

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4131 Zemědělství
Studijní obor: Zemědělská technika – obchod, servis a služby
Katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky
Vedoucí katedry: doc. RNDr. Ing. Petr Bartoš, Ph.D.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Měření emisí pevných částic u vznětových motorů
rozdílných emisních kategorií EURO

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ivo Celjak, CSc.
Autor bakalářské práce: Jan Kahuda, DiS.

České Budějovice, 2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan KAHUDA**
Osobní číslo: **Z14096**
Studijní program: **B4131 Zemědělství**
Studijní obor: **Zemědělská technika: obchod, servis a služby**
Název tématu: **Měření emisí pevných částic u vznětových motorů rozdílných emisních kategorií EURO**
Zadávací katedra: **Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cíl práce:

Cílem práce je provedení měření hmotnostní koncentrace polétavého prachu ze spalovacího procesu vznětových motorů v závislosti na konstrukčních úpravách motorů a výfukových systémů vozidel.

Metodický postup:

1. Rešerše z oblasti výroby a používání kabinových filtrů a problematiky prachových částic.
2. Vypracování zásad pro provádění měření koncentrace prachových částic z výfuků vozidel.
3. Měření hmotnostní koncentrace prachových částic z výfuků vybraných vozidel v závislosti na režimu chodu motoru a konstrukčních úpravách motorů a výfukových systémů.
4. Vypracování souhrnu poznatků na základě naměřených hodnot hmotnostní koncentrace prachových částic ze spalovacích procesů motorů vozidel.

Rozsah grafických prací: **obrázky, fotografie, grafy - dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **60 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Adamec, V. a kol.: **Doprava, zdraví a životní prostředí, GRADA, Praha 2008, 160 s.;**
Celjak, I.: **Dopravní a manipulační zařízení, interní učební text pro e-čtečky, ZF JU v Č. Budějovicích, 2010, 112 s.;**
Celjak, I.: **Metodika měření hmotnostní koncentrace polévatého prachu v silniční dopravě, ZF JU v Č. Budějovicích, 2011, 16 s.;**
Celjak, I.: **Ovlivnění řidičů emisemi prachových částic v interiérech vozidel, Komunální technika 2/2015, roč. IX, s. 40-43;**
Dufek, J., Huzlík, J.: **Metodika pro stanovení emisní zátěže látek znečišťujících ovzduší v České republice, Brno, Centrum dopravního výzkumu, 2001, 21 s.;**
Evropská emisní norma Stage III B; **Dostupné z:**
<http://www.ngk.de/cz/technicke-detaily/lambda-sondy/zakladni-vedomosti-o-emisich/euro-normy/>
;
Mrzena, R.: **Porovnání vlivu individuální a hromadné dopravy na životní prostředí, Perner's Contacts, roč. V, č. 3/2010, Dopravní fakulta Univerzity v Pardubicích;**
Rožnovský, J., Litschmann, T. **Znečištění ovzduší - Metody měření a hodnocení vlivu: Morfologie pevných částic. Mikulov, 2008. Dostupné z:**
http://www.cbks.cz/sbornik08a/Licbinsky_Adamec_Huzlik.pdf ;
Gscheide, R. a kol.: **Příručka pro automechanika, Europa Lehrmittel, Germany 2015, 686 s.;**
Nová emisní norma EURO 6 pro automobily. **Live cars [online]. 2010 Dostupné z: <http://www.livecars.cz/aktuality/zajimavosti/emisni-norma-euro6.aspx>.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ivo Celjak, CSc.**
Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Datum zadání bakalářské práce: **22. ledna 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2017**


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA 
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentůvská 1898, 370 05 České Budějovice


doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 10. března 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citovaných zdrojů. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátu.

V Českých Budějovicích dne

Podpis

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval panu Ing. Ivo Celjakovi, CSc. za odborné vedení mé bakalářské práce, za jeho vstřícnost, trpělivost, cenné rady a připomínky, které mi poskytl během zpracování daného tématu.

Dále děkuji všem, kteří mi k měření ochotně poskytli své automobily, bez čehož by tato práce nemohla vzniknout.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou znečišťování životního prostředí produkcí prachových částic spalovacími motory automobilů a měřením koncentrace prachových částic emitovaných ve výfukových plynech u vznětových motorů rozdílných emisních kategorií EURO. Prachové částice značně znečišťují životní prostředí a ohrožují lidské zdraví i životy dalších živočichů a rostlin.

Cílem práce bylo zjistit rozdílnost produkce prachových částic ve výfukových plynech vznětových motorů osobních automobilů splňujících rozdílné emisní normy EURO. Měření bylo realizováno za pomoci experimentálního přípravku vlastní výroby – měřicí stanice. Měření koncentrací prachových částic probíhalo na čtyřech osobních automobilech se vznětovými motory plnícími emisní normy EURO 1, EURO 3, EURO 5 a EURO 6 a to při volnoběžném chodu motorů. K měření byl použit přístroj DUST TRAK 8530 od firmy TSI Incorporated.

Klíčová slova: znečištění; emise; prachové částice; výfukové plyny; vznětové motory

Abstract

This bachelor thesis deals with the issue of pollution of the environment by emissions of dust particles produced by engines of cars and also deals with the measurement of the concentration of dust particles emitted in the exhaust gases of diesel engines meeting the different EURO emission categories. Dust particles greatly pollute the environment and endanger human health as well as the lives of other animals and plants.

The aim of this work was to find out the difference in the producing of dust particles in the exhaust gases of passenger car's diesel engines that meet the different emission EURO standards. Measurements were carried out using experimental preparation of own production – the measuring station. The dust particles concentration measurement was performed on four diesel engine passenger cars that meet the EURO 1, EURO 3, EURO 5 and EURO 6 emissions standards and while idling. The measuring device DUST TRAK 8530 from the TSI Incorporated company was used for measuring.

Key words: pollution; emissions; dust particles; exhaust gases; diesel engines

Obsah:

1. Úvod.....	10
2. Literární přehled.....	11
2.1 Znečištění vzduchu.....	11
2.2 Emise a imise	11
2.3 Látky znečišťující ovzduší – polutanty	11
2.3.1 Oxid uhličitý (CO ₂).....	13
2.3.2 Oxid uhelnatý (CO).....	13
2.3.3 Oxidy dusíku (NO _x).....	13
2.3.4 Oxid siřičitý (SO ₂).....	14
2.3.5 Přízemní ozon (O ₃).....	14
2.3.6 Polyaromatické uhlovodíky (PAH).....	14
2.3.7 Polétavý prach.....	15
2.4 Prachové částice	15
2.4.1 Vznik prachových částic	16
2.4.2 Prachové částice – saze vznikající provozem spalovacích motorů	18
2.4.3 Tvar prachových částic.....	18
2.5 Smogová situace.....	19
2.5.1 Přirozené proudění vzduchu.....	19
2.5.2 Teplotní inverze.....	19
2.5.3 Smog.....	19
2.6 Vliv prachových částic na lidský organismus	22
2.7 Ovlivnění řidičů prachovými částicemi v kabinách vozidel	23
2.8 Eliminace vlivu prachových částic na řidiče – kabinové filtry vzduchu.....	25
2.8.1 Druhy kabinových filtrů	25
2.8.2 Výroba kabinových filtrů	26

