

Zahrnutí městských dopravních kongescí do hodnocení toxicity výfukových plynů

Michal Vojtíšek

Katedra vozidel a motorů, Fakulta strojní, Technická univerzita v Liberci
Studentská 2, 461 17 Liberec, michal.vojtisek@tul.cz, tel. 774 262 854

SOUHRN

Nanočástice jsou považovány za nejvíce rizikovou složku ve výfukových plynech spalovacích motorů, protože se zachycují v plicních sklípcích, mají schopnost pronikat buněčnou membránou do krevního oběhu, a dodávají tak organismu složitou směs více i méně škodlivých organických sloučenin vznikajících spalováním uhlíkatých paliv a mazacích olejů. Jsou proto násobně více škodlivé než „obecné“ částice. Emise nanočástic nebyly sníženy úměrně snížení limitované celkové hmotnosti částic, naopak se zvyšují s narůstající intenzitou silniční dopravy a využívání stavebních a dalších strojů. Emisní limity na nové motory neošetřují emise ze stávajícího vozového parku. Rozdíly až několika řádů v emisích částic způsobené rozdílnými technologiemi motorů, jejich technickým stavem a provozními podmínkami znesnadňují jejich přesné stanovení. Komplexita směsi organických látek pak znesnadňuje přesné stanovení jejich vlivu na organismus z jejich chemického složení, které je často obtížné plně určit. K toxicitě přispívá i vyšší podíl oxidu dusičitého v oxidech dusíku u vznětových motorů s katalyzátorem. Bezprostřední blízkost občanů od spalovacích motorů a neklesající intenzita dopravy jsou důvodem k pečlivému a uváženému přístupu, který by měl vést ke snižování negativních dopadů emisí ze spalovacích motorů na lidské zdraví. Emise ze spalovacích motorů silničních vozidel jsou proto při provozu v městských aglomeracích relativně nepříznivé, a není zřejmé, že jsou dostatečně technologicky i legislativně ošetřeny. Současná legislativa ošetřuje kromě PM_{10} také $PM_{2,5}$ a polycyklické aromatické uhlovodíky a ukládá povinnost brát v ohled současný stav poznání, součástí kterého jsou oproti legislativě podstatně nižší cílové hodnoty doporučené WHO, a klasifikace výfukových plynů vznětových motorů jako látky způsobující rakovinná onemocnění. Není však zřejmé, že současný stav poznání, a ani legislativa, je brán ve zřetel při posuzování dopadu záměrů na životní prostředí. Případová studie záměru Areál volnočasových aktivit Hradec Králové - Park Malšovice, jehož součástí je velké nákupní centrum, uvádí nižší emisní faktory a nižší vliv záměru na intenzitu dopravy, na plynulost dopravy a na výfukové emise, než odpovídá reálným očekáváním. Proto je nutné posuzování vlivů záměrů z hlediska emisí motorových vozidel věnovat zvýšenou pozornost, a tyto je třeba podrobovat kontrole, má-li být zachován jejich prvotní účel, kterým je ochrana životního prostředí a lidského zdraví.

ABSTRACT

Nanoparticles are considered to be the most dangerous component of internal combustion engine exhaust, as they are efficiently retained in human lung alveoli and they can penetrate through cell membrane into blood, delivering a complex mixture of hazardous organic compounds formed by the combustion of fuel and lubricating oil. The emissions of nanoparticles have not been reduced in proportion to the total particulate mass, but, to the contrary, are increasing with the increasing usage of motor vehicles, construction equipment and other mobile machinery. Emission limits for new engines do not address the emissions from the existing fleet. Particle emissions vary by orders of magnitude due to engine technology, calibration, maintenance, and operating conditions. Complexity of the organic component mixture does not allow for determination of their health effects by composition only, which by itself is difficult to determine. Immediate vicinity of the exhaust sources to citizens frequenting nearby roads and buildings and increasing traffic intensity create a need for careful consideration of the effects of any measures affecting emissions. As the combustion and catalytic aftertreatment efficiency deteriorate at idle and low loads, the emissions tend to be worst during operation in congested urban areas, an effect poorly addressed by the existing technology and legislation. The current ambient air quality legislation addresses not only PM_{10} , but also $PM_{2,5}$ a polycyclic aromatic hydrocarbons, and mandates the consideration of the current state of knowledge in determining the impacts of proposed projects on air quality. The state of knowledge has been reflected in the new International Association for Cancer Research classification of diesel exhaust as carcinogenic, and in the recommended ambient air quality target values set by the World Health Organization, which are lower than the legislative limits. It is not clear that the state of knowledge, and even the legislation, is dutifully considered by the local and regional authorities. For example, the documentation of the proposed project Park Malšovice in Hradec Králové, which includes a large shopping center, seems to grossly underestimate the emissions factors, the number of vehicles, the effects on the congestion levels, and thus the total emissions and their effects on public health. Consideration of the impacts of proposed projects therefore deserves much deeper scrutiny by the officials in order to fulfill its primary goal, which is the protection of the environment and the public health.

Úvod

I přes ubývající zásoby ropy [1] a její nestabilní a narůstající cenu [2] zůstávají spalovací motory poháněné ropnými deriváty hlavní hnací silou silničních dopravních prostředků a jiných mobilních strojů. V ČR je každoročně spotřebováno cca 2 Tg benzínu a cca 4 Tg nafty [3]. Neúplným spálením paliva je produkován oxid uhelnatý, reakcí atmosférického dusíku a kyslíku jsou produkovány oxidy dusíku. Nespálené a neúplně spálené uhlíkatá paliva (všechna paliva vyjma vodíku, oxidu dusnatého nebo amoniaku) a nespálený nebo neúplně spálený mazací olej jsou emitovány jako složitá směs organických látek nebo jako elementární uhlík. Ten je tvořen pláty z aromatických jader, které jsou vrstveny, a „zabaleny“ do primární částice o velikosti řádově desítky nanometrů [4]. Další částice vznikají kondenzací těžších organických látek. Tyto primární částice se dále shlukují do fraktálních útvarů s velkým povrchem, a na tyto útvary se zachytávají další částice i organické látky. Vzniká tak složitý aglomerát, jehož jádro je zpravidla tvořeno elementárním uhlíkem, na kterém jsou zachyceny organické látky.

Organické látky jsou tradičně děleny na organické plyny (plynné organické látky, uhlovodíky), a na „částice“, to jest zpravidla těžší látky v kapalně formě. Toto dělení však není jednoznačné, protože mnohé látky mohou být v plynné i kapalně formě (semivolatilní látky) v závislosti na rovnováze mezi plynnou a kapalnou fází. Většina organických látek opouští ve většině případů spalovací prostor motoru v plynné fázi a k jejich přeměně na částici dochází po jejich ochlazení ve výfukovém systému a v ovzduší. Protože mnohé děje jsou příliš rychlé na to, aby bylo vždy dosaženo rovnováhy, je rozložení semivolatilních látek mezi plynnou fází a částice také dáno průběhem ředění a ochlazování výfukových plynů. Ochlazováním dochází ke kondenzaci semivolatilních látek a podporuje proto tvorbu a růst částic, zatímco ředěním dochází ke snížení koncentrace plynných látek, čímž se tvorba částic potlačuje.

