavbu a vidiecku krajinu. Koncentrácie imisí pre určenú oblasť sa počítajú v uzlových bodoch mriežky so zvoleným krokom a v zadaných referenčných bodoch ľubovoľne umiestnených v mapovom podklade. Pomocou interpolácie hodnôt vypočítanej mriežky koncentrácií softvér zobrazuje vypočítané izokóny koncentrácií. Parametre zobrazenia mapy je možné meniť. Numerickým výstupom výpočtu sú tabuľky hodnôt koncentrácií, grafickým výstupom sú zobrazenia izokón na mapovom podklade. Oproti prvej verzii predikčného programu na modelovanie znečistenia ovzdušia od automobilovej dopravy v okolí cestných komunikácií – **softvéru CESTY SAV** [43], ktorá bola vytvorená taktiež na základe EPA US štandardoch ISC2 – sa líši MODIM precíznejšou grafikou a zohľadnením štruktúry povrchu z pohľadu vplyvu drsnosti povrchu na rýchlosť prúdenia vzduchu, čo má za následok zmeny v podmienkach pre rozptyl. Pre určenie veľkosti tohto parametra sa prihliada na rozlíšenie hustoty zástavby, zatrávnenia, poľnohospodárskej pôdy a lesov.

Softvér **CADNA** [44] v module APL kombinuje užívateľsky priateľské prostredie programu s disperzným modelom AUSTAL2000 od German Environmental Protection Agency (UBA - Umweltbundesamt), ktorý používa Lagrangeov model rozptylu. Rozlišuje variabilné poveternostné podmienky, stabilitu atmosféry a tvar terénu a budov. Model vychádza z emisných faktorov, ktoré sú výsledkom Nemeckých, Švajčiarskych a Rakúskych výskumov a sú publikované v HBEFA Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs 2.1 - Manual for Emissions Factors of Road Traffic, 2004. (Došlo k revízii HBEFA, 2013, dá sa očakávať aj up-grade SW). Emisie riešených úsekov cesty závisia od emisných faktorov, priemerných denných intenzít dopravy, percenta ťažkých vozidiel, priemerné rýchlosti vozidiel a referenčného roku. EF sú v predvolenom nastavení. Je možnosť ich úpravy resp. zmeny zadaním časových radov pre konkrétne scenáre.

SYMOS - Metodika výpočtu znečistenia ovzdušia vychádza z najnovších dostupných poznatkov získaných domácim i zahraničným výskumom, nadväzuje na už skôr vydanú publikáciu Metodika výpočtu znečistenia ovzdušia pre stanovenie a kontrolu technických parametrov zdrojov, ktorú v roku 1979 vydalo vtedajšie Ministerstvo lesného a vodného hospodárstva ČSR a podstatným spôsobom ju rozširuje. Metodika je určená predovšetkým pre vypracovávanie rozptylových štúdií ako podkladov

pre hodnotenie kvality ovzdušia. Metodika nie je použiteľná pre výpočet znečistenia ovzduší vo vzdialenosti nad 100 km od zdrojov a vo vnútri mestskej zástavby pod úrovňou striech budov. Základné rovnice modelu (gaussovský disperzný model) taktiež nie je možné použiť pre výpočet znečistenia pod inverznou vrstvou v zložitom teréne a pri bezvetrí. Metodika umožňuje: výpočet znečistenia ovzdušia plynými látkami z bodových (typ zdroja 1), plošných (typ zdroja 2) a líniových zdrojov (typ zdroja 3); výpočet znečistenia od veľkého počtu zdrojov (teoreticky neobmedzeného); stanoviť charakteristiky znečistenia v hustej sieti referenčných bodov (až 30000 referenčných bodov) a pripraviť týmto spôsobom podklady pre názorné kartografické spracovanie výsledkov výpočtov; brať do úvahy štatistické rozloženie smeru a rýchlosti vetra vzťahované k triedam stability medznej vrstvy ovzdušia podľa klasifikácie Bubníka a Koldovského.