2.9	Možnosti snižování emisí výfukových plynů.....	29
2.10	Zařízení a systémy pro redukci emisí výfukových plynů.....	30
2.8.1	Redukce škodlivin u zážehových motorů.....	30
2.8.2	Redukce škodliviny u vznětových motorů.....	33
3.	Metodika měření.....	39
3.1	Cíl měření.....	39
3.2	Materiály a podmínky k měření.....	39
3.2.1	Přístroj pro měření aerosolů Dust TRAK 8530.....	40
3.2.2	Meteorologické podmínky pro měření na volném prostranství.....	41
3.2.3	Vyloučení povětrnostních vlivů – měření s experimentálním přípravkem (měřicí stanice).....	41
3.3	Postup měření.....	43
3.3.1	Obsluhování měřicího přístroje Dust TRAK 8530.....	43
3.2.3	Postup při měření koncentrace prachových částic ve výfukových plynech pomocí experimentálního přípravku – měřicí stanice.....	44
3.4	Vlastní měření – výsledky.....	45
4.	Diskuse.....	48
5.	Závěr.....	50
6.	Seznam použitých informačních zdrojů.....	51
7.	Seznam a zdroje použitých obrázků a tabulek.....	53
8.	Přílohy fotografií z vlastního měření.....	54

1. Úvod

K jednomu z hlavních problémů kvality ovzduší, které negativně ovlivňují životní prostředí a ohrožuje lidské zdraví i životy dalších živočichů a rostlin, patří znečištění prachovými částicemi. Na znečištění se podílí mnoho zdrojů, především pak zdroje antropogenní – člověkem vytvořené. Nejsilnějším producentem prachových částic a dalších škodlivin je stále narůstající automobilová a silniční doprava. Přitom nejvíce prachových částic produkují vozidla se vznětovými spalovacími motory.

Jelikož jsou známy škodlivé a životu nebezpečné účinky prachu na lidský organismus, začaly se v několika posledních dekadách objevovat snahy o omezení produkce škodlivin do ovzduší. Vznikly tak zákony o ochraně ovzduší a emisní limity, z nichž patrně nejznámější a v Evropě platné jsou emisní normy EURO pro silniční motorová vozidla. V návaznosti na jejich dodržování vznikla řada technických opatření, zařízení a systémů, jejichž úkolem je snižovat množství škodlivin ve výfukových plynech spalovacích motorů. Nejjednodušší jsou katalyzátory a filtry pevných částic. Účelem je ochrana ovzduší před emitací – vnášením škodlivých znečišťujících látek, omezení příčin znečišťování a jejich následků a zlepšení kvality ovzduší.

Cílem práce bylo zjistit měřením rozdílnost produkce prachových částic ve výfukových plynech vznětových motorů osobních automobilů, které splňují rozdílné emisní normy EURO. Měření bylo provedeno za pomoci experimentálního přípravku vlastní výroby – měřicí stanice, a k měření byl použit přístroj DUST TRAK 8530 od firmy TSI Incorporated. Měřena byla hmotnostní koncentrace prachových částic tří velikostních frakcí PM (PM_{10} , $PM_{2,5}$, $PM_{1,0}$) ve výfukových plynech, a to při volnoběžném nezatíženém chodu motorů.

2. Literární přehled

2.1 Znečištění vzduchu

Znečištění ovzduší je chemicko-fyzikálně-biologický činitel, který způsobuje změny v přirozených vlastnostech atmosféry Země a je vnímáno jako hrozba pro zemské ekosystémy, především však pro lidské zdraví. Největšími zdroji nečistot jsou:

- stacionární zdroje: teplárny, tepelné elektrárny, domácí topeniště,
- mobilní zdroje: automobilová, železniční, letecká nebo lodní doprava.

Znečištění ovzduší je příčinou řady úmrtí a nemocí po celém světě. Například nemoci dýchacích cest (astma, bronchitida), onemocnění rakovinou především respiračních orgánů, kardiovaskulární, kožní a další nemoci, negativní ovlivnění vývoje plodu atd. (1, 2)

2.2 Emise a imise

Emise a imise vyjadřují koncentraci prachových částic a dalších škodlivých látek ve vzduchu. Emise se měří přímo u zdroje znečištění (např. spalovací motor – měří se na výfuku, teplárna – měří se na komínu atd.), zatímco imise jsou následkem emisí, které se dostaly do životního prostředí. Imise se měří v okolí zdroje a u příjemců škodlivin (např. na veřejných prostranstvích). (3)

Emise a imise jsou vnímány především jako do ovzduší uvolněné polutanty vzniklé při spalování fosilních paliv. Jedná se především o spalování nafty a benzínu ve vozidlových spalovacích motorech a rovněž se jedná o spalování uhlí v tepelných elektrárnách, které dodávají elektrickou energii vozidlům hromadné dopravy na elektrický pohon – trolejbusová a železniční trakce. (4)

2.3 Látky znečišťující ovzduší – polutanty

Látky, které znečišťují ovzduší, polutanty, jsou chápány jako chemické a jiné látky, které mohou mít v závislosti na prostředí negativní účinky na životní prostředí a tedy i na lidské zdraví. (5)

Jako zdroj emisí nejvíc zatěžující životní prostředí je obecně chápána automobilová doprava. Výfukové plyny vozidel se spalovacími motory totiž obsahují veliké množství škodlivých jedovatých látek – polutantů. Některé plynné látky byly vědci jako polutanty označeny teprve nedávno. Patří mezi ně třeba oxid uhličitý (CO₂),

který značně ovlivňuje změny klimatu. Ne všichni však s takovým označením souhlasí, protože oxid uhličitý je zároveň nezbytný pro život (především u rostlin). (2)

Nejvýznamnější škodliviny v ovzduší:

I. oxidy uhlíku:

- CO₂ (oxid uhličitý) – významný skleníkový plyn
- CO (oxid uhelnatý)

II. oxidy dusíku – NO_x, zejména:

- NO (oxid dusnatý)
- NO₂ (oxid dusičitý)
- méně již N₂O (oxid dusný)
ale i čistý dusík N₂

Spalovací motory se podílejí až 55 % na vzniku antropogenních emisí dusíku.

III. oxidy síry:

- SO₂ (oxid siřičitý)
- méně již SO₃ (oxid sírový)

IV. přízemní ozón:

- O₃

V. těkavé organické látky (VOC) a polyaromatické uhlovodíky (PAU)

VI. sloučeniny olova (po zavedení směrnic zakazujících používání olovnatých paliv se tyto škodliviny přestaly v ovzduší téměř vyskytovat).

VII. prachové částice (minerální částice, popílek, saze, pyly, mikroorganismy):

- PM₁₀ – polétavý prach
- PM_{2,5} a PM_{1,0} – jemné částice (4)

V následujících podkapitolách jsou uvedeny některé druhy látek, které znečišťují ovzduší. Mají velmi nepříznivý vliv na životní prostředí, především pak na lidskou populaci, přestože se tyto látky vyskytují jen v nepatrných množstvích, v porovnání se základními složkami v atmosféře (dusíkem a kyslíkem).

