

INOVATIVNÍ METODY MONITOROVÁNÍ EMISÍ Z NAFTOVÝCH MOTORŮ V REÁLNÉM MĚSTSKÉM PROVOZU (PROJEKT MEDETOX)

¹Jan Topinka, ²Michal Vojtíšek, ³Pavel Gruntorád

¹Ústav experimentální medicíny AV ČR, v.v.i., Praha, jtopinka@biomed.cas.cz

²Technická univerzita v Liberci

³Ministerstvo životního prostředí ČR

ABSTRAKT

V soutěži o projekty v rámci evropského programu LIFE Environment byl Evropskou komisí vybrán k podpoře čistě český projekt MEDETOX zaměřený na měření a toxicitu emisí z naftových motorů v reálném městském provozu konkrétně na situaci na Pražském okruhu. Řešení projektu bylo zahájeno 1. 9. 2011 a je plánováno na dobu 5 let. Projektu se zúčastní Ústav experimentální medicíny Akademie věd České republiky (ÚEM), Technická univerzita v Liberci (TUL) a Ministerstvo životního prostředí České republiky (MŽP). Takto koncipované konsorcium účastníků projektu umožňuje komplexní přístup k problematice, neboť vedle odborných pracovišť z hlediska měření motorových emisí (TUL) a jejich toxicity (ÚEM) je aktivním účastníkem projektu i MŽP, které se bude podílet zejména na diseminaci výsledků projektu a promítnutí jeho výsledků do stávajících předpisů, které jsou v řadě směrů nevyhovující. Jde především o to, že standardní testovací cykly prováděné v laboratorních podmínkách neposkytují skutečný obraz emisí z vozidel v reálném provozu. V rámci projektu MEDETOX bude proto vytvořen prototyp mobilního testovacího zařízení, které bude jednak provádět měření základních složek emisí v reálném provozu a jednak bude emise vzorkovat pro následné biologické, respektive toxikologické testy.

Klíčová slova: motorové emise, reálný provoz, biopaliva, toxicita motorových emisí

INNOVATIVE METHODS OF MONITORING OF DIESEL ENGINE EXHAUST TOXICITY IN REAL URBAN TRAFFIC (PROJECT MEDETOX)

The Czech project MEDETOX was selected for support within the European programme LIFE Environment. The project is focused on the measurements and the analyses of toxicity of emissions of diesel engines in real urban traffic with special attention given to the situation on the Prague ring road. The project started on September 1, 2011 and is planned for 5 years. The MEDETOX project is coordinated by the Institute of Experimental Medicine of the Academy of Sciences of the Czech Republic (IEM). Other participants are Technical University of Liberec (TUL) and Ministry of the Environment of the Czech Republic (ME). Such a consortium of participants enables complex approach to the problem because together with laboratories specialized on the measurement of engine emissions (TUL) and their toxicity (IEM) the participation of ME will help to disseminate the results of the project and to incorporate them into the existing legislation which is unsatisfactory in many aspects. The problem is that standardized tested cycles performed in the laboratory conditions do not provide real picture of emissions from vehicles in real traffic. Therefore, the prototype of mobile testing instrumentation will be constructed within this project. This prototype will measure basic components of emissions under real traffic conditions. It will also sample emissions for subsequent biological and toxicity tests.

Key words: engine emissions, real traffic, biofuels toxicity of engine emissions

ÚVOD

Emise z dopravy a mobilních strojů jsou jedním z hlavních zdrojů znečištění ovzduší, kritické jsou zejména koncentrace velmi jemných částic v městských aglomeracích. Zpřísňující se emisní normy a nové technologie nepřinášejí očekávané snížení emisí a v ČR nestačí ani kompenzovat nárůst emisí vlivem narůstající intenzity dopravy a změn provozních parametrů motorů z nárůstu intenzity dopravy vyplývajících. Nepoměrně velké množství celkových emisí pochází z relativně malého počtu vozidel a relativně krátkých částí celkové doby provozu. Za takových podmínek je hodnocení vlivů různých opatření na reálné emise obtížné, nelze již vycházet z odhadů založených na malém množství orientačních laboratorních měření, ale je třeba měřit emise v reálném prostředí. Měření částic dle celkové hmotnosti se navíc ukazuje jako nedostačující pro stanovení zdravotního rizika a bude jej nutno doplnit dalšími metodami. Mobilní aparatury pro měření emisí umístěné

na palubě měřeného vozidla, průjezdní měřiče emisí a mobilní laboratoře pro dynamické měření emisí jsou příklady nových metodologií měření emisí. Je též zřejmé, že hodnocení zdravotních rizik motorových emisí musí být založeno především na interakci emisí s modelovými biologickými systémy a nikoli pouze na chemické analýze jejich složek. Projekt MEDETOX proto využije existujících metod analýzy toxicity komplexních směsí pro hodnocení motorových emisí v reálném provozu, konkrétně na Pražském okruhu. Aplikace výsledků projektu by měla vytvořit podklady pro zlepšení legislativy Evropské unie v oblasti regulace motorových emisí.

SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY A INOVATIVNÍ ASPEKTY PROJEKTU

Pístové spalovací motory jsou – a patrně i v dohledné době zůstanou – hlavní hnací silou silničních motorových vozidel, některých druhů nesilničních dopravních prostředků, staveb-

ních, zemědělských a dalších pojízdných strojů. Jsou využívány v takové míře, že výfukové emise, uvolňované mnohdy v bezprostřední blízkosti populace, mají významný negativní dopad nejen na životní prostředí, ale zejména na lidské zdraví. Téměř veškeré palivo pro tyto motory je ropného původu (motorové benzíny, motorová nafta). Pouze několik procent z celkového množství paliva tvoří zemní plyn a další oficiálně užívaná alternativní paliva, bioetanol přidávaný plošně do benzínu, bionafta přidávaná plošně do motorové nafty a neznámé množství rostlinných olejů a různých převážně neoficiálně používaných paliv [1–3].

Spalováním ropy vzniká voda, oxid uhličitý a znečišťující látky, mezi které jsou zahrnuty těkavé organické látky (VOC), oxid uhelnatý (CO), částice (PM) a oxidy dusíku (NO_x). Dnes již jen v malé míře jsou emitovány oxidy síry a olovo, na významu však nabývají další složky, například částice z kovů nebo jejich sloučenin o velikosti jednotek až desítek nanometrů (nanočástice). Spalovací motory jsou ve většině městských aglomerací největším zdrojem znečištění vzduchu z hlediska celkového množství vypuštěných emisí [3, 4]. Jedná se však o emise vypuštěné nikoliv z komínů, ale v bezprostřední blízkosti osádek vozidel, chodců a osob přebývajících v budovách v blízkosti komunikací. Tyto emise představují vysoké zdravotní riziko.

Současné analýzy zdravotních rizik v důsledku expozice komplexním směsím, jako jsou emise z naftových motorů, vycházejí takřka výhradně z chemické analýzy těchto směsí. Takový přístup však má značná omezení: (A) Chemická analýza komplexní směsi zachytí pouze omezené množství komponent, a tak některé látky mohou být opomenuty; (B) Chemická analýza nezohledňuje možné interakce složek. To znamená, že výsledná toxicita směsi může být výrazně vyšší či nižší, než odpovídá součtu toxických účinků jejích složek. Naproti tomu projekt MEDETOX představuje inovativní přístup k hodnocení toxicity a z ní vyplývajících možných zdravotních rizik motorových emisí. Nový přístup spočívá v přímém hodnocení toxických vlastností organických látek vázaných na pevnou složku emisí odebranou za reálných provozních podmínek.

CÍLE PROJEKTU A JEHO OČEKÁVANÉ VÝSLEDKY

Hlavní cíle projektu jsou:

1. *Demonstrovat inovativní metody pro hodnocení možných zdravotních rizik spojených s expozicí obecné populace emisím z naftových motorů v podmínkách reálného provozu.* Emise z mnoha tisíc nákladních aut projíždějících velkými evropskými městy představují vážné zdravotní riziko pro obecnou populaci. To platí zvláště pro Prahu, kde je taková hustota dopravy, že nákladní auta stráví značnou dobu čekáním v dopravních zácpách se zapnutými motory. Na rozdíl od laboratorních testovacích cyklů použitých v řadě studií tento projekt usiluje o stanovení toxicity emisí typických pro městský provoz, kde jsou tyto emise nejdůležitější, neboť jejich celková dávka je nejvyšší.
2. *Poskytnout tyto metody relevantním vládním a národním či mezinárodním regulačním úřadům a dalším potenciálním uživatelům* (Ministerstvo zdravotnictví, Státní zdravotní ústav, Magistrát hlavního města Prahy, magistráty dalších velkých měst v ČR a jejich stavební úřady na různé úrovni, OECD, Mezinárodní agentura pro energii (IEA), EC DG SANCO, EC DG Industry).