ATEM - Imisný model ATEM predstavuje komplexný nástroj pre hodnotenie kvality ovzdušia v regionálnom merítku. Tento model umožňuje posudzovanie imisnej záťaže daného územia v súlade s legislatívou ČR a smernicami Európskej únie. Je založený na modeli US EPA: (ISC2). Model je dlhodobou rozvíjaný v súlade s novými poznatkami v oblasti modelovania transportu a rozptylu znečistenia ovzdušia. Použitým prístupom k výpočtu charakteristík stavu znečistenia spadá predložená metodika do skupiny tzv. gaussovských disperzných modelov. Imisný model ATEM okrem iného umožňuje: výpočet znečistenia ovzdušia plynými látkami a prachom od ľubovoľne veľkého počtu bodových, líniových a plošných zdrojov znečistenia ovzdušia; výpočet charakteristík znečistenia v hustej pravidelnej i nepravidelnej sieti referenčných bodov tak, aby výsledky mohli byť ďalej spracované napr. pomocou geografického informačného systému (GIS) a prezentované v mapovej forme; výpočet zohľadňuje nadmorskú výšku terénu; pri výpočte je možné vychádzať z väčšieho počtu veterných ružíc, pričom každá z použitých ružíc je charakteristická pre určitú časť modelovanej oblasti, ktorej klimatologické pomery charakterizuje. Metodika nie je vhodná pre štúdie, keď vzdialenosť zdrojov od referenčných bodov je väčšia než cca 100 km a taktiež nie je vhodná pre detailné stanovovanie hodnôt koncentrácií napr. v uličných kaňonoch. Metodika neumožňuje stanoviť hodnoty koncentrácií za veľmi nízkych rýchlostí vetra a bezvetria.

AEOLIUS – tento modelový produkt vyvinula Britská meteorologická služba na báze rovníc Herpety a Berkowitze, použitých v modeli OSPM. Model je určený pre podporu rozhodovania miestnych autorít a je vyvinutý do podoby kladúcej minimálne nároky na užívateľa. Pomocou tohto modelu je možno simulovať znečistenie ovzdušia z dopravy v merítku mestskej časti, prípadne študovať vplyv konfigurácie uličnej siete a dopravnej záťaže na znečistenie ovzdušia v takto vymedzenej záujmovej oblasti. Slabou stránkou modelu pre šírenie znečistenia ovzdušia v uličných kaňonoch je predpoklad, že sa jedná o ulicu nekonečne dlhú, čo neumožňuje riešiť prenikanie znečistenia do vedľajších ulíc a situáciu na križovatkách. Model AEOLIUS je voľne dostupný na internetových stránkach britskej meteorologickej služby.

Tabuľka 8.1 Porovnanie vstupných údajov

Softvér	Vstupný údaj	Forma
MODIM EXPERT <i>metodika EPA US</i> <i>štandard ISC2</i>	- Šírkové usporiadanie komunikácie - intenzita dopravy - emisné faktory - klimatické pomery - nezastavaná plocha - údaje o úsekoch komunikácie a o referenčných bodoch	- počet jazdných pruhov - šírka (m) - LV, TV (voz/24h) - LV, TV (g/km/voz) - 8 smerná veterná ružica, rýchlosť vetra (m/s), kategória stability ovzdušia podľa Pasquill-Gifforda - hustota zástavby a štruktúra povrchu (%) - mapový podklad v .bmp - súradnice x,y, z
CESTY SAV <i>metodika EPA US</i> <i>štandard ISC2</i>	- šírkové usporiadanie komunikácie - intenzita dopravy - emisné faktory - klimatické pomery - zastavaná plocha - údaje o referenčných bodoch	- počet jazdných pruhov - šírka (m) - LV, TV (voz/24h) - LV, TV (g/km/voz) - 8 smerná veterná ružica, rýchlosť vetra (m/s), kategória stability ovzdušia - hustota zástavby (%) - súradnice x,y, z
CADNA <i>výpočtový model</i> <i>AUSTAL2000</i>	- šírkové usporiadanie komunikácie - 3D terénny model (DTM) - intenzita dopravy - klimatické pomery	- podľa kategórie cestnej komunikácie - budovy, komunikácie, terén (zadané smerovo aj výškovo) - (voz/24h) - meteo dáta (vo forme text súboru s príponou *.akterm, alebo *.akt)
SYMOS`97	- poloha začiatku a konca úseku, šírkové pomery - emisie - klimatické pomery - údaje o referenčných bodoch - topografia terénu	- súradnice X,Y začiatku a konca úseku, šírka v m - emisný tok (g.s-1.m-1) - 8 smerová veterná ružica, rýchlosť vetra v m/s, kategória stability ovzdušia podľa Bubník- Koldovského - polohopis, výškopis a výšku nad terénom - podklad z GIS
AEOLIUS	- poloha začiatku a konca úseku, šírkové pomery - emisie - vplyv diaľkového prenosu - klimatické pomery - údaje o referenčných bodoch - topografia terénu	- súradnice X,Y začiatku a konca úseku, šírka v m - emisný tok (g.s-1.m-1) - ročné hodnoty koncentrácií - 16 smerová veterná ružica, rýchlosť vetra v m/s, kategória stability ovzdušia podľa Bubník- Koldovského - polohopis, výškopis a výška nad terénom - podklad z GIS
ATEM	- geometrické parametre uličného kaľonu - emisné faktory - intenzity vozidiel (osobné, nákladné) - rýchlosť vozidiel - klimatické pomery	- šírka komunikácie v m, výška budov, - g.km-1.vozidlo-1 - hodinová intenzita - hodinová rýchlosť - smer a rýchlosť vetra, teplota, tlak vzduchu