Velikost částic emitovaných spalovacími motory je v jednotkách až stovkách nanometrů [5,6]. Tato velikost je definována zpravidla jako aerodynamický průměr, hypotetický průměr kulaté částice, na kterou působí při pohybu ekvivalentní síla odporu vzduchu. Velikostní distribuce částic zpravidla vykazuje dva dominantní píky, z nichž každý, pokud vyneseno na logaritmické ose (logaritmus průměru), je považována za normální distribuci. Jeden pík má dominantní velikost v řádu deseti nanometrů (kolem 20 nm, ale i v jednotkách nm) a je nazýván nukleačním módem, druhý má dominantní velikost v řádu sta nanometrů a je nazýván akumulačním módem [5].

Menší množství částic je tvořeno kovovými ořetrovými částicemi z motoru, částicemi které byly obsaženy v okolním vzduchu, a většími aglomeráty částic uvolněných z výfukového potrubí.

Zdravotní rizika nanočástic

Za nejvíce škodlivou složku jsou pokládány částice v nukleačním módu, nazývané nanočástice. Ty se s účinností v řádu desítek procent zachycují v plicních sklípcích [7], a mají schopnost pronikat buněčnou membránou do krevního oběhu a přispívat k výskytu chronických onemocnění a celkově ke škodám na lidském zdraví [8].

Nanočástice emitované spalovacími motory obsahují složitou směs látek, ze kterých u mnohých byl prokázán rakovinotvorný účinek (zejména např. benzo[a]pyren, 1-nitropyren, 3-nitro-benz[a]benzantron) [8,9]. Výfukové emise ze vznětových motorů byly deklarovány jako karcinogenní Kalifornským úřadem pro ochranu ovzduší (CARB) [10], Úřadem pro nemoci z povolání a ochranu zdraví USA (OSHA) [11], Světovou zdravotní organizací (WHO), a Mezinárodním panelem pro výzkum rakoviny (IARC) [12].

Na rozdíl od velkých stacionárních zdrojů vybavených komíny jsou emise ze spalovacích motorů vypouštěny v bezprostřední blízkosti obyvatel. Dlouhodobý pobyt v blízkosti (50-200 m) frekventovaných silnic (10 tisíc nebo více vozidel denně) byl identifikován např. jako jedna z příčin vyššího rizika infarktu [13].

Částice ve výfukových plynech motorů jsou proto výrazně rizikovější pro lidské zdraví než částice z jiných zdrojů [14]. Snížení koncentrací velmi jemných částic elementárního uhlíku, dominantní součásti výfukových plynů vznětových motorů, má 4-9x vyšší přínos pro lidské zdraví než stejné snížení koncentrací PM_{2,5} [15].

U dětí od 10 do 18 let věku bylo vystavení jemným částicím (PM_{2,5}) a oxidu dusičitého (NO₂) spojeno s chronickými negativními vlivy na vývoj plic a s následným významným zvýšením výskytu významného snížení kapacity plic (množství vydechnutého vzduchu v první sekundě výdechu, FEV₁) v dospělosti [16].

Trendy emisí částic

Naftové motory starší konstrukce produkovaly, měřeno dle hmotnosti, většinu částic v akumulačním módu ve formě elementárního uhlíku, což odpovídá formě viditelného černého kouře. Nanočástice zaujímaly cca desetinu celkové hmotnosti částic, ale desítky procent, v mnohých případech většinu, celkového počtu částic [5,6]. Emise byly měřeny nejprve opticky [17], jako opacita nebo kouřivost motoru, přičemž tento způsob měření přetrvává na stanicích technické kontroly, kde je využíván jako levná metoda pro nalezení motorů v nevyhovujícím technickém stavu. Poté byly emise částic měřeny gravimetricky, jako celková hmotnost částic zachycená na filtru, jímž je prosáváno známé množství vzorku výfukových plynů, při dané teplotě [18,19].

U benzinových motorů nebyly emise částic limitovány, protože tyto motory neprodukovaly ve větší míře viditelný kouř. Tyto motory však také produkují částice přibližně stejné velikosti jako motory vznětové [20], a to převážně při provozu na bohatou směs, i když v relativně malém množství. Měření provedená autorem poukázala na to, že automobil Škoda Favorit s benzinovým motorem produkoval méně částic než dvě modernější vozidla se vznětovým motorem [21], kterýmžto argumentem lze polemizovat s dopadem daně uvalené na registraci starších vozidel. Lze však předpokládat, že nezanedbatelná množství částic budou produkovat novější zážehové motory s přímým vstřikem.

Měřítkem postupného snižování emisí částic byla jejich celková hmotnost. Hmotnostní limity pro nové vznětové motory byly sníženy o jeden až dva řády [22]. Vývojem technologie spalovacích motorů, včetně počítačově řízeného vstřikování paliva, a nástupem pokročilých technologií pro dodatečné zpracování výfukových plynů, bylo tohoto snížení dosaženo, a to převážně úbytkem částic v akumulačním módu. Emise nanočástic se však úměrně nesnížily, dokonce není zřejmé, že k jejich snížení vůbec došlo [23,24].

Výrazným snížením hmotnosti emitovaných částic vlivem pokročilých technologií také nastala situace, že tam, kde tato technologie není správně nasazena a využita (režimy pro které motor nebyl optimalizován, různé poruchy z nichž mnohé výrazně neovlivní jiné než emisní parametry, neodborné zásahy do seřízení včetně tzv. čiptuningu), jsou emise částic nepoměrně vyšší. Zkušenosti s obdobnými trendy zážehových motorů poukazují na to, že celkové emise vozového parku jsou tak dominovány relativně malým počtem vozidel [25-27] a relativně malou částí celkové provozní doby [28,29], což znesnadňuje přesné stanovení emisí celého vozového parku [30]. S postupným rozšiřováním nízkemisních technologií a závislosti udržení nízkých emisí na stále složitějších systémech regulace a dodatečného zpracování výfukových plynů narůstá postupem času i tato nerovnoměrnost rozložení emisí. Dle soudobé studie [31] produkuje 5% zážehových motorů s nejvyššími emisemi 31-50% celkových emisí (s rozdíly pro individuální látky), a 5% těžkých vozidel se vznětovými motory produkuje polovinu celkových emisí oxidů dusíku a 60% celkových emisí částic.