2.3.1 Oxid uhličitý (CO₂)

Oxid uhličitý je běžně obsažen v atmosféře. Je však významným plynem při tvorbě tzv. skleníkového efektu. Z toxikologického hlediska je škodlivý pro životní prostředí, pokud se vyskytuje v nadměrné koncentraci v ovzduší a lidé jej vdechují. Při 3 % koncentraci ještě lidský organismus nereaguje, při 5 % koncentraci vyvolává závratě, ospalost a dechové obtíže. Koncentrace 8 – 10 % způsobuje bezvědomí a smrt. Při 20 % se člověk náhle zhroutí, smrt nastává přibližně do 5 – 10 minut. (6)

2.3.2 Oxid uhelnatý (CO)

Oxid uhelnatý je bezbarvý jedovatý plyn, který je nedráždivý, bez chuti a zápachu. Z hlediska toxicity pro lidský organismus je oxid uhelnatý značně jedovatý. Jeho jedovatost spočívá v tzv. silné afinitě ke krevnímu barvivu hemoglobinu, s nímž se váže a mění se v karboxyhemoglobin (COHb). Tím je znemožněn přenos kyslíku krví z plic do tkání a člověk se v podstatě dusí. Otrava oxidem uhelnatým nastává již při přeměně 10 % hemoglobinu na karboxyhemoglobin. Hemoglobin váže oxid uhelnatý přibližně dvousetkrát silněji než kyslík, a proto jeho vyloučení z krve trvá několik hodin až dní, nehledě na následky otravy. Zdravý člověk může pociťovat únavu při nižších koncentracích ve vzduchu, lidi se srdečními obtížemi může trápit bolest na prsou. K poruchám vidění a koordinace, k bolestem hlavy, závratím a zmatečnému chování může docházet při jeho vyšších koncentracích, a může být také pociťována žaludeční nevolnost. Vysoké koncentrace jsou smrtelné. (7)

2.3.3 Oxidy dusíku (NO_x)

NO_x je vlastně souhrnné označení pro dusíkaté oxidy, jako například oxid dusný (N₂O), nestabilní oxid dusitý (N₂O₃), či oxid dusičný (N₂O₅). Ve vlhkém ovzduší se vyskytují i mlhoviny kyselin dusičné a dusité, souhrnně zařaditelné jako tzv. nitrózní plyny. NO_x označení (tzv. „noxy“) platí hlavně pro oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO₂). Oba plyny jsou jedovaté, přičemž toxičtější a podstatně škodlivější pro lidské zdraví je oxid dusičitý. Jmenované oxidy dráždí oči a horní partie dýchacích cest. Otrava oxidem dusičitým je příčinou záchvatů úporného kašle, dochází k edému plic či jinému poškození plicní tkáně, rovněž se předpokládá, že oxidy dusíku se váží na krevní barvivo (podobně jako oxid uhličitý) a zhoršují tak přenos kyslíku krví z plic do tkání. Stejně tak existuje domněnka, že oxidy dusíku mají určitou roli při vzniku nádorových onemocnění – jsou karcinogenní. (8)

2.3.4 Oxid siřičitý (SO₂)

Oxid siřičitý je bezbarvý plyn. Je jedovatý a štiplavý. Pro člověka je toxický při koncentraci od 1 mg/m³. Způsobuje podráždění a pálení očí, negativně ovlivňuje funkci plic (také snižuje schopnost červených krvinek vázat kyslík), dráždí ke kašli, podporuje astma a záněty průdušek. Při vyšší koncentraci může způsobit i poleptání sliznic a poškození očí. Dráždivý je ale již při koncentracích okolo 0,1 mg/m³. I nízké koncentrace oxidu siřičitého mají velmi nepříznivý vliv na rostliny, poněvadž reakcí s chlorofylem poškozuje fotosyntetický mechanismus rostlin. Ty dále už jen živoří a následně odumírají. Navzdory všem negativním vlivům má oxid siřičitý pozitivní vliv kompenzací nárůstu teploty v atmosféře (vlivem skleníkového efektu). Drobné částičky SO₂ v atmosféře ve formě aerosolů totiž odrážejí pouze krátkovlnné sluneční záření, čímž dochází k ochlazení atmosféry. (9)

2.3.5 Přízemní ozon (O₃)

Přízemní neboli troposférický ozon se vyskytuje v těsné blízkosti zemského povrchu. Je opakem životu prospěšného ozonu ve stratosféře.

Troposférický ozon vzniká složitými chemickými reakcemi oxidů dusíku s těkavými organickými sloučeninami za horkých letních dnů a bezvětří, a to především v městských a průmyslových oblastech. Tento plyn má negativní účinky na lidské zdraví, způsobuje podráždění očí a bolest hlavy, podráždění a zánětlivá onemocnění dýchacích cest a zvyšuje riziko astmatických záchvatů. Ve vysokých koncentracích je jedovatý, a protože v těle způsobuje tvorbu volných radikálů, je pro člověka i některé živočichy karcinogenní. (10)

2.3.6 Polyaromatické uhlovodíky (PAH)

Je to skupina látek, která zahrnuje více než sto druhů sloučenin. Ty jsou tvořené uhlíkem a vodíkem a dvěma a více benzenovými jádry. Mohou dlouhodobě přetrvávat v životním prostředí a pro svůj negativní vliv na lidské zdraví jsou vnímány jako typičtí představitelé tzv. perzistentních organických polutantů. Mají významnou vlastnost – vážou se na tuhých částicích nebo sorbentech (souhrnně na částicích prachu) a rovněž se snadno dostávají do živých organismů (tzv. schopnost tzv. bio-akumulace), a to nejsnáze vdechnutím či průnikem do pórů pokožky.

Jejich další významnou vlastností je ale schopnost vytvářet další sloučeniny, které pak mohou mít dokonce mnohonásobně škodlivější účinky (toxické, mutagenní a karcinogenní vlastnosti). Obecně jsou škodlivé a dráždivé pro pokožku a oči, způsobují zvýšenou citlivost pokožky na sluneční záření a zaviňují rakovinu kůže a v případě jejich přijetí s potravou i rakovinu zažívacího traktu. Také způsobují poškození genetických informací buněk DNA. (11)

2.3.7 Polétavý prach

Z hlediska problematiky prachových částic, kterou se zabývá tato práce, se nejedná o prach, který se nám usazuje na nábytku, parapetech a podlaze, a který je viditelný pouhým okem. Ten je totiž tvořen částicemi většími než 30 μm (mikrometrů), které se v běžných podmínkách rychle usazují.

U polétavého prachu jde o malé částice (do 10 μm) výše zmíněných a dalších různých látek uvolněných do ovzduší, jejichž hmotnost je tak nízká, že po vznosu do ovzduší jejich sedimentace na zemský povrch trvá velmi dlouhou dobu. Čím menší jsou částice, tím déle jsou schopny zůstat v ovzduší. Například částice o velikosti 10 μm se v ovzduší vznášejí – poletují několik hodin, zatímco částice o velikosti 1 μm se vznášejí i několik týdnů, než jsou deštěm spláchnuty na povrch. Pro tyto vlastnosti se proto zavedl pojem polétavý prach. (5)

Problematika polétavého prachu se týká volných polétavých částic a aerosolů, které negativně působí na lidské zdraví, a které vznikají při silničním provozu především spalovacími procesy vozidlových motorů. Prachové částice jsou přenosným médiem látek a sloučenin škodlivých pro lidské tělo, stejně tak jsou přenosným a navíc i živným médiem pro škodlivé mikroorganismy. Právě na prachových částicích dochází k transportu těchto škodlivin do lidského organismu, a to nejnáze vdechováním. (12)

2.4 Prachové částice

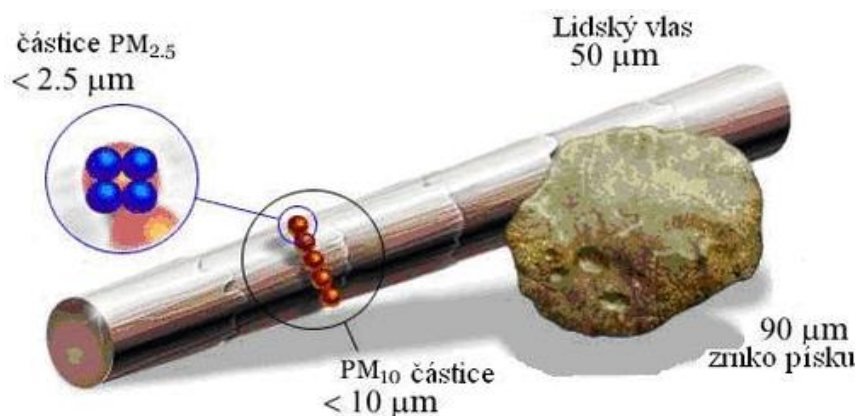
Prachové částice jsou směsí anorganických a také organických látek. Do ovzduší se dostávají vlivem lidské činnosti nebo přírodními procesy. Pro prachové částice je typické široké spektrum velikostí částic. Můžeme je tak dělit do čtyř kategorií dle tvaru a chemického složení, a to na saze, popílek, minerální částice

a ostatní částice. Další dělení prachových částic se odvozuje od charakteristických vlastností částic a to s ohledem na jejich tvar, velikost, hustotu a povrch. (12)

Prachové částice se z hlediska kontroly čistoty ovzduší označují jako PM – anglicky *Particulate Matter*, což volně přeloženo znamená polétavý prach.