Tabuľka 8.2 Všeobecné porovnanie možných výstupov

Softvér	Výstup	Forma
MODIM EXPERT	- celková produkcia emisií - koncentrácie imisií - koncentrácie imisií vo vybraných bodoch	- kg/deň, tabuľky - $\mu\text{g}/\text{m}^3$, grafický výstup zobrazujúci izokóny v mapovom podklade - $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tabuľky
CESTY SAV	- celková produkcia emisií - koncentrácie imisií - koncentrácie imisií vo vybraných bodoch	- kg/deň, tabuľky - $\mu\text{g}/\text{m}^3$, grafický výstup bez mapových podkladov - $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tabuľky
CADNA	- koncentrácie imisií - koncentrácie imisií vo vybraných bodoch - doby prekročenia zvolenej hodnoty koncentrácie	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$, grafický výstup z grafického rastru – izokóny, pásma - $\mu\text{g}/\text{m}^3$, zobrazené v grafickom výstupe
SYMOS	- maximálne krátkodobé koncentrácie vyskytujúce sa v kombináciách triedy stability ovzdušia a triedy rýchlosti vetra - maximálne krátkodobé koncentrácie bez ohľadu na triedu stability a rýchlosť vetra - priemerná ročná koncentrácia - doby prekročenia zvolenej hodnoty koncentrácie - výpočet podielov jednotlivých zdrojov	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$, grafický výstup zobrazujúci izokóny v mapovom podklade - tabuľkové výstupy
AEOLIUS	- Dtto ako SYMOS	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tabuľkové výstupy
ATEM	- hodinové priemerné koncentrácie - 98 percentil koncentrácií NO₂ - maximálna 8-hodinová koncentrácia CO	- textové výstupy, koncentrácie v ppb

Pri zostavovaní tabuľky 8.3 pre hodnotenie vzájomnej porovnateľnosti popisovaných softvérov sme zvolili nasledovné výpočtové parametre: kategória R22,5, rok 2020, emisné parametre EURO4, jazdnú rýchlosť $v=100\text{km/h}$, pozdĺžny sklon komunikácie $s=2\%$, počet osobných vozidiel – LV=9200 voz/24h, nákladných vozidiel - TV=1800 voz/24h, kategória stability – neutrálna, rýchlosť vetra 1,6 m/s.

Tabuľka 8.3 Namodelované hodnoty [45]

Softvér	Emisný faktor použitý	Vozidlá EF	C_{priem} $\mu\text{g}/\text{m}^3$	C_{max} $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Ref. bod zač. úseku $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Ref. bod most MÚK $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Emisie ľah. voz. kg/deň	Emisie ťaž. voz. kg/deň
MODIM	MEFA08	LV 0,29	7,063	48,23	48,58	50,29	9,20	15,72
CESTY SAV		TV 2,69	1,074	25,64	14,04	18,46	5,27	11,04
CADNA	vlastné		4,46	-	-	27,70	-	-
SYMOS	MEFA08	LV 0,29 TV 2,69	9,277	77,23	58, 88	26,65	-	-