Souběh postupné kondenzace a akumulace semivolatilních látek na částicích, distribuovaného rozmístění zdrojů znečištění (zpravidla konec výfukového potrubí), a blízkosti receptorů (zejména občanů nalézajících se na přilehlých chodnících, v přilehlých budovách a v dopravních prostředcích), znesnadňuje tradiční rozlišení mezi emisemi (znečišťující látky opouštějící zdroj) a imisemi (znečišťující látky rozptýlené v ovzduší), neboť v mnohých případech lze polemizovat o tom, že občané v bezprostřední blízkosti vozidla inhalují výfukové plyny, které ještě nebyly zcela „rozptýleny“.

Technickým řešením jsou filtry částic, ve kterých výfukové plyny procházejí porézními stěnami, na kterých se částice zachytí. Zachycené částice jsou pak průběžně nebo periodicky spalovány, často s dopomocí katalyzátorů přidávaných do paliva nebo nanesených na povrch filtru nebo předřazeného oxidačního katalyzátoru. V některých případech se ke zvýšení teploty výfukových plynů využívá paliva. Filtry částic jsou používány na většině těžkých vozidel prodaných v USA od roku 2007, na většině těžkých vozidel a pojízdných strojů provozovaných ve Švýcarsku, a na mnohých vozidlech provozovaných v EU. Je pravděpodobné, že s nabytím účinnosti nově zavedeného limitu na počet částic (Euro 5B, Euro 6), a to i pro zážehové (benzinové) motory, se zvýší míra nasazení filtrů částic. Mezi motoristickou veřejností v ČR jsou však filtry částic vnímány negativně a mnohá internetová diskuzní fóra i některé servisy otevřeně sdílejí možnosti odstranění filtru částic u dovezeného vozidla, kterým je vybaveno. Podobně problematickou praktikou je neautorizované zvyšování výkonu „čiptuningem“, které ve většině případů též výrazně zvyšuje emise částic při vyšších zatíženích motoru.

Rizika specifická pro městský provoz

Emise zejména částic jsou zvláště problematické u motorů provozovaných v městských aglomeracích s hustým provozem, protože zde dochází k nepříznivé kombinaci více faktorů, které jsou pro městský provoz unikátní.

S postupující výstavbou silniční sítě se občané i firmy stěhují na nebo za okraje měst, takové lokality ale již nejsou snadno přístupné pěšky, proto se intenzita individuální osobní dopravy nadále zvyšuje, s tím ale roste i poptávka po parkovacích místech a další kapacitě silniční sítě [32,33]. Vzniká tak trend nárůstu automobilové dopravy a závislosti na automobilové dopravě, nazývaný automobilismus. V České Republice se intenzita silniční dopravy přibližně zdvojnásobila za posledních patnáct let [34].

Městský provoz je charakteristický relativně neustáleným provozem, relativně malou průměrnou rychlostí, a relativně malým průměrným zatížením. Zrychlováním a zpomalováním se mění otáčky i zatížení motoru, které často kolísá mezi nulovým (jízda setrvačností při zpomalování, dojezdu ke křižovatce, ap.) a vysokým až plným (rozjezdy těžkých vozidel, akcelerace po odbočení, nájezd na silnici vyhrazenou pro motorová vozidla). Kolísání mezi nulovým a plným výkonem motoru je u těžkých vozidel časté i při jízdě zdánlivě konstantní rychlostí v koloně, kdy se řidič variací výkonu motoru přizpůsobuje drobným i větším změnám v rychlosti jízdy kolony. U mnoha motorů dochází při prudší akceleraci k předávkování motoru palivem za účelem navýšení výkonu a/nebo zajištění stability chodu, čímž se zvyšují emise částic, a to jak u zážehových (benzinových), tak u vznětových (naftových) motorů.

Amatérské úpravy (zvláště přeprogramování elektronické řídicí jednotky lidově nazývané čiptuning nebo chiptuning) zpravidla toto předávkování motoru palivem za účelem dosažení vyššího výkonu ještě umocňují, takže viditelný kouř je emitován z vozidel, která splňují i pokročilé emisní normy, jejichž cílem bylo zajistit nízké emisní hladiny prakticky

neslučitelné s vypouštěním okem viditelného kouře. Tvrzení, že i po takovéto modifikaci vozidlo splňuje příslušné emisní limity, je možné považovat za zavádějící. V EU jsou emisní limity pro automobily vztaženy na test NEDC, který obsahuje rychlosti do 120 km/h a mírné akcelerace. Při tomto testu se programované navýšení dávky paliva neprojeví, zatímco dávka je navýšena (a emise zvýšeny) až při plném zatížení, právě jehož „ošetření“ je cílem této úpravy.

Většina zážehových motorů je vybavena třicestným katalyzátorem, některé novější vznětové motory těžkých vozidel jsou vybaveny selektivním redukčním katalyzátorem (SCR) pro redukcí oxidů dusíku. V těchto případech je účinnost katalyzátoru dána složením výfukových plynů, které v případě SCR obsahují i přesně dávkované redukční činidlo (močovinu nebo amoniak). Rychlé a velké změny ve složení i průtoku výfukových plynů vyžadují přesné řízení motoru a/nebo systému SCR. Nízké emise jsou podmíněny vhodně navrženou konstrukcí, kompetentním seřizením, a pečlivou údržbou těchto zařízení [35].

Pro dosažení nízkých emisí je proto vhodný klidnější styl jízdy, zatímco naopak neklidný a dynamický styl emise spíše zvyšuje, a to až mnohonásobně. (Pro dynamický styl jízdy je používán termín agresivní jízda, který však v tomto smyslu nenabývá nutně významu jízdy agresivní vůči ostatním motoristům, naopak v mnoha případech je bezohledná jízda zároveň i jízdou dynamickou.)

Účinnost katalytických zařízení je také závislá na jejich teplotě, a pod určitou hranicí, pro oxidační katalyzátory a SCR cca 200-250 °C dle typu katalyzátoru, je velmi nízká až zanedbatelná. U vznětových motorů, kde teplota výfukových plynů při volnoběhu může být kolem 100 °C, dochází při delším provozu na volnoběh a na velmi nízká průměrná zatížení k ochlazení katalytických zařízení, jejichž účinnost se tím snižuje nebo ztrácí. Velmi nepříznivou kombinací je delší volnoběh, při kterém se katalyzátor ochladí, a prudký rozjezd, při kterém nejsou zvýšené emise organických látek ošetřeny funkčním oxidačním katalyzátorem, případně zvýšené emise oxidů dusíku nejsou ošetřeny funkčním SCR.