Pro označení velikosti částic se za zkratku PM uvádí číslo, které vyjadřuje jejich největší aerodynamický průměr v mikrometrech [μm]. Např. PM_{10} jsou částice do průměru 10 μm , $\text{PM}_{2,5}$ jsou částice do 2,5 μm a tak dále. Prachové částice působící na lidské zdraví (nebo jinak řečeno – škodlivé částice, které mohou proniknout do lidského organismu) se na stupnici PM pohybují právě do velikosti PM_{10} a méně. Obvykle se tak rozlišuje velikost částic PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ a $\text{PM}_{1,0}$. (5)

Porovnání velikosti prachových částic je na následujícím obrázku.



Obrázek 1 – Srovnání velikosti prachových částic (28)

2.4.1 Vznik prachových částic

Prachové částice mohou být přirozeného i antropogenního původu.

A) Přirozený původ

Přirozenými zdroji prachových částic jsou výbuchy sopek, větrné bouře a jimi unášený prach, nebo požáry lesů. Takto vzniklé částice mají obvykle velikost PM_{10} , tedy přibližně 10 μm . Významným zdrojem prachových částic jsou mimo jiné i kapičky mořské vody z příbojů. Směs prachových částic (především PM_{10}) rozptýlených ve vzduchu se nazývá aerosol. Existuje i tzv. bioaerosol, který obsahuje takové organismy, jako jsou bakterie, viry, houby a případně i jejich části, produkty rostlinného a živočišného původu. (13)

B) Antropogenní původ

Antropogenní = člověkem způsobené. Tyto zdroje nabyly na intenzitě začátkem první průmyslové revoluce. Docházelo ke zvyšování životní úrovně lidí, čehož důsledkem byl nárůst znečišťování ovzduší, především s počátkem spalování uhlí a vynálezem parního stroje. Začala se zvyšovat průmyslová výroba, nejprve s použitím menších parních strojů, později začal provoz velkých tepelných elektráren, výtopen, tepláren, dále se přidaly zdroje znečištění jako doprava a spalování ostatních fosilních paliv, v důsledku toho i rafinace ropy a rozšíření chemického průmyslu, vznik skládek odpadu atd. (13)

Dnes jsou jako hlavní zdroj vnímány především spalovací procesy v automobilových motorech, tepelných elektrárnách a při dalších vysokoteplotních procesech (tavení rud a kovů či svařování). Při takových procesech vznikají pevné prachové částice – saze. Mezi další zdroje patří zemědělské práce, jízda po nezpevněných komunikacích, těžba a zpracování nerostných surovin a veškeré další procesy lidské činnosti, při kterých se vyskytují a vznikají prachové částice (např. mletí, broušení, výroba a použití sypkých stavebních hmot jako cement a vápno atd.). Vznik aerosolu může být dále způsoben například odnosem částic větrem ze stavebních ploch nebo z půdy jako důsledek odstranění vegetačního pokryvu. Zdrojem atmosférického aerosolu mohou také být chemické reakce plynných složek emisí (např. oxidu siřičitého s amoniakem), přičemž vznikají částice o průměrné velikosti $300 \text{ nm} = 0,3 \text{ }\mu\text{m}$, tedy $\text{PM}_{0,3}$. (13)

C) Sekundární zdroj

Jako další zdroj se rozlišuje tzv. sekundární prašnost, která se nejběžněji vyskytuje ve městech a v okolí dopravních tras. Vzniká zvířením prachu a vytváří se tak aerosol z částic, které byly již jednou usazeny na zemském povrchu. V městské zástavbě vytváření prašného prostředí způsobují zmíněné procesy jako doprava, stavební činnost, manipulace se sypkými materiály, a to obvykle společně s prouděním větru. Ten může přenášet prachové částice na velké vzdálenosti (důkazem budiž v Evropě pozorovaný občasný spád velice jemného písku ze Sahary). Čím jsou prachové částice menší, tím déle jsou schopny udržet se v ovzduší. (13)

2.4.2 Prachové částice - saze - vznikající provozem spalovacích motorů

Provozem spalovacích motorů dopravních zařízení vznikají vlivem nedokonalého spalování pohonných látek pevné částice – tzv. saze. Saze jsou tmavé prachové částice z nespálených zbytků paliva. Vznikají spalováním organický paliv bohatých na uhlík při nedostatečném množství vzduchu a jsou složeny hlavně z amorfního uhlíku (tj. beztvareho, bez krystalické struktury). (9)

Ke vzniku sazí dochází při spalovacích procesech. U spalovacích motorů je to důsledek nehomogenního rozprášení a promísení paliva se vzduchem a důsledek nedokonalého rozvrstvení této směsi ve válci motoru, což způsobuje, že ne všechny částice paliva shoří ve válci, ale v přeměněné podobě nespálených tuhých a plyných částic vycházejí z válce do výfuku a dále do ovzduší. Problém nedokonalého prohořívání a spálení pohonné směsi se týká nejvíce motorů na kapalná paliva, především pak motorů vznětových. Tvorba sazí je ovlivněna konstrukcí motoru (objemem válců, tvarem spalovacího prostoru, systémem vstřikování paliva, kvalitou paliva, způsobem přívodu vzduchu a jeho kvalitou atd.), technickým stavem motoru a také provozním režimem motoru (studený start – zahřátý motor, nízké otáčky – vysoké otáčky, zatížený – nezatížený). (12)

Saze se obvykle vyskytují v podobě tmavého prachového nánosu, který se hromadí v automobilových výfucích, komínech a na dalších površích, které jsou vystaveny kouři. (9)

2.4.3 Tvar prachových částic

Tvary částic aerosolů závisí na skupenství disperzního podílu. Pro představu – v mlhách mají kapičky kulový tvar (srážkou kapiček dochází obvykle ke splynutí a tvorbě větších kapek). Tuhé částice dýmů mohou mít naopak tvary například destičkovité, hvězdicovité nebo jehličkovité a často se primární agregáty takových částic vyskytují v řetězcích. Ačkoliv je tvar prachových částic značně proměnný, v konečném principu se prachové částice rozdělují dle tvaru na tři základní druhy:

- 1) **izometrické částice** (korpuskulární) – Jejich tvar lze zpodobnit pomocí koule či krychle. V trojrozměrném souřadnicovém systému mají částice rozměry přibližně shodné ve všech osách.
- 2) **ploché částice** (laminární) – Částice mají tvar destiček, šupinek nebo lamel (kupříkladu břidlice, tuha, slída, smalty, nátěrové hmoty, laky apod.).