Pozn.: C_{priem} – priemerné ročné koncentrácie od 24-hodinovej dennej intenzity dopravy
 C_{max} – max. denné koncentrácie od špičkovej hodinovej intenzity dopravy
 referenčný bod - max. denná koncentrácia vo vybranom bode vo výške 1,5 m
 emisie – celková produkcia NO_x na posudzovanom úseku

Vzhľadom na rozdielne vstupné hodnoty (viď. tabuľka 8.1. - emisné faktory a emisné toky; rozdielne kategórie stability ovzdušia a skupiny rýchlosti vetra) možno pokladať dosiahnuté výstupy programov MODIM a SYMOS za porovnateľné. Údaje získané modelovaním ostatnými softvérovými produktmi sa výsledkovo výrazne odlišujú.

Program CADNA má veľmi náročné vstupy – podrobné požiadavky na meteorologické dáta. Kvalita ich zadefinovania ovplyvňuje aj výstupy. Druhým nepriaznivým momentom tohto softvéru je nemožnosť ovplyvnenia emisných faktorov, ktoré sú napevno zadefinované v programe. Na druhej strane treba podotknúť, že softvér má vysokú kvalitu grafických výstupov (tabuľka 8.2), čo je zrejme dôsledok jeho nadväznosti na modul výpočtu hluku.

8.2 Zhodnotenie softvérov pre spracovávanie imisných štúdií

Na základe vlastných skúseností ale aj na základe porovnávania SW spracovateľa rozborovej úlohy dospeli k nasledovným záverom, ktoré by mohli viesť ku skvalitneniu projektovej dokumentácie:

- rozdiely vo výsledkoch porovnávania predurčujú niektoré softvéry len na porovnávanie variantov,
- v Českej republike sa realizovalo porovnávacie meranie a validácia modelov SYMOS a AEOLIUS, myslíme si, že aj na Slovensku by bolo vhodné urobiť validáciu používaných modelov, lebo bola vykonaná len pre stacionárne zdroje,
- bolo by vhodné pouvažovať aj o zjednotení používaných emisných faktoroch, nakoľko sú jedným zo základných vstupov do modelov;

9 Záverečné odporúčania

9.1 Odporúčania pre umiestnenie monitorovacích zariadení

Jednoznačným poslaním monitoringu v ochrane ovzdušia je poskytovanie objektívnych údajov pre prijímanie ako operatívnych opatrení, tak aj dlhodobého zameraných opatrení smerujúcich k zlepšovaniu kvality ovzdušia.

Hlavným cieľom imisného monitoringu by malo byť:

- poskytovanie podkladov o aktuálnom stave znečistenia ovzdušia,
- stanovenie expozície obyvateľstva nadmerným koncentráciám znečisťujúcich látok,
- stanovenie expozície ekosystémov nadmerným koncentráciám znečisťujúcich látok,
- poskytovanie podkladov pre krátkodobé opatrenia v situáciách so zvýšenou úrovňou znečistenia ovzdušia,
- poskytovanie objektívnych podkladov pre riadenie kvality ovzdušia, dopravy a územného plánovania,
- stanovenie trendov s cieľom vymedziť budúce problémy alebo vývoj,
- poskytovanie podkladov pre kalibráciu modelov.

Príručka monitoringu vplyvu cestných komunikácií na životné prostredie odporúča voliť pre monitoring nasledovné miesta:

Pred výstavbou:

- v trase plánovanej komunikácie, najmä v miestach budúceho možného zaťaženia sídiel, resp. rizikových objektov imisiami,
- v trase existujúcej súbežnej komunikácie, na ktorej možno očakávať zmenu intenzity cestnej dopravy po uvedení cestnej komunikácie do prevádzky.

Význam monitorovania kvality ovzdušia pred výstavbou spočíva v získaní východiskových údajov na zdokumentovanie vplyvu cestnej komunikácie na kvalitu ovzdušia v lokalite.