Dlouhodobě nízké teploty výfukových plynů mohou být problém i pro motory vybavené filtry částic, k jejichž periodické regeneraci (nedochází-li k této průběžně, pak zpravidla po řádově hodinách provozu) je třeba vyšší teplota výfukových plynů. Té musí být dosaženo vyzváním operátora k provozu motoru při vyšším zatížení, nebo navýšením teploty výfukových plynů vstříkem paliva do výfukového systému (případně vstříkem paliva do válce po skončení hlavní fáze hoření, takže palivo je spáleno až v oxidačním katalyzátoru). To je však problém provozní, nikoliv z hlediska emisí, protože účinnost filtrů zůstává zachována i při delším provozu na nízká zatížení.

Dlouhodobý provoz vznětových motorů na nízká zatížení také ochlazuje vnitřní povrchy spalovacího prostoru a vede zhoršení kvality spalování a ke zvýšené tvorbě semivolatilních organických látek. Ty jsou částečně emitovány, a částečně dočasně ukládány ve výfukovém systému, odkud jsou vypuzovány při opětovném navýšení teploty výfukových plynů, například rozjezdem a jízdou tahače po dálnici [36].

V extrémním případě velmi pomalu pohybující se kamionové dopravy v počtu cca 4 tisíc kamionů denně byly v přílehlé lokalitě výrazně navýšeny počty obyvatel s astma, s výskytem astma v desítkách procent (!) domácností [37,38].

Velká část cest po městě jsou cesty na krátké vzdálenosti, případně cesty ve městě začínající. V Antverpách byla téměř polovina cest osobním automobilem kratších než 4 km, a pouze 23% cest bylo delších než 10 km [39], přičemž není doloženo, že by v České Republice byla situace výrazně odlišná. Start studeného motoru (definovaného jako motoru, který neběžel zpravidla osm hodin a déle) a jeho provoz do dosažení provozní teploty vyvolal emise (v porovnání s provozem již zahřátého motoru na stejné trase) odpovídající jednotkám až desítkám kilometrů provozu [40,41]. Při startu částečně vychladlého motoru, ponechaného půl hodiny až několik hodin v klidu, bylo navýšení emisí nižší, ale měřitelné [42]. Emise při startu a ohřevu motoru byly výrazně vyšší při nízkých venkovních teplotách [43], tj. pod 20-25 °C, kdy je prováděna většina emisních zkoušek.

Nevýfukové emise

Se snižujícími se výfukovými emisemi a zvyšující se intenzitou dopravy nabývají na významu i částice z jiných zdrojů než výfukové plyny. Otěry z pneumatik a obložení brzd činí desítky miligramů (setiny gramu) na km [44], přičemž tyto otěry jsou závislé na způsobu jízdy a provozních podmínkách. Kromě výfukových emisí jsou „nevýfukové“ emise PM₁₀ odhadovány na 0,01-0,09 g/km pro osobní automobily a 200-800 mg/km pro nákladní automobily [45].

Míra produkce částic pocházející z opotřebení pneumatik se zvyšuje se silou působícím v tečném směru, tj. se zrychlením ve směru jízdy (akcelerace a brzdění) a příčně ke směru jízdy (průjezd zatáčkou). Míra produkce částic pocházející z obložení brzd je závislá na intenzitě jejich používání.

Resuspenze „prachu“, někdy udávaná jako významný zdroj sekundárních emisí, závisí na povrchu vozovky, rychlosti jízdy, a disponibilních částicích usazených na povrchu vozovky. V případě minerálního prachu jsou tyto částice však relativně velké a relativně málo nebezpečné pro lidské zdraví. Jejich hlavním zdrojem v městských aglomeracích jsou prach produkovaný demolicí, výstavbou a zemními pracemi, minerální materiály zanesené erozí stavenišť, a minerální materiály nanášené vozidly obsluhujícími stavenišť. Ve všech případech je jejich omezení technicky relativně snadné a finančně relativně nenákladné.

Implikace pro posuzování vlivů změn intenzity dopravy na kvalitu ovzduší

Vzhledem k mnohaletému zpoždění mezi okamžikem, kdy je riziko prokázáno a obecně uznáváno ve vědecké komunitě, a okamžikem, kdy jsou přijata legislativní opatření (příklady z nedávné historie mohou být ionizující záření, azbest, olovnaté benzíny, nebo rtuť), nelze dopady posuzovat pouze podle stávající legislativy, nýbrž je nutné přihlídnout k současnému stavu poznání. Přihlídnutí ke všem předpokládaným přímým i nepřímým vlivům, požadované v zákoně 100/2001 Sb., je a musí být bez výslovného omezení posouzeny na legislativní limity. I stávající legislativa však bývá mnohdy opomíjena. Zásadní legislativa a dokumenty relevantní ke vlivu dopravy na kvalitu ovzduší a zdraví jsou proto shrnuty v této části.

Za nejzávažnější riziko lze považovat částice ve výfukových plynech spalovacích motorů, jejichž vztah v poměru k ostatním druhům částic lze přirovnat ke zlatým mincím v hromadě různorodého šrotu, které mohou tvořit výraznou část finanční hodnoty hromady (dopadu částic na zdraví), ačkoliv jejich podíl na celkové hmotnosti hromady může být nepatrný. Částice jsou zahrnuty v celkové množství prachu měřeného jako PM₁₀, ale též v celkovém množství menších částic, PM_{2,5}. Protože tyto částice obsahují zdraví škodlivé polyaromatické uhlovodíky (PAH), a výfukové plyny jsou jedním z větších zdrojů PAH, při studii emisí částic je nutné též uvážit emise PAH, které jsou regulovány celkově jako emise benzo[a]pyrenu.

Zpráva o stavu životního prostředí v EU k roku 2010 [46] uvádí, že v ČR jsou z hlediska kvality ovzduší nejvíce problematické částice, přízemní ozon a polycyklické aromatické uhlovodíky.

PM 2.5 – směrnice 2008/50/EC

Koncentrace částic o ekvivalentním průměru menším než 2,5 mikrometru, PM_{2,5}, jsou limitovány Směrnicí Evropského parlamentu a rady 2008/50/ES [47], a následně nařízením vlády 42/2011 Sb., o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší, které ukládá imisní limity pro PM_{2,5}. I když ani PM_{2,5} nejsou věrným měřítkem dopadu na lidské zdraví, koncentrace PM_{2,5} výrazně více korelují s výskytem akutních onemocnění dýchacích cest u dětí školního věku než koncentrace PM₁₀ [48].

Směrnice 2008/50/ES ve své preambuli výslovně stanovuje, že pro PM_{2,5} není bezpečná koncentrace, proto stanovené limity neposkytují záruku bezpečnosti. Emise PM_{2,5} by proto měly být snižovány vždy, například pro hladiny PM_{2,5} kolem 20 mikrogramů na metr krychlový by měly být emise PM_{2,5} sníženy o alespoň 20% do roku 2020. Vzhledem k tomu, že hlavním zdrojem PM_{2,5} v mnoha městských aglomeracích jsou spalovací motory, že intenzita silniční dopravy má, pomineme-li výkyvy připisatelné současné ekonomické krizi, vzestupný trend, a že omezení silniční dopravy jsou relativně obtížně proveditelná, je třeba se krokům vedoucím ke snížení intenzity dopravy, nebo alespoň dalšího nárůstu dopravy, věnovat s dostatečným předstihem a pečlivě.