- 3) **vláknité částice** (fibrilární) – Jeden rozměr je výrazně větší než zbývající dva. Částice mají tvar jehlic, vláken nebo tyčinek (piliny, textilní vlákna, srst). (14)

2.5 Smogová situace

2.5.1 Přirozené proudění vzduchu

Proudění vzduchu je důležitá součást životního prostředí. Proud vzduchu pomáhá hmyzu opylovat kulturní trávy, zemědělské plodiny a mnohé ovocné dřeviny, na nichž závisí výroba potravin a obživa lidí. Proudící vzduch má kladný význam v tom, že přináší vláhu a teplo, odnáší prachové částice z měst a rozptyluje je a snižuje jejich koncentraci na únosnou míru. Prachové částice větrem nezmizí, ale rozptýlí se a sníží se tím jejich koncentrace. Pokud proudí vítr vysokou rychlostí, je to špatné, protože má destruktivní vliv na přírodu a stavby, ale pokud neproudí vůbec, je to také špatně, zejména při inverzi.

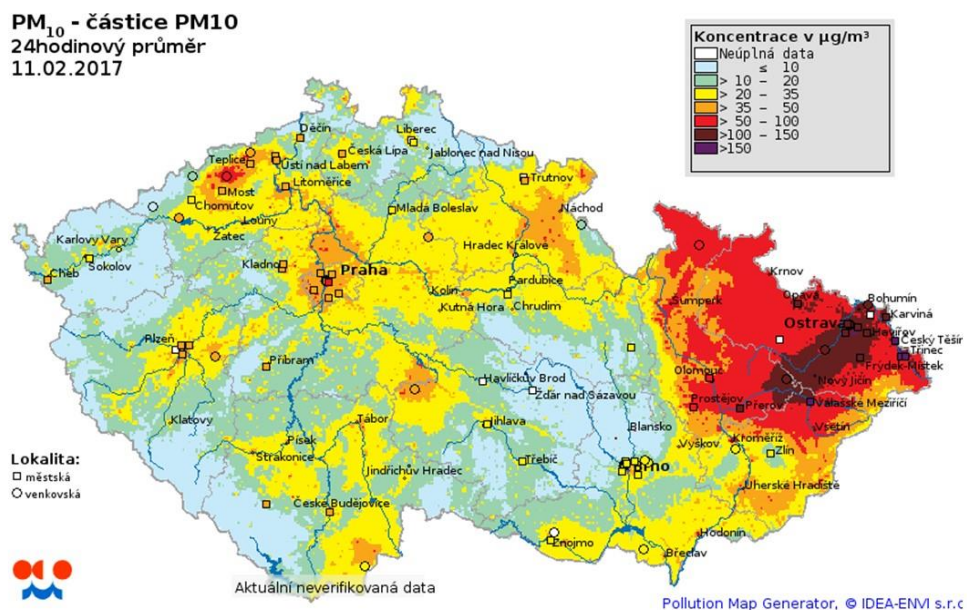
2.5.2 Teplotní inverze

Inverze je meteorologický jev, který se vyskytuje v chladných obdobích. Pokud teplota vzduchu s výškou roste, jedná se o teplotní inverzi. Teplotní inverze je anomální jev. Běžně se nejteplejší vzduch nachází u zemského povrchu a s nadmořskou výškou teplota vzduchu klesá. Při inverzi se však při zemi drží studený vzduch místo teplého, jenž ve výšce většinou vytváří mlžný opar. Inverze se dělí na několik typů, a to podle vzniku. Inverze subsidenční představuje stav, kdy studený vzduch klesá z vyšších vrstev do údolí, kde je uzavřen. Jedním z následků inverze teploty vzduchu je výrazné zvýšení koncentrace prachových částic (například z výfuků vozidel se vznětovými motory a z komínů produkujících spaliny hořením fosilních paliv – především uhlí, ale i dřeva) v nehybné přízemní vrstvě vzduchu. Tento jev vytváří smogovou situaci na rozmanitě velkých plochách, omezeně i v celorepublikovém rozsahu.

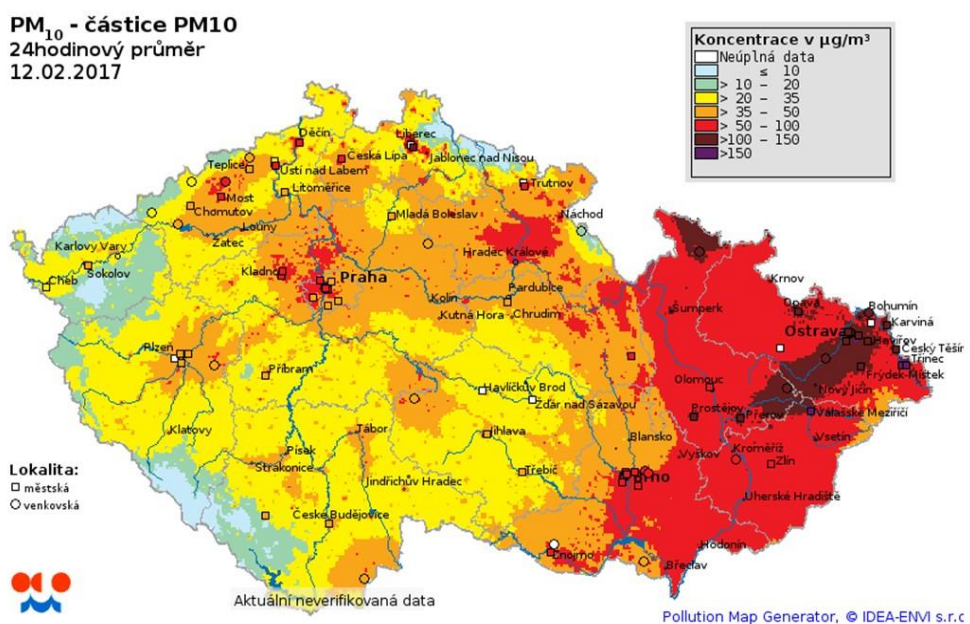
2.5.3 Smog

Pod pojmem smog se rozumí specifický stav znečištění ovzduší, vznikající při nepříznivých meteorologických jevech vzájemným působením vzdušné vlhkosti, prachových částic a ostatních plynných škodlivin. Jedná se o jev, během kterého se do atmosféry dostávají látky, které v ní běžně rozptýlené v tak velké koncentraci nejsou

a které mohou být škodlivé pro zdraví lidí a zvířat. Tento stav je obzvláště nebezpečný pro zdraví obyvatel městských a průmyslových aglomerací, kde je produkce škodlivých látek nejvyšší. Z obrázků 2 – 5 je patrné, jak se dle ČHMI smogová situace v České republice vyvíjela během inverze v období 11. – 14. února 2017.