Počas výstavby:

- v trase výstavby komunikácie, v miestach, v ktorých je možné očakávať zaťaženie imisiami v dôsledku vyššej intenzity stavebných prác (stavebné dvory, výstavba objektov - tunelov, mostov, križovatiek a pod.). Účelom monitorovania je zistenie úrovne znečistenia ovzdušia v dôsledku stavebných prác vrátane zvýšenia intenzity nákladnej dopravy v súvislosti so stavebnými prácami,
- v trase existujúcej súbežnej komunikácie v dotknutých sídelných útvaroch a chránených územiach. Účelom je taktiež sledovanie úrovne znečistenia ovzdušia v dôsledku stavebných prác vrátane zvýšenia intenzity nákladnej dopravy súvisiacej so stavebnou činnosťou (ak sa ich vplyv reálne očakáva).

Počas prevádzky:

- odporúča sa sledovať identické miesta ako pred výstavbou, za účelom porovnávania.

Dôležité sú však aj požiadavky na umiestnenie odberových zariadení staníc orientovaných na dopravu:

- pre všetky znečisťujúce látky by sa mali vzorkovače umiestňovať min. 25 m od okraja veľkých križovatiek a min. 4 m od stredu najbližšieho jazdného pruhu,
- pre oxid dusičitý, oxid uhoľnatý a benzén by nasávacie otvory mali byť umiestnené maximálne 5 m od okraja komunikácie alebo obrubníka.

Rovnako dôležitá je požiadavka zdokumentovania meracej lokality: fotodokumentácia, orientácia svetových strán, mapa.

Dôležitý je monitoring pred výstavbou a potom počas prevádzky, min. 2 roky, aby bolo možné zdokumentovať skutočný vplyv cestnej komunikácie na kvalitu ovzdušia v lokalite.

9.2 Odporúčanie pre analýzy realizovaných monitoringov

Na základe analýzy realizovaných monitoringov, ktoré sme mali k dispozícii, sme dospeli k názoru, že by bolo vhodné, aby ich realizátori záverečnú správu z monitoringu doplnili o komentár a hodnotenie výsledkov ako samostatný dokument, nakoľko akreditačné požiadavky (SNAS) neumožňujú dávať zhotoviteľovi monitoringu do správ komentáre. Ukázalo sa, že limitné hodnoty spravidla prekračujú tuhé častice PM_{10} . Celkovú kvalitu ovzdušia však ovplyvňujú aj vyššie hodnoty NO_2 a v letnom období aj ozón. Bolo by vhodné doplniť komentár, či sa jedná o oblasť zastavanú IBV, zimnú vykurovaciu sezónu alebo letnú sezónu, poprípade oblasť ovplyvnenú dopravou.

Hodnotenie kvality ovzdušia využitím indexu kvality ovzdušia sa ukázal ako zaujímavý s veľmi vysokou výpovednou hodnotou, pričom jeho využívanie by prinieslo minimálne sprehľadnenie uskutočnených monitoringov kvality ovzdušia, predovšetkým vzhľadom na možné zdravotné riziká pre obyvateľstvo. Všetky okolité štáty, EÚ aj US EPA na účely hodnotenia kvality ovzdušia využívajú hodnotenie prostredníctvom IKO – index kvality ovzdušia. Preto sme jeden z vykonaných monitoringov týmto spôsobom vyhodnotili, vid' kap. 5.3.1. Takto spracované výsledky a hodnotenie kvality ovzdušia umožňujú porovnať navzájom monitorované obdobia aj lokality verejnosti zrozumiteľným spôsobom. Ponúka sa otázka, či sa nevrátiť z tohto dôvodu k využívaniu metodiky hodnotenia IKO pre potreby vyhodnocovania meraní úrovne znečistenia ovzdušia v okolí pozemných komunikácií.

Je potrebné vykonávať monitoring v zodpovedajúcom časovom rozsahu indikatívnych meraní v zmysle [T1] (tzn. min. osem týždňov, rovnomerne rozdelených v roku s dobou realizácie jedného merania min. 7 dní). Z krátkodobého merania nie je možné určiť, či nedošlo k mimoriadnym javom počas merania.

9.3 Odporúčanie pre spracovávanie imisných štúdií

Základné odporúčanie smeruje k záveru, že pri súčasných pomeroch rozdiely vo výsledkoch porovnávania predurčujú niektoré softvéry len na porovnávanie variantov.