3. *Identifikovat zdravotní rizika spojená s použitím některých paliv a aditiv.*
4. *Vytvořit efektivní interdisciplinární tým zaměřený na komplexní posouzení zdravotního rizika motorových emisí v reálném provozu a monitorování důsledků různých politických rozhodnutí.* Tohoto cíle je dosaženo sestavením vyváženého týmu odborníků na problematiku motorových emisí (Technická univerzita v Liberci), měření jejich toxicity (Ústav experimentální medicíny AV ČR) a zastoupením veřejné instituce (Ministerstvo životního prostředí).

HLAVNÍ ETAPY PROJEKTU

Optimalizace monitorování emisí v reálném provozu a konstrukce vzorkovacího zařízení

V první fázi projektu bude pozornost věnována konstrukci zařízení pro vzorkování emisí pro studie toxicity. Vzhledem ke specifickým podmínkám v pohybujícím se vozidle (zrychlení, vibrace, změny teploty, vlhkosti, omezenému elektrickému výkonu k napájení přístrojů atd.) nejsou standardní laboratorní přístroje pro tento účel vhodné. Vedle požadavku na on-line měření základních regulovaných polutantů musí systém umožňovat vzorkování miligramových množství částic pro studie toxicity prováděné v laboratoři. S tím je spojena řada technických problémů, včetně zacházení se vzorky, s jejich uchováváním a stanovením experimentálních chyb spojených s nestandardními podmínkami odběru. Navržený prototyp měřicího a vzorkovacího zařízení a měřicí protokoly budou diskutovány s předními odborníky na mezinárodních konferencích.

Optimalizace metod stanovení toxicity a jejich přizpůsobení podmínkám vzorkování emisí v reálném provozu

Z částic motorových emisí zachycených na filtrech s použitím speciálního zařízení pro vzorkování v reálném provozu budou připraveny extrakty organických látek (EOM). V těchto extraktech bude stanoven obsah polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) jako nejdůležitějších toxických látek zachycených na emitovaných částicích. EOM budou testovány s použitím testů toxicity a genotoxicity: (1) Test genotoxicity (adukty DNA) a oxidačního poškození DNA v nebuněčném modelu s nativní DNA [5]; (2) Test buněčné toxicity [6]; (3) Test genotoxicity (adukty DNA a kometový test) na lidských plicních embryonálních fibroblastech (HEL) [7, 8]; (4) Test oxidačního poškození DNA, proteinů a lipidů na buňkách HEL [9]; (5) Test klastogenních účinků na buňkách HEL – analýza mikrojader [10]. Všechny tyto testy budou optimalizovány s použitím modelových toxických látek a směsí a následně pro EOM z filtrů se zachycenými částicemi motorových emisí odebraných nově vyvinutým vzorkovacím zařízením (viz předchozí odstavec).

Srovnání laboratorních podmínek s podmínkami v reálném provozu

Měření motorových emisí za provozu a vyvinuté vzorkovací zařízení bude porovnáno se standardními laboratorními podmínkami při standardním laboratorním vybavení a s použitím běžných postupů. Cílem je verifikovat nové zařízení a metody

a umožnit srovnání s výsledky jiných studií. Ke zjištění rozdílu daného rozdílnou instrumentací bude nový systém pro měření emisí v reálném provozu použit souběžně se standardním laboratorním zařízením. Bude vybrán takový testovací cyklus, který může být snadno opakován jak v laboratorních podmínkách, tak v reálném provozu. Výsledky získané s mobilním zařízením v laboratorních podmínkách budou následně porovnány s výsledky v reálném provozu. Toto porovnání umožní objasnit rozdíly dané provozními podmínkami mobilního zařízení.

Měření toxických účinků motorových emisí za různých podmínek reálného provozu v Praze

Tato část projektu bude demonstrovat použitelnost metod testování toxicity emisí na vzorcích odebraných v rámci porovnání stávajících laboratorních a nově vyvinutých zařízení plánovaných v předchozím odstavci. Testy toxicity budou srovnávat různé podmínky reálného provozu na Pražském okruhu a též vzorky emisí odebraných v laboratorních podmínkách. Budou vybrány reprezentativní typy vozidel a technologií (např. EURO 3–5 autobusy, EURO 2–5 nákladní automobily).