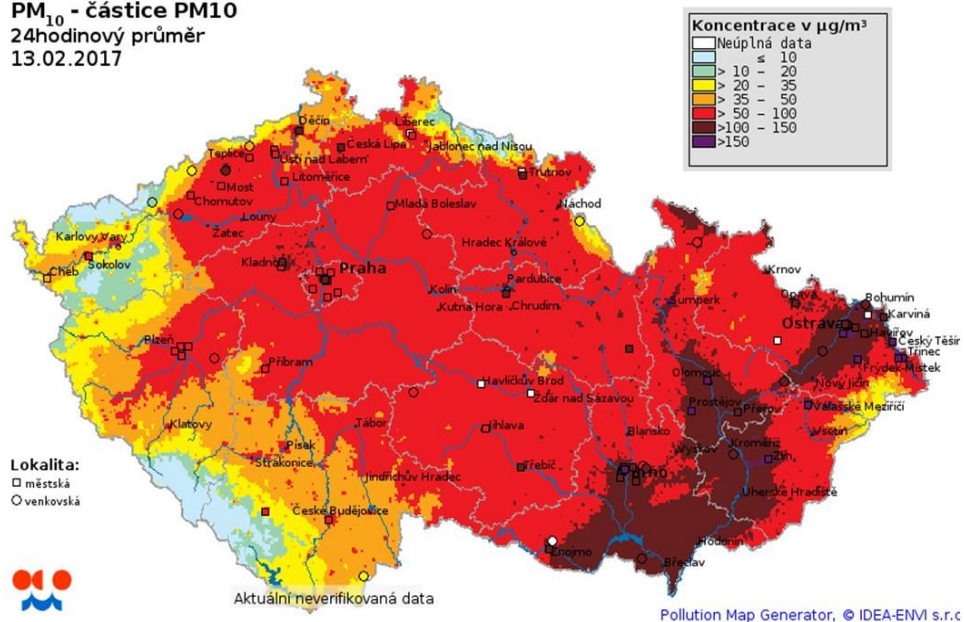


Obrázek 2 – Stav koncentrace prachových částic PM₁₀ dne 11. 2. 2017 (29)



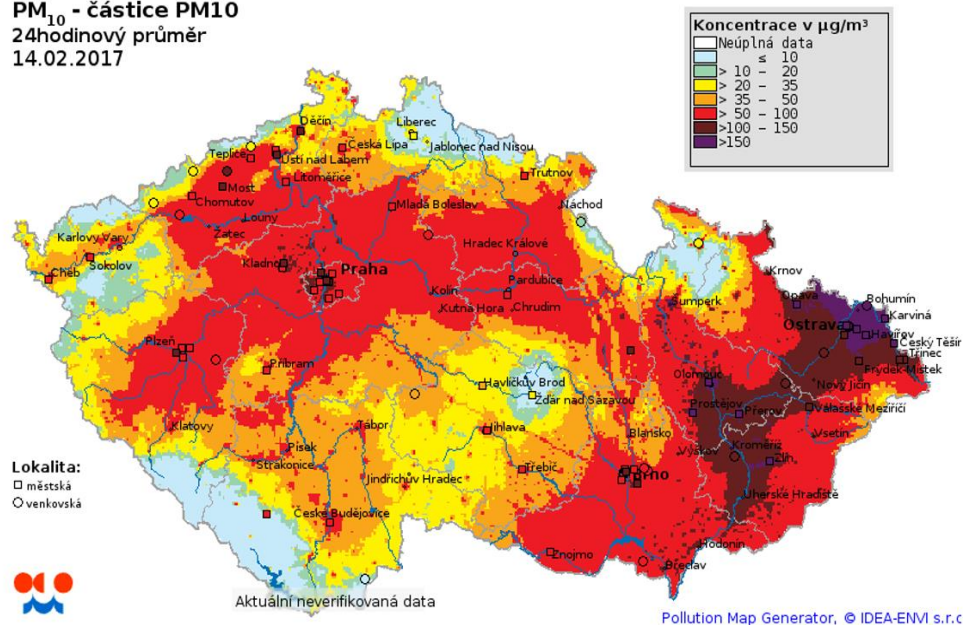
Obrázek 3 – Stav koncentrace prachových částic PM₁₀ dne 12. 2. 2017 (29)

PM₁₀ - částice PM₁₀
 24hodinový průměr
 13.02.2017



Obrázek 4 – Stav koncentrace prachových částic PM₁₀ dne 13. 2. 2017 (29)

PM₁₀ - částice PM₁₀
 24hodinový průměr
 14.02.2017



Obrázek 5 – Stav koncentrace prachových částic PM₁₀ dne 14. 2. 2017 (29)

2.6 Vliv prachových částic na lidský organismus

Prach patří k nejrozšířenějším škodlivinám, se kterými se člověk setkává jak v běžném životě, tak při svých pracovních činnostech. Škodlivé účinky prachu na člověka jsou velmi rozsáhlé a rozmanité. Při jejich hodnocení záleží na původu, vlastnostech a velikosti prachu, na jeho koncentraci v ovzduší, na délce a podmínkách působení i na individuální vnímavosti člověka na prach. V tomto směru působí rozsáhlá legislativa, která zahrnuje předpisy pro pracovní prostředí, venkovní prostředí i vnitřní pobytové prostory. Ovzduší je složka životního prostředí, která je životně důležitá pro člověka a další živočichy. Potřeba vzduchu je u lidí relativně konstantní a pohybuje se v rozmezí 10 – 20 m³ vzduchu pro jednoho člověka na den, přičemž záleží na fyzické konstituci a zátěži.

Do lidského organismu se prach dostává nejnázve respirací, tedy dýcháním. To je zajištěno dýchacím ústrojím. Dále mohou prachové částice do organismu vnikat kožními póry a zde způsobovat různé komplikace. Záleží především na velikosti prachových částic. Čím jsou prachové částice menší, tím snadněji se dostávají hlouběji do organismu a riziko ohrožení lidského zdraví je tak větší.

Částice nad PM₁₀, tedy větší než 10 μm, jsou zachycovány již v horních dýchacích partiích na chloupkách v nose a dále se zachytávají na sliznicích. Zde je přítomný řasinkový epitel, který představuje tzv. mukociliární eskalátor. Činnost celého mukociliárního eskalátorového aparátu představuje pomalý peristaltický pohyb průdušek a epitelových buněk, který slouží k odstraňování hlenu s ulpělým prachem a škodlivinami ze sliznice dýchacích cest. Tato samočisticí funkce je důležitou ochranou dýchacích cest a ochromují ji např. kouření a užívání omamných nebo jinak toxických látek. (15)

Řasinky epitelu kmitají směrem do nosohltanu (tedy v průduškách směrem ven z těla a v nosní dutině směrem dovnitř), takže na nich ulpělé částice prachu jsou nakonec většinou spolknuty, což má význam hlavně u toxických prachů, nebo jsou z těla vypuzovány přirozenými obrannými mechanismy – kýchním, kašláním či smrkáním. (9)

Částice PM₁₀, tedy pod 10 μm, již procházejí přes horní cesty dýchací až do plic a průdušek, kde se usazují. Částice PM_{2,5} se mohou dostat až do průdušinek

a plicních sklípků a způsobit tak zdravotní komplikace. Ještě snadněji a hlouběji do těla, až do krevního oběhu, pronikají částice $PM_{1,0}$. (5)

Částice prachu v plicích škodí mechanickým zaprášením, kdy dochází k jizvení plicní tkáně a snižování její činné plochy. Podobně dochází k poškozování pokožky usazováním prachových částic v pórech a jejich okolí.

Největším problémem působení prachových částic na lidský organismus je ale obsah toxických a rakovinotvorných látek a mikroorganismů vázaných na povrchu prachových částic. Důležitou roli hraje původ částic a jejich chemické složení. Dle velikosti prachových částic se ale nedá odhadnout, které chemické jedovaté látky či mikroby jsou na částice nabaleny a spolu s nimi se dostávají do organismu. Mohou to být např. sírany, dusičnany, anorganické soli či těžké kovy, karcinogenní látky, viry a rostlinné a živočišné produkty, spóry a pyly, které jsou původci mnoha onemocnění. (9)

Nadměrné vdechování polévatého prachu tak může být příčinou zpočátku jen lehkých dýchacích problémů, při delší expozici ale i astmatu, plicních chorob jako například silikóza (zanešení plic křemičitým prachem) či azbestóza, fibróza – vazivovatění plic jako důsledek hojení drobných poranění plicní tkáně částicemi prachu, dále rakovina plic a řady dalších, nejen respiračních onemocnění. Negativně působí prachové částice a na nich obsažené škodliviny i na pokožku a oční sliznici.