Odporúčame zjednotenie a aktualizáciu používaných emisných faktorov, nakoľko sú jedným zo základných vstupov do modelov a myslíme si, že by bolo vhodné spracovať Up-grade niektorých modelov ***a validáciu používaných modelov, aby sa preukázala skutočná presnosť výpočtov.***

V prípade, že by mali modely slúžiť na určenie skutočného zaťaženia resp. znečistenia ovzdušia, bolo by vhodné stanoviť verziu modelu/modelov, ktoré sú akceptovateľné pre takýto typ výpočtov a stanoviť referenčné metódy výpočtov. Taktiež doposiaľ sa pri spracovaní EŠ neuvažuje s resuspenziou tuhých častíc z povrchu komunikácií v zmysle štandardov US EPA AP-42.

9.4 Vyhodnotenie experimentálnych meraní a odporúčania pre monitoring

Prvou zásadou je správne a vhodné stanovenie miesta pre umiestnenie monitorovacieho zariadenia a druhou je vhodná voľba obdobia pre monitorovanie!

Monitorovanie sa spravidla vykonáva v dvoch etapách, v chladnom a teplom období. Ako problematické sa z pohľadu vyhodnocovania javí obdobie chladné, nakoľko v prípade umiestnenia stanovišťa v blízkosti individuálnej bytovej výstavby nie je možné rozlíšiť, aký podiel znečisťujúcich látok v ovzduší prislúcha doprave a aký lokálnemu vykurovaniu. Čiastočne sa dá na základe vyšších hodnôt koncentrácií SO_2 odlíšiť len obdobie vykurovania uhlím. Merania v chladnejšom období sú však dôležité pre horšie rozptylové podmienky. Čiastočné riešenie tohto problému je možné dosiahnuť vyhodnotením časového radu meraní na tom istom stanovišti za predpokladu, že sa budú sledovať meteorologické pomery aj intenzita dopravy.

Vzhľadom na závery vyplývajúce z uskutočnených experimentálnych meraní je vhodné umiestňovať monitorovaciu stanicu kvality ovzdušia čo najbližšie k predpokladanému posudzovanému zdroju znečistenia ovzdušia (cestná doprava), využiť územie resp. lokalitu s čo najmenším počtom umelých prekážok a bariér, ktoré by mohli skresľovať predurčený zámer hodnotenia znečistenia ovzdušia od konkrétneho zdroja. V záujme kvalitnejšej interpretácie výsledkov meraní kvality ovzdušia vzhľadom na posudzovaný zdroj znečistenia je vhodné voliť obdobie resp. meteorologické podmienky podľa vierohodnej predpovede vopred tak, aby meteorologické faktory do čo najmenšej miery ovplyvňovali emisie znečisťujúcich látok produkované konkrétnym zdrojom (napr. cestná doprava). Samozrejme toto predstavuje tú najkomplikovanejšiu časť plánovania meraní kvality ovzdušia.

Odporúčame vytvoriť portál, kde by boli výsledky monitoringu verejne prístupné.

9.5 Odporúčania pre úpravu platných predpisov

Súčasný TP [T1] je spracovaný v rámci reálnych možností investora pre zabezpečenie monitoringu ovzdušia, **je však potrebné rešpektovať odporúčanú dĺžku meraní** tzn. min. osem týždňov, rovnomerne rozdelených v roku s dobou realizácie jedného merania min. 7 dní.

V rámci legislatívy **navrhujeme spracovanie Metodického pokynu alebo TP**, ktorý by stanovil obsah a náležitosti pre spracovanie rozptylovej štúdie a taktiež prijatie výpočtu množstva resuspenzovaných častíc v zmysle metodiky US EPA-42 [46] pre cestné komunikácie.