PAH/PAU – směrnice 2004/107/ES

Směrnicí Evropského parlamentu a rady 2004/107/ES [49], která stanovuje cílový limit průměrné roční koncentrace 1 ng/m³ pro karcinogenní polycyklické aromatické uhlovodíky, vyjádřené jako koncentrace benzo[a]pyrenu, přičemž jiné prameny navrhuji i limity nižší, od 0.1 ng/m³ [50,51]. Směrnice 2004/107/ES je zohledněna v nařízení vlády 597/2006 Sb., a následně v zákoně 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší (kterým bylo nařízení vlády 597/2006 Sb. zrušeno). Silniční motorová vozidla jsou jedním z nejvýznamnějších zdrojů těchto látek. Lze proto předpokládat, že zvýšení počtu vozidel povede ke zvýšení emisí a následně ke zvýšení koncentrací rakovinotvorných polycyklických aromatických uhlovodíků, vyjádřených v ekvivalentu benzo(a)pyrenu (dále jen benzo(a)pyren).

Cílové hodnoty doporučené Světovou zdravotní organizací (WHO)

V roce 2005 stanovila Světová zdravotní organizace (WHO) limity ročních průměrných koncentrací (AQG, Air quality guidelines) 10 ug/m³ pro PM_{2,5} a 20 ug/m³ pro PM₁₀, s rozsáhlým zdůvodněním [52]. Obě tyto hodnoty jsou ve většině velkých měst v ČR nejenže již překročeny, ale v případě PM_{2,5} i PM₁₀ mají trend, který lze považovat za vzestupný. Lze proto předpokládat, že realizací záměrů vedoucím k navýšení intenzity silniční dopravy dojde k dalšímu navýšení PM_{2,5} i PM₁₀ a ke zvýšení míry, o kterou jsou tyto cílové hodnoty překročeny. Přitom za současného stavu lze odhadnout zvýšení dlouhodobého rizika předčasného úmrtí následkem vyšších koncentrací PM_{2,5} a PM₁₀ o jednotky procent nebo i více, dle lokálních koncentrací a kvality částic.

Relativní škodlivost částic ve výfukových plynech

Snížení koncentrací velmi jemných částic elementárního uhlíku, dominantní součástí výfukových plynů vznětových motorů, má 4-9x vyšší přínos pro lidské zdraví než stejné snížení koncentrací PM_{2,5} [15]. Obdobně lze očekávat, že zvýšení koncentrací částic v důsledku zvýšení intenzity silniční dopravy by mělo 4-9x vyšší dopad na zdraví, než obecné zvýšení koncentrace částic.

Otázka vlivu na plynulost dopravy

Vzhledem k tomu, že plynulost dopravy je v mnoha městech problematická, a k výše popsanému značnému nárůstu emisí spojeného s jejím narušením, je třeba u záměrů, které v dané lokalitě zvýší intenzitu dopravy, sledovat jejich případný dopad na snížení plynulosti dopravy. V místech, kde se intenzita dopravy blíží kapacitě systému (tj. dané komunikace, křižovatky, nebo části silniční sítě), může i relativně menší nárůst intenzity dopravy způsobit dosažení nebo překročení této

kapacity. V tom případě dojde k zahlcení a ke vzniku kongesce (dopravní zácpy), kdy se průjezdnost systému (reálná kapacita sítě) prudce sníží, do systému ale zároveň přijíždějí další vozidla, ty se hromadí, a způsobují rozšiřování kongesce směrem proti proudu dopravního toku. Kongesce pak zpravidla trvá do snížení intenzity přijíždějících vozidel.

Kumulativní vliv více záměrů

Jedním z rizik živelné výstavby mimo stávající zástavbu je podcenění kumulativního vlivu všech plánovaných záměrů. Může tak dojít k tomu, že jsou souběžně nebo v relativně krátkém sledu (měsíce až roky) realizovány nebo povoleny záměry, z nichž každý sám o sobě je vzhledem k „základnímu“ stavu (tj. výchozímu stavu před realizací kteréhokoli ze skupiny záměrů) průchodný, ale které, jsou-li jejich dopady sečteny, mohou vést k zahlcení části místní dopravní sítě (a to nejen v lokalitě záměru, ale i podél hlavních příjezdových tras), snížení plynulosti dopravy, a prudkému nárůstu emisí.

Národní dopravní politika

Dokument Transport policy of the Czech Republic for years 2005-2013 [53], schválený usnesením vlády č. 882 ze dne 13.7.2005, obsahuje specifický cíl 4.5.2., jehož součástí je vytvoření systému, který chrání středové části města před zbytnou automobilovou dopravou vytvářením zón s omezeným přístupem a omezenou rychlostí, pěších zón, sítí cyklistických tras. Plánování a regulace dopravy ve městech je záležitostí jednotlivých měst.

Případová studie: Park Malšovice, Hradec Králové

Míra zohlednění jmenovaných rizik nanočástic ve výfukových plynech byla vyšetřena na případu územního řízení záměru „Areál aktivit volného času Hradec Králové - Park Malšovice“, projednávaného před Magistrátem města Hradce Králové. Tento záměr byl vybrán proto, že jeho dokumentace obsahuje vícero nedostatků, a slouží jako názorný příklad zde diskutované problematiky. Největší součástí záměru je výstavba velkého nákupního centra s plochou přes 40 tis. m² a deklarované denní návštěvnosti 30 tisíc osob [54]. Centrum má přitahovat návštěvníky z širšího okolí a neleží v blízkosti uzlu meziměstské dopravy, lze proto předpokládat, bude obsluhováno převážně individuální automobilovou dopravou. Hlavní komunikace vedoucí k místu záměru patří mezi hlavní tahy tranzitní kamionové dopravy a jsou místy s největší intenzitou dopravy v celém městě [55]. Ve městě jsou problematické koncentrace částic a PAH [56]. Kopie a výpisky z dokumentace [54] byly poskytnuty místními občanskými sdruženími a občany, a ověřeny a doplněny autorem o výpisky pořízené během doby, kdy byla dokumentace přístupná k nahlédnutí veřejnosti.