Dýchání sazí z tisíců motorů automobilů ve městě je kvůli vysokému obsahu rakovinotvorných látek mnohem nebezpečnější, než vdechnutí rozvířených zrn malých průměrů půdy z polí při procházce přírodou. (5)

2.7 Ovlivnění řidičů prachovými částicemi v kabinách vozidel

Rozdělení prachových částic v silniční dopravě

- I. Prachové částice z vozidel pohybujících po dopravní trase vzniklé spalovacími procesy jejich motorů.
- II. Prachové částice, které vznikly mimo dopravní trasu.
- III. Prachové částice na dopravní trase resuspendované pohybem vozidel. (12)

Na řidiče mají negativní dopad prachové částice nejen z velkých a stálých zdrojů znečištění, ale i prachové částice, které vznikají při jinak běžných pracovních činnostech v dopravě a manipulaci, zemědělské a stavební výrobě, které na dopravních trasách zanechávají stopy znečištění. V tomto případě se jedná o resuspendaci – tedy vznos již sedimentovaných prachových částic a znovuvytvoření prašného aerosolu (například zviřením větrem či při čištění komunikací, projíždějícími vozidly vlivem proudění a turbulencí vzduchu podél vozidel a za nimi a vlivem pohybu kol vozidel). Znovuzviření částic prachu je umožněno kvůli nízké a nestabilní adhezi částic na površích komunikací a jejich okolí. Takové zdroje znečištění obvykle emitují aerosoly, jejichž částice mají poměrně rychlý spad a neudrží se dlouho v ovzduší. I přesto mají dostatek času dostat se do bezprostřední blízkosti řidiče a negativně působit na jeho organismus. (12)

Základem bezpečné jízdy je dodržování pravidel silničního provozu a zásad správného řízení. Na tyto úkony se může řidič plně soustředit jen při plné fyzické a duševní kondici. Ta však může být omezena či ohrožena právě působením prachových částic a dalších znečišťujících látek pronikajících do kabiny vozidla.

Jak uvádí Ing. Ivo Celjak, CSc. v časopisu Komunální technika: „Prach působí na řidiče přímo a nepřímo. Nepřímé působení se projevuje omezením schopnosti vidět vlivem rozptýlených prachových částic v ovzduší a také vlivem usazování prachu na čelním skle z vnější i z vnitřní strany skla. Prach slouží také jako nosič a živné médium pro mikroorganismy. Přímo působí na povrch těla řidiče. Chemicky inertní prach znečišťuje kůži, kterou dráždí a vysušuje, vytvářejí se záněty, ucpávají se kožní póry. Chemicky aktivní prach (například vápno, dezinfekční preparáty) může způsobit popálení nebo poleptání kůže. Dále působí na sliznice – dráždí je a způsobuje záněty, u řidičů zejména očních spojivek. Významné je i působení na dýchací soustavu – při vdechování prachu dochází k zánětům nosní sliznice a průdušek. Prach zde zeslabuje lokální imunitu, a to tím, že vysouší a zahušťuje ochranný hlen a poškozuje funkci řasinkového epitelu.“ (12)

Všechny tyto negativní vlivy na řidičův organismus snadno způsobí nedostatečnou kondici potřebnou k soustředění se na správnou obsluhu vozidla. Snížená schopnost řídit vozidlo je asi nejčastější příčinou vzniku dopravních nehod.

2.8 Eliminace vlivu prachových částic na řidiče – kabinové filtry

Vzhledem k uvedeným negativním vlivům prachu je snaha pokud možno co nejvíce zabránit kontaktu řidiče s prachovými částicemi. V tomto případě je myšlen především vliv na řidiče během jeho přítomnosti v kabině vozidla při provozu.

Přítomnost řidiče v kabině vozidla si vyžaduje vytvoření vhodných podmínek k zajištění co nejlepšího pohodlí pro něj. Jedním z nezákladnějších vybavení kabiny vozidla je proto ventilace a klimatizace, která zajišťuje vhodný přísun čerstvého vzduchu a jeho výměnu. Ventilace rovněž může zajišťovat i ochlazování interiéru vzduchem chlazeným klimatizační jednotkou, nebo vytápění přísunem teplého vzduchu ohřivaného teplovodním výměníkem od motoru či nezávislým topením. Každopádně se ale jedná o to, že čerstvý vzduch je ventilací zpravidla vždy nasáván z vnějšího prostředí vozidla.

Jestliže se ale ve vnějším prostředí vozidla (v ovzduší) vyskytuje polétavý prach a škodlivé látky (na dopravních trasách navíc s vyšší koncentrací), je tedy zřejmé, že je ventilace zákonitě nasaje a dopraví do kabiny vozidla, kde pak mohou negativně působit na řidiče a pasažéry. Proto se jako prostředek pro eliminaci vlivu začaly používat vzduchové filtry, které mají za úkol znečištěný vnější vzduch zbavit škodlivých příměsí.

Takzvanými kabinovými, nebo také pylovými filtry, začali výrobci automobilů vybavovat své vozy přibližně od 90. let minulého století. Cílem bylo nabídnout řidičům a pasažérům větší komfort a ochranu před znečištěným vzduchem, vstupujícím do interiéru přes ventilační a klimatizační systém vozu. V posledních 30 letech se počet alergiků v naší populaci více než zdvojnásobil, přičemž přes 25 % populace je alergických na pyl, prach a další alergeny, které se volně pohybují v ovzduší. Příznaky alergií mohou být za volantem velice nepříjemné a především nebezpečné, jakmile začnou odvádět pozornost od řízení. Proto nejen pro alergiky a astmatiky, ale i pro zdravé pasažéry je účinný kvalitní kabinový filtr klíčovým prvkem přispívajícím k ochraně jejich zdraví a jejich bezpečné a pohodové jízdě. (16)

2.8.1 Druhy kabinových filtrů

Základní rozdělení kabinových filtrů je na klasické papírové filtry a filtry s aktivním uhlím.

Papírový kabinový filtr bývá také označován jako pylový filtr. Tímto filtrem je dnes vybavena většina vozidel. V kabině vozidla je tak oproti vozům bez filtrů daleko menší výskyt prachových částic a celkově je tak interiér výrazně čistější. To má nesporně příznivý vliv na pohodlí řidiče a cestujících.

Uhlíkový kabinový filtr je pokročilejším provedením kabinového filtru. Vlastnosti aktivního uhlí zásadně mění povahu filtrace vzduchu v kabině. Filtr se nejčastěji vyrobí z netkaných textilií a je vyplněn drtí aktivního uhlí. Aktivní uhlí je velmi porézní hmota s velkým povrchem (1 g aktivního uhlí disponuje plochou cca 1 000 m², jedna lžička aktivního uhlí tak představuje přibližně plochu fotbalového hřiště). Díky vlastnostem aktivního uhlí jsou tyto filtry zásadně účinnější a jsou schopny přefiltrovat větší množství vzduchu a zachytit mnohem menší částice, než papírový filtr. (17)

Kromě prachu, pylu a bakterií je filtr schopen zachytit a redukovat jedovaté plyny jako:

- NO₂ (oxid dusičitý)
- SO₂ (oxid siřičitý)
- C₄H₁₀ (butan)
- C₇H₈ (toluen)
- O₃ (přízemní ozon) (18)

2.8.1 Výroba kabinových vzduchových filtrů

Kabinové filtry se vyrábějí v mnoha provedeních z hlediska tvaru, použitého filtračního média a propustnosti. Základem však je vždy co nejvíce zabránit pronikání škodlivin do interiéru vozidla. Kabinové – pylové filtry se většinou umísťují na začátek ventilačního systému, tedy na sací potrubí před ventilátorem, čímž se mimo ochranu posádky vozu zajišťuje i ochrana ventilátoru a ventilační jednotky před znečišťováním a zanášením prachovými částicemi.