10 Použité a citované materiály

- [1] Ďurčanská, D. a kol.: Posudzovanie vplyvov ciest a diaľnic na životné prostredie. Hluk a imisie z cestnej dopravy. Monografia. EDIS – vydavateľstvo Žilinskej univerzity v Žiline, 2002, ISBN 80-8070-029-X, 257 str.
- [2] Správa o stave životného prostredia Slovenskej republiky v roku 2011
- [3] Štatistický úrad Slovenskej republiky, Počet motorových vozidiel v cestnej doprave SR
- [4] Braniš, M., Pivnička, K.: Úvod do studia životního prostředí. 1. vyd. Karolinum Praha, 1994, ISBN 80-7066-945-4, 141 s.
- [5] Dirner, V. a kol.: Ochrana životního prostředí : základy, plánování, technologie, ekonomika, právo a management. Ministerstvo životního prostředí ČR, 1997, ISBN 80-7078-490-3, 333 s.
- [6] Šuta, M. , Bencko, V.: Zdravotní rizika znečištění ovzduší nejvýznamnějšími automobilovými emisemi - I. Oxidy dusíku a ozon. Praktický lékař, 1998, Vol. 78, 6, pp. 288-291.
- [7] Holoubek, I.: Polycyklické aromatické látky (PAHs) v prostředí. 1996, Český ekologický ústav a MŽP ČR: Praha. p. 136.
- [8] Lippmann, M.: Effects of ozone on respiratory function and structure (Vplyv ozónu na respiračné funkcie a ústroje). *Ann. Rev. Publ. Health*, 1989, Vol. 10, pp. 49-67.
- [9] AVOL, E.L., et al.: Short-term respiratory effect of photochemical oxidant exposure in exercising children (Krátkodobý respiračný účinok expozície fotochemického oxidantu pri cvičení detí). *J. Air. Pollut. Control. Assoc.*, 1987, Vol. 37, pp. 158-162.
- [10] IRIS Summary - Benzene (IRIS zhrnutie – benzén) (CASRN 71-43-2). US EPA, 2001. http://cfpub.epa.gov/iris/quickview.cfm?substance_nmbr=0276.
- [11] Group, C.A., Interim quantitative cancer unit risk estimates due to inhalation of benzene (Dočasné kvantitatívne odhady rizika rakoviny vzhľadom na inhaláciu benzénu). 1985, US EPA: Washington D.C.
- [12] World-wide fuel charter committee represented by ACEA (Celosvetový výbor pre palivá reprezentovaný ACEA), Alliance, EMA and JAMA: 2000. World-wide fuel charter, New edition April 2000.

- [13] The European Fuel Oxygenates Association (Európska asociácia kyslíkatých palív) : 2001. EFOA Newsletter No 2001
- [14] Commission recommendation on the results of the risk evaluation and the risk reduction strategies for the substances: acrylaldehyde; dimethyl sulphate; nonylphenol phenol, 4-nonyl-, branched; tert-butyl methyl ether (Odporúčanie komisie o výsledkoch hodnotenia rizík a stratégiách znižovania rizík pre látky: akrylaldehyd; dimetyl-sulfát, nonylfenol, 4-nonylfenol-rozvetvený, terc-butyl metyl éter), in 2001/838/EC. 2001EEA – Európska environmentálna agentúra: Kľúčové environmentálne problémy, ktorým čelí Európa. Signály EEA 3, 2009. ISBN 978-92-9167-932-6.
- [15] Jandačka, D.: Vplyv cestnej dopravy na výskyt tuhých častíc. Dizertačná práca. Žilinská univerzita v Žiline, 2013
- [16] www.airsilesia.eu (citované 19.9.2013)
- [17] Strieb, D. M., Smith-Doiron, M., Blagden, P., Burnett, R.T.: Estimating the Public Health Burden Attributable to Air Pollution: An Illustration Using the Development of an Alternative Air Quality Index (Odhad záťaže pre verejné zdravie, ktorú možno pripísať znečisťovaniu ovzdušia: Ilustrácie použitia vývoja alternatívneho indexu kvality ovzdušia). Journal of Toxicology and Environmental Health 68/2005 (13-14), 1275-1288
- [18] Cairncross, E.K., John, J., Zunckel, M.: A novel air pollution index based on the relative risk of daily mortality associated with short-term exposure to common air pollutants (Index znečistenia ovzdušia založený na relatívnom riziku dennej úmrtnosti spojenej s krátkodobou expozíciou bežných látok znečisťujúcich ovzdušie). Atmospheric Environment 41, No 38/2007, 8442-8454
- [19] www.epa.gov (citované 17.9.2013)
- [20] www.airqualitynow.eu (citované 19.9.2013)
- [21] www.airquality.co.uk/archive/standards (citované 19.9.2013)
- [22] www.lubw.baden-wuerttemberg.de (citované 19.9.2013)
- [23] www.wien.gv.at (citované 19.9.2013)
- [24] Priečinská, S.: Monitorovanie emisií v podmienkach Slovenskej republiky, AT&P J 8/2006
- [25] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes Immissionsschutzgesetz - BImSchG - Zákon o ochrane pred škodlivými vplyvmi znečistenia ovzdušia, hluku a vibrácií). Dostupné na <http://www.gesetze-im-internet.de/bimschg/> (citované 22.9.2013)
- [26] [www://sazp.sk](http://www.sazp.sk) (citované 26.9.2013)
- [27] Smernica Rady č. 88/609/EHS (v znení smernice 94/66/ES) o obmedzení emisií určitých znečisťujúcich látok z veľkých spaľovacích zariadení do ovzdušia
- [28] Smernica Rady č. 89/369/EHS o prevencii znečistenia ovzdušia z nových mestských spaľovní komunálnych odpadov
- [29] Smernica Rady č. 89/429/EHS o redukcii znečistenia ovzdušia z existujúcich spaľovní komunálnych odpadov
- [30] Smernica Rady č. 94/67/ES o spaľovaní nebezpečného odpadu
- [31] Smernica Rady č. 1999/13/ES o obmedzení emisií prchavých organických zlúčenín z použitia organických rozpúšťadiel v určitých činnostiach a zariadeniach
- [32] [www. czp.cuni.cz](http://www.czp.cuni.cz) (citované 15.10.2013)
- [33] Čermák, O. a kol.: Životné prostredie. STU v Bratislave, 2008, ISBN 978-80-227-2958-1