Prvním vyšetřovaným aspektem byl dopad záměru na počty projíždějících vozidel. Předpokládaná návštěvnost obchodního centra je 30 000 osob denně. V dokumentaci je zohledněna pouze automobilová doprava v počtu 7 061 vozidel denně. To při průměrné obsazenosti 1,4 osoby / vozidlo [57] odpovídá necelým 10 tis. osob denně. Není zřejmé, jakým způsobem bude do místa záměru dopraveno zbývajících 20 tis. osob denně. Počty pěších, cyklistů, cestujících veřejnou dopravou a počty průjezdů vozidel veřejné dopravy nejsou v dokumentaci uvedeny. Je proto namístě pochybovat o tom, zda počet průjezdů vyvolaným záměrem nebyl podhodnocen.

Druhým vyšetřovaným aspektem byl dopad záměru na plynulost dopravy, která, jak zde bylo diskutováno, má výrazný vliv na výfukové emise. Z tohoto důvodu byly studovány počty průjezdů jak na místních křižovatkách, tak podél hlavních příjezdových tras. Dokumentace záměru uvádí pro jeden exponovaný místní úsek (ulice Náhon, část mezi ul. U Křížku a F. Šubrtu) denní průjezdy alternativně 4850 [54, str. 5] a 6862 [54, str. 7] vozidel. Při pěti sčítáních provedených občany byly zjištěny průjezdy v odpolední špičce 16-17 hodin 1042 ± 62 vozidel [58], což odpovídá dennímu počtu 10214 ± 649 vozidel. Hlavní příjezdovou trasou je Gočárův okruh, který se jižně od záměru větví na ulici Brněnská (I-35) a pokračování okruhu západním směrem po ul. Sokolská (I-31), a severně od záměru, kde se od pokračování okruhu po ulici Okružní (I-31) odděluje ulice Víta Nejedlého (I-11). Dle sčítání dopravy Ředitelství silnic a dálnic v roce 2010 [59] i dle sčítání smyčkovými detektory v roce 2011 [55] je intenzita dopravy nejvyšší v celém městě právě na těchto příjezdových komunikacích, které, a je spojující křižovatky, již nyní pracují na mezí kapacity. V dokumentaci záměru posouzení jeho dopadu na plynulost dopravy na příjezdových tazích nebylo nalezeno, nelze proto vyvrátit obavu, že navýšení o více než sedm tisíc vozidel denně, tj. o cca jednu pětinu (dle dokumentace záměru, z výše uvedeného rozboru však vyplývá, že navýšení intenzity může být ještě větší), posune tento takto již nejvíce frekventované úseky ve městě za mez zahlcení.

Třetím vyšetřovaným aspektem je produkce emisí z dopravy za stavu s realizací záměru a nulového stavu (bez realizace záměru). V dokumentaci jsou hodnoceny emise oxidů dusíku, částic do 10 mikrometrů (PM₁₀) a benzenu. Zatímco koncentrace benzenu v ovzduší již problematické zpravidla nejsou, chybí hodnocení nejvíce problematických složek, a to PM_{2.5} a PAH (jako benzo[a]pyrenu). Pro emise PM₁₀ uvádí rozptylová studie emisní faktory 0,0005-0,0008 gramu na km (g/km) s odvoláním na model MEFA [60]. Takové hodnoty jsou zcela nereálné, již vzhledem k tomu, že připravované limity výfukových emisí Euro 6 pro automobily, 0,0045 až 0,0050 g/km částic, by v takovém případě zcela pozbývaly smyslu, nebo vzhledem k tomu, že jen otěry z brzd a pneumatik jsou, jak již bylo uvedeno, v řádu setin g/km. Model MEFA zmíněné faktory obsahuje pro zážehové motory, pro vznětové motory uvažuje emise PM₁₀ v řádu desetin g/km. Automobily se vznětovými motory tvoří přibližně třetinu vozidel [60], jsou však intenzivněji využívány a jejich podíl na počtu najetých km je větší, v Praze cca 40% [61]. Výsledný faktor v řádu desetin g/km není v nesouladu se zahraničními modely [62].

Vliv na koncentrace PM_{2,5}, ačkoliv limitované zákonem, hodnocen není, lze však uvážit, že výfukové emise PM₁₀ a PM_{2,5} jsou totožné, protože většina hmotnosti výfukových emisí je soustředěna ve frakcích menších než mikrometr. Rovněž tak vliv na emise a koncentrace PAH, které jsou rovněž regulovány zákonem, není hodnocen.

Čtvrtým vyšetřovaným aspektem je dopad produkovaných emisí na lidské zdraví. Dokumentace na překročení limitů WHO pro PM₁₀ a PM_{2,5} poukazuje, toto je však konstatováno v rozsáhlejšímu textu studie o dopadu záměru na veřejné zdraví, kde jsou vyjmenovány možné vlivy na lidské zdraví, aniž by z uvedeného byl vyvozen jakýkoli závěr.

Nedostatky v dokumentaci, ať je důvod jejich výskytu jakýkoliv, by měly být zachyceny orgány státní správy, které dokumentaci projektu, včetně zpráv o jeho dopadu na životní prostředí a zdraví, posuzují a vyjadřují se k ní. Na nedostatky v dokumentaci poukázal z dotčených orgánů k věci se vyjadřující Odbor dopravy města Hradce Králové, který poukázal na nejednotné počty průjezdů vozidel a vyžádal posudek nezávislé organizace, ve kterém [63] se ale opakuje stejná nesrovnalost v počtu vozidel na ulici Náhon, a který se zabývá vlastním modelem, ale již nikoliv vstupními daty a parametry modelu. Odbor životního prostředí, který by se měl vyjádřit k posouzení rozptylové studie a dat, ze kterých vychází, pouze konstatoval, že z hlediska ochrany ovzduší nemá připomínku.

Nedostatky uvedené v rozboru případové studie lze považovat za kumulativní. Je zřejmé, že samotným podhodnocením počtu vozidel jsou podhodnocovány vlivy na plynulost dopravy, na výfukové emise, na výsledný příspěvek záměru ke koncentracím znečišťujících látek v ovzduší, a na lidské zdraví. Podhodnocením vlivu na plynulost dopravy jsou pak dale podhodnocovány výfukové emise a jejich následné dopady. Podhodnocením emisních faktorů, tj. emisí generovaných na vozidlo a jednotku vzdálenosti nebo výkonu, jsou pak dale podhodnocovány výfukové emise a jejich následné dopady.

Je proto zřejmé, že výsledný dopad na lidské zdraví je podhodnocen, aniž by toto bylo jakkoli komentováno, přes zjevné nedostatky, dotčenými orgány.