Vliv vybraných palivových aditiv (biopaliv) na toxicitu motorových emisí v reálném provozu v Praze – pilotní studie

V rámci této pilotní studie bude demonstrována vhodnost optimalizovaných metod odebírání vzorků a měření toxicity pro stanovení vlivu různých paliv a palivových aditiv na toxicitu motorových emisí. Bude vybráno cca 5 typů nejběžnějších paliv používaných v České republice a Evropské unii. Testy budou prováděny dle protokolů optimalizovaných v předchozích etapách projektu.

Spolupráce s dalšími projekty a diseminace výsledků

Použité postupy, včetně výběru analytických postupů a metod stanovení toxicity, konstrukce odběrového zařízení, přizpůsobení standardních testovacích postupů, budou pravidelně porovnávány a konfrontovány s obdobnými projekty z dané oblasti. Byla identifikována řada projektů a skupin pro případnou spolupráci. Výsledky projektu jsou a budou pravidelně publikovány v domácí i zahraniční odborné literatuře, včetně mezinárodních impaktovaných časopisů. Kromě toho je k dispozici webová stránka projektu www.medetox.cz, kde jsou veškeré informace o projektu a o postupu jeho řešení, včetně všech výstupů.

ZÁVĚR

Projekt MEDETOX je zaměřen na inovativní metody hodnocení motorových emisí v reálném provozu, které by měly

sloužit jako podklad pro zlepšení legislativy v oblasti motorových emisí. Ve své počáteční fázi řešení se zaměřil na některé důležité aspekty standardizace monitorování, odběry vzorků a stanovení toxicity, zejména genotoxicity látek vázaných na částice v motorových emisích. Tyto pilotní studie jsou shrnuty v následujících 2 článcích: Vojtíšek a kol.: Nanočástice emitované spalovacími motory v městském provozu; Topinka a kol.: Genotoxický potenciál organických extraktů z částic emisí motorů poháněných naftou a řepkovým olejem. Z těchto prací vyplynula řada poznatků, které budou použity při dalším řešení projektu.

Poděkování

Projekt MEDETOX (LIFE10 ENV/CZ/651) je financován EU programem LIFE+ (LIFE10 ENV/CZ/651) a Ministerstvem životního prostředí ČR.

LITERATURA

- [1] Czech Statistical Yearbook, 2001–2007. Czech Bureau of Statistics, online at http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/statisticke_rocenky_ceske_republiky.
- [2] Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. <http://www.mpo.cz/cz/energetika-a-suroviny/statistikyenergetika/> (staženo 14. 3. 2010).
- [3] Statistical Environmental Yearbook of the Czech Republic. Ministry of the Environment of the Czech Republic, 2000–2007.
- [4] EPA National Air Quality and Emissions Trends Report. United States Environmental Protection Agency.
- [5] Topinka, J., Hovorka, J., Milcová, A., Schmutzerová, J., Kroužek, J., Rössner, P. Jr., Šrám, R. J.: An acellular assay to assess the genotoxicity of complex mixtures of organic pollutants bound on size segregated aerosol. Part I: DNA adducts. *Toxicol.Lett.* 198, 2010, s. 304–311.
- [6] Sevastyanova, O., Nováková, Z., Hanzalová, K., Binková, B., Šrám, R. J., Topinka, J.: Temporal variation in the genotoxic potential of urban air particulate matter. *Mutat. Res.* 649, 2008, s. 179–186.
- [7] Sevastyanova, O., Binková, B., Topinka, J., Šrám, R. J., Kalina, T., Popov, Novakova, Z., Farmer, P. B.: In vitro genotoxicity of PAH mixtures and organic extract from urban air particles. Part II: Human cell lines. *Mutat. Res.* 620, 2007, s. 122–134.
- [8] Tice, R. R., Agurell, E., Anderson, D., Burlinson, B., Hartmann, A., Kobayashi, H., Miyamae, Y., Rojas, E., Ryu, J.-C., Sasaki, Y. F.: Single cell gel/comet assay: guidelines for in vitro and in vivo genetic toxicology testing. *Environ. Mol. Mutagen.* 356, 2000, s. 206–221.
- [9] Hanzalová, K., Rössner, P. Jr., Šrám, R. J.: Oxidative damage induced by carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons and organic extracts from urban air particulate matter. *Mutat. Res.* 69, 2010, s. 114–121.
- [10] Rössnerová, A., Špátová, M., Rössner, P., Solanský, I., Šrám, R. J.: The impact of air pollution on the levels of micronuclei measured by automated image analysis. *Mutat. Res.* 669, 2009, s. 42–47.