- [34] Adamec, V. et al.: Prašnost dopravy a její vlivy na imisní zatížení ovzduší suspendovanými částicemi. Výroční zpráva projektu 1F54H/098/520 za rok 2006. CDV Brno.
- [35] Wu, Y. Hao, J., Fu, L., Wang, Z., Tang, U.: Vertical and horizontal profiles of airborne particulate matter near major roads in Macao. China. Atmos. Environ., 36, 2002, p. 4907-4918
- [36] Morawska, L., Thomas, S., Gilbert, D., Greenaway, C., Rijnders, E.: A study of the horizontal and vertical profile of submicrometer particles in relation to a busy road. Atmos. Environm. 33. 1999, p. 1261-1274
- [37] Hitchnins, J., Morawska, L., Wolff, R., Gilbert, D.: Concentrations of submicrometre particles from vehicle near a major roads. Atmos. Environ. 34. 2000, p. 51-59
- [38] Roorda-Knappe, M.c., Janssen, N.A.H., De Harthog, J.J., Van Vliet, P.H.N., Harssema, H., Brunekreef, B.: Air pollution from traffic in city districts near major motorways. Atmos. Environ. 32. 1998, p. 1921-1930
- [39] Ďurčanská, D. et al.: Charakteristika a chemické zloženie pevných častíc produkovaných cestnou dopravou. Výskumná úloha 1/0508/11
- [40] Sharma, A., Massey, D.D., Taneja, A.: Horizontal gradients of traffic related air pollutants near a major highways in Agra, India. Indian Journal of Radio a Space Physics. Vol. 38, 2009, p. 338 - 346.
- [41] Jung, K.H., Artigas, F., Shin J.Y.: Seasonal Gradient Patterns of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and PM Concentrations near a Highway. Atmosphere, 2011, vol.2, p. 533-552
- [42] ModimExpert 5.1 Matematické modelovanie znečistenia ovzdušia. Manuál. Envitech Trenčín.
- [43] Metodika výpočtu znečistenia dopravy z automobilovej dopravy, RNDr. F. Heseck, CSc., GÚ SAV Bratislava
- [44] Calculation using AUSTAL2000 Model. Manuál, 2004
- [45] Ďurčanská, D., Jedlička, J., Krokker, A.: Komparácia predikčných modelov imisií z cestnej dopravy. Ochrana ovzdušia, 2009
- [46] US EPA: AP 42. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources. 5th Edition. Chapter 13.2.1 Paved Roads (Final Section). January 2011.
On-line 2. 9. 2013:
<https://docs.google.com/viewer?url=http%3A%2F%2Fwww.epa.gov%2Ftn%2Fchief%2Fap42%2Fch13%2Ffinal%2Fc13s0201.pdf>