Z uvedeného rozboru proto vyplývá, že posuzování vlivů záměrů z hlediska emisí motorových vozidel je nutné věnovat zvýšenou pozornost, a tyto je třeba podrobovat kontrole, má-li být zachován jejich prvotní účel, kterým je ochrana životního prostředí a lidského zdraví.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek je zkrácenou a upravenou verzí příspěvku přijatého do časopisu Ochrana ovzduší. Příspěvek byl zpracován v rámci projektu MEDETOX, Inovativní metody monitorování toxicity výfukových plynů naftových motorů v podmínkách reálného městského provozu, financovaného Evropským programem LIFE+ (LIFE10 ENV/CZ/651) a Ministerstvem životního prostředí ČR. Podrobné podklady k případové studii a legislativě byly poskytnuty občanským sdružením Cesta trvalé prosperity za přispění Nadace VIA a Nadačním fondem proti korupci.

LITERATURA

- [1] Ivanhoe, L.F.: Future world oil supplies: there is a finite limit. *World Oil*, 216, 10, 1995, 77-88.
- [2] Energy Information Administration, USA, www.eia.gov.
- [3] Statistická ročenka České Republiky, 2000 až 2009. http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/statisticke_rocenky_ceske_republiky
- [4] Dimopoulos-Eggenschwiler P., Liatí A.: Characterization of particulate matter deposited in diesel particulate filters: Visual and analytical approach in macro-, micro- and nano-scales. *Combustion and Flame* 157 (2010) 1658–1670.
- [5] Kittelson D. B., Watts W. F., Johnson, J. P., 2006a. On-road and Laboratory Evaluation of Combustion Aerosols Part 1: Summary of Diesel Engine Results. *J. Aerosol Sci.* 37, 913-930.
- [6] Kittelson D. B., Watts W. F., Johnson, J. P., Schauer, J.J., Lawson, D.R., 2006b. On-road and Laboratory Evaluation of Combustion Aerosols Part 2: Summary of Spark Ignition Engine Results. *J. Aerosol Sci.*, 37, 931-949.
- [7] Gerde P., Muggenburg, B.A., Lundborg, M., Dahl, A.R. The rapid alveolar absorption of diesel soot-adsorbed benzo(a)pyrene: bioavailability, metabolism and dosimetry of an inhaled particle-borne carcinogen, *Carcinogenesis* 22, 2001, 741-749.
- [8] Künzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliger, P., Herry, M., Horak, F., Puybonnieux-Textier, V., Quénéel, P., Schneider, J., Seethaler, R., Vergnaud, J.-C., Sommer, H., 2000. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment, *The Lancet* 356, 895-901.
- [9] Arlt, V., 3-Nitrobenzanthrone, a potential human cancer hazard in diesel exhaust and urban air pollution: a review of the evidence, *Mutagenesis* 20 (2005) 399-410
- [10] http://oehha.ca.gov/public_info/facts/dieselfacts.html
- [11] <http://www.osha.gov/SLTC/dieslexhaust/>
- [12] http://press.iarc.fr/pr213_E.pdf
- [13] Kuenzli, S.: Chronic pulmonary effects of ambient nano-PM: Lessons learned from PM. 13th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles, Zurich, Switzerland, June 2009.
- [14] Krzyzanowski M, Kuna-Dibbert B, Schneider J, eds. Copenhagen: World Health Organization; 2005. Health Effects of Transport-Related Air Pollution.
- [15] Janssen, N.A.H., et al.: Black Carbon as an Additional Indicator of the Adverse Health Effects of Airborne Particles Compared with PM₁₀ and PM_{2.5}. *Environ Health Perspect.* 2011 December; 119(12): 1691–1699. www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3261976/
- [16] Gauderman, W.J., et al.: The Effect of Air Pollution on Lung Development from 10 to 18 Years of Age. *New England Journal of Medicine*, 351, 11, 2004, 1057-1067.
- [17] Merrion, D.: Heavy Duty Diesel Emissions Regulations – Past, Present and Future. Society of Automotive Engineers Technical Paper 2003-01-0040.
- [18] Předpis EHK 49. UN ECE document ECE/TRANS/180/Add.4; <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29registry/ECE-TRANS-180a4e.pdf>
- [19] Federální zákon USA o emisích ze spalovacích motorů. United States Code of Federal Regulation, Title 40, Part 86. Online at ecfr.gpoaccess.gov.
- [20] Kittelson, D.B.: Engines and nanoparticles: a review. *Journal of Aerosol Science*, 29, 5-6, 1998, 575-588.
- [21] Přehled emisních předpisů na DieselNet. www.dieselnet.com
- [22] Vojtíšek M., Fenkl M., Dufek M.: Effect of high-speed, performance driving on exhaust emissions of modern light-duty vehicles. In: *Advances in Automotive Engineering*, edited by Pavel Novotný, Tribun EU, Brno, 2008. ISBN 978-80-7399-496-9.
- [23] Biswas, S., Hu, S., Verma, V., Herner, J.D., Robertson, W.H., Ayala, A., Sioutas, C., 2008. Physical properties of particulate matter (PM) from late model heavy-duty diesel vehicles operating with advanced PM and NOx emission control technologies. *Atmospheric Environment*, 42, 5622-5634.

- [24] Tzankiozis, T., Ntziachristos, L., Samaras, Z., 2010. Diesel passenger car PM emissions: From Euro 1 to Euro 4 with particle filter. *Atmospheric Environment*, 44, 909-916.
- [25] Bishop, G. and D. Stedman (1990). "On-road carbon monoxide emission measurement comparisons for the 1988-1989 Colorado oxy-fuels program." *Environmental Science & Technology* 24: 843-847.
- [26] Guenther, P.L., Bishop, G.A., Peterson, J.E., Stedman, D.H.: Emissions from 200 000 vehicles: a remote sensing study. *The Science of The Total Environment*, vol. 146-147, 1994, pp. 297-302.
- [27] Ross, M.: Automobile Fuel Consumption And Emissions - Effects Of Vehicle And Driving Characteristics. *Annual Review Of Energy And The Environment*, 19, 1994, 75.
- [28] Kelly, N.A., Groblicki, P.J.: Real-world emissions from a modern production vehicle driven in Los Angeles. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 43, 1993, pp.1351-7.
- [29] St. Denis, M.J.; Cicero-Fernandez, P.; Winer, A.M.: Effects of in-use driving conditions and vehicle/engine operating parameters on 'off-cycle' events. Comparison with FTP conditions. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 44, 1994, pp.31-38.
- [30] Vojtíšek, M.: Současné trendy ve výfukových emisích z pístových spalovacích motorů, vliv provozních podmínek a dalších faktorů na emise, metody měření. *Ochrana ovzduší*, ISSN 1211-0337, 2011, 2, 4-11.
- [31] Park, S.S., et al.: Emission Factors for High-Emitting Vehicles Based on On-Road Measurement of Individual Vehicle Exhaust with a Mobile Measurement Platform. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 61, 10, 2011, 1046-1056, doi 10.1080/10473289.2011.595981.
- [32] Rajan, Sudhir Chella: The enigma of automobility : democratic politics and pollution. University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, USA, 1996.
- [33] Kunstler, James Howard: The Geography of Nowhere: The Rise and Decline of America's Man-Made Landscape. Simon & Schuster, New York, USA, 1993.
- [34] Statistická ročenka životního prostředí. Ministerstvo životního prostředí ČR.
- [35] Eastwood, P.: Particulate Emissions from Vehicles. Society of Automotive Engineers / John Wiley, 2008.
- [36] Vojtíšek-Lom, M.: Diesel Particulate Emissions Under Extended Idling Conditions, And Their Possible Relationship To Asthma Epidemic Near Peace Bridge (Buffalo, NY / Fort Erie, Ont) International Truck Border Crossing. Proceedings of 14th CRC On-road Vehicle Emissions workshop, San Diego, California, USA, March 2004.
- [37] Oyana, T.J., Lwebuga-Mukasa, J.S.: Spatial Relationships Among Asthma Prevalence, Health Care Utilization, and Pollution Sources in Neighborhoods of Buffalo, New York. *Journal of Environmental Health*, 66, 8, 2004, 25-37.
- [38] Lwebuga-Mukasa, J.S., Oyana, T.J., Johnson, C.: Local Ecological Factors, Ultrafine Particulate Concentrations, and Asthma Prevalence Rates in Buffalo, New York, Neighborhoods. *Journal of Asthma*, 42, 5, 2005, 337-348.
- [39] Mensink, C., De Vlioger, I., Nys, J.: An urban transport emission model for the Antwerp area. *Atmospheric Environment*, 34, 2000, 4595-4602.
- [40] Weilenmann, M., Soltic, P., Saxer, C., Forss, A.M., Heeb, N.: Regulated and non-regulated gasoline and diesel cold-start emissions at different temperatures. *Atmospheric Environment*, 39, 2005, 2433-2441.
- [41] Weilenmann, M., Favez, J.Y., Alvarez, R.: Cold-start emissions of modern passenger cars at different low ambient temperatures and their evolution over vehicle legislation categories. *Atmospheric Environment*, 43, 2009, 2419-2429.
- [42] Favez, J.Y., Weilenmann, M., Stilli, J.: Cold start emissions as a function of engine stop time: Evolution over the last 10 years. *Atmospheric Environment*, 43, 2009, 996-1007.
- [43] Mathis, U., Mohr, M., Forss, A.M.: Comprehensive particle characterization of modern gasoline and diesel passenger cars at low ambient temperatures. *Atmospheric Environment*, 39, 2005, 107-117.
- [44] Wik A., Goran D.: Occurrence and effects of tire wear particles in the environment – A critical review and an initial risk assessment. *Environmental Pollution*, 157, 1, 2009, 1-11.
- [45] Ketzel M., Omstedt G., Johansson C., Duering I., Pohjola M., Oettle D., Gidhagen L., Wahlin P., Lohmeyer A., Haakana M., Berkowicz R.: Estimation and validation of PM2.5/PM10 exhaust and non-exhaust emission factors for practical street pollution modelling. *Atmospheric Environment*, 41, 40, 2007, 9370-9385.
- [46] The European environment – state and outlook 2010. European Environment Agency. www.eea.europa.eu/soer/countries/cz/soertopic_view?topic=air%20pollution
- [47] Směrnice 2008/50/EC, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:023:0003:0016:CS:PDF>
- [48] Schwartz J., Neas L.M.: Fine Particles Are More Strongly Associated than Coarse Particles with Acute Respiratory Health Effects in Schoolchildren. *Epidemiology*, 11, 1, 2000, 6-10. http://journals.lww.com/epidem/Fulltext/2000/01000/Fine_Particles_Are_More_Strongly_Associated_than_4.aspx?WT.mc_id=HPXADx2_0100319xMP
- [49] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:023:0003:0016:CS:PDF>
- [50] http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf
- [51] Boström C.E., Gerde P., Hanberg A., Jernström B., Johansson C., Kyrklund T., Rannug A., Törnqvist M., Victorin K., Westerholm R., 2002. Cancer Risk Assessment, Indicators, and Guidelines for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Ambient Air. *Environmental Health Perspectives* 110, suppl. 3, 2002, 451-489. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1241197/pdf/ehp110-s-000451.pdf> (accessed Sept 26, 2011).
- [52] European Commission, 2001. Ambient air pollution by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH). Position paper. July 2001. (page 43-44 and annex page 14). Online at http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/pp_pah.pdf and http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/annex_pah.pdf (accessed Sept 30, 2011).
- [53] Dopravní politika České Republiky pro léta 2005-2013. [http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/fd1c2c3a1103ca85c1256a0f00330868/27ef78fabc64080c1256dbf002cccfdf/\\$FILE/doprpol.doc](http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/fd1c2c3a1103ca85c1256a0f00330868/27ef78fabc64080c1256dbf002cccfdf/$FILE/doprpol.doc)
- [54] Dokumentace k územnímu rozhodnutí záměru „Areal aktivit volného času Hradec Králové – Park Malšovice“. Magistrát města Hradce Králové, ve verzi předložené k veřejnému projednání dne 12.7.2012.
- [55] Posouzení dopadů zprovoznění dálnice D11. Dokument vytvořený společností CityPlan pro Statutární město Hradec Králové, únor 2012.
- [56] Data o koncentracích PM10, PM2.5 a benzo[a]pyrenu byla získána z webových stránek Českého hydrometeorologického ústavu, www.chmi.cz
- [57] Průměrná obsazenost vozidla v ČR byla 1,9 osoby v roce 2004, a postupně se snižovala na 1,4 osoby v roce 2008, zdroj: Statistiky Evropské unie, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/term29-occupancy-rates-in-passenger-transport-1/2009-29-occupancy-rates-of-passenger.xls>
- [58] Celostátní sčítání dopravy. Ředitelství silnic a dálnic, Ministerstvo dopravy ČR. <http://scitani2010.rsd.cz/pages/informations/default.aspx>
- [59] Sčítání bylo provedeno občanským sdružením Cesta trvalé prosperity dle instrukcí autora.
- [60] Centrální registr vozidel Ministerstva vnitra ČR, stav ke konci roku 2010.
- [61] Bureš, V. Stanovení charakteru znečištění z dopravy. Výstup projektu MŠMT 2B08040 – Výzkum původu znečištění.
- [62] Ban-Weiss G.A., McLaughlin J.P., Harley R.A., Lunden M.M., Kirchstetter T.W., Kean A.J., Strawa A.W., Stevenson E.D., Kendall G.R.: Long-term changes in emissions of nitrogen oxides and particulate matter from on-road gasoline and diesel vehicles. *Atmospheric Environment*, 42, 2, 2008, 220-232.
- [63] Slabý, J.: Posudek dopravního řešení, 2010. Součást dokumentace záměru Park Malšovice [54].