Jako filtrační médium se pro kabinové filtry používají různé materiály:

- filtrační papír (karton)
- filtrační tkané a netkané textilie: - z polyesterových vláken
- ze skelných vláken
- filtrační materiály s aktivním uhlím.

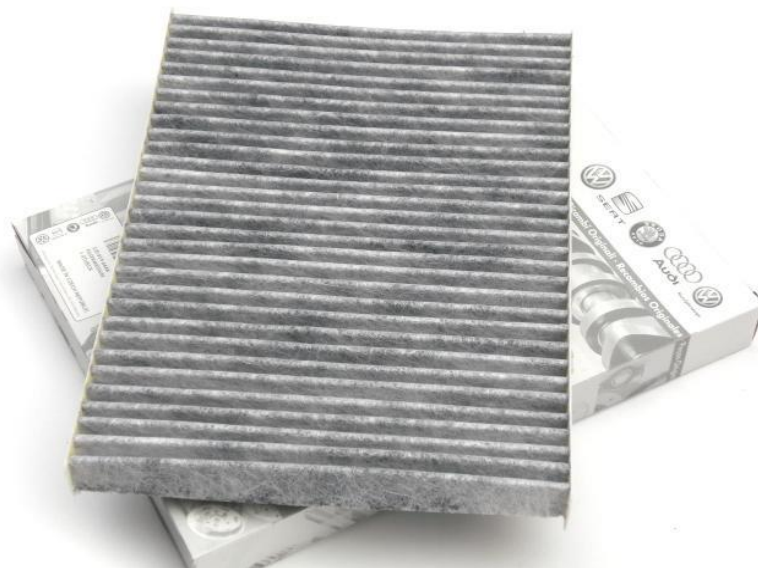
Nejběžněji se využívá filtrační papír (karton) ze speciálního pórovitého recyklovaného papíru, podobně jako u motorových vzduchových filtrů. Jako lepší a účinnější se ukázaly být filtry z umělých tkaných a netkaných textilií, a vůbec nejlepší filtrační schopnosti mají filtry s aktivním uhlím.

Zatímco papírové filtry dovedou zachycovat pevné mechanické částice, filtry z netkaných textilií lze vhodně naimpregnovat určitými látkami, které dokážou vyfiltrovat a eliminovat i různé pachy. Stejněho, ale mnohem lepšího účinku pak dosahují filtry s aktivním uhlím, které skutečně pohlcuje pachové látky a škodlivé chemické látky. Proto se filtry vyrábí i jako vícevrstvé kombinací několika druhů médií (například: papír – tkanina, papír – aktivní uhlí – tkanina, nebo tkanina – aktivní uhlí – tkanina).

Většina kabinových filtrů se vyrábí do podoby harmonikovitě skládané ploché vložky (viz obrázek 6 a 7). Harmonikovitým skládáním se tak dosahuje úspora místa při zachování velké filtrační plochy a navíc tvar skladů napomáhá odlučování a usazování částic pomocí víření vzduchu ve štěrbinách mezi sklady.

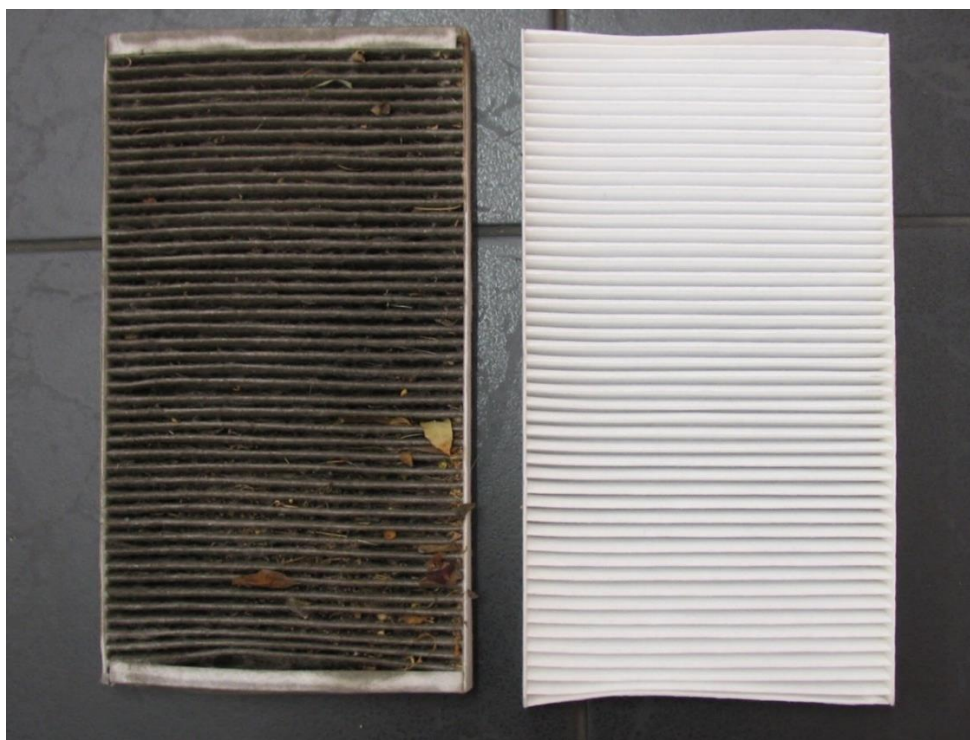


Obrázek 6 – Nový papírový filtr (30)



Obrázek 7 – Nový filtr z netkané textilie s aktivním uhlím (31)

Pro posouzení významu používání kabinových filtrů dokonale postačí porovnání vzhledu nového a použitého filtru (viz obrázek 8). Na tomto obrázku je dobře vidět, co všechno by mohla posádka vdechovat, pokud by nebyl vzduch ventilace čištěn kabinovým filtrem.



Obrázek 8 – Pohled na znečištěný filtr (vlevo) a nový čistý filtr (vpravo) (32)

Filtr by se měl měnit podle míry znečištění, ale obvykle se udává lhůta výměny po nájezdu zhruba do 10 000 km, někteří výrobci udávají i delší lhůty (až 20 000 km). Zanesený filtr snižuje funkčnost ventilace, může poškozovat její komponenty a při určitých klimatických podmínkách může snadněji docházet k zamlžení čelního skla, což je pro dobrou viditelnost, tedy předpoklad bezpečné jízdy, dosti závažný problém.

Výrobou kabinových, ale i dalších automobilových a jiných filtrů se zabývají renomované firmy. Například: Mann + Hummel, Bosch, Febi - Bilstein, Champion, Valeo, Filtron a další.

2.9 Možnosti snižování emisí výfukových plynů

V důsledku snahy o snižování emisí škodlivin ve výfukových plynech automobilových motorů, které vyplývá z nařízení a směrnic Evropského parlamentu a Rady Evropské unie a ze všeobecných snah o neznečišťování životního prostředí, přizpůsobují výrobci automobilů své produkty těmto požadavkům.

Již od zavedení prvních emisních norem (nejprve v USA v Kalifornii roku 1968 a následně zavedením evropské směrnice EHK 15 v roce 1971, která už sledovala složení výfukových plynů), se museli výrobci automobilů přizpůsobit a dodržovat stanovené limity konstrukčními úpravami a to u vznětových i zážehových motorů. V roce 1989 nahradila směrnici EHK 15 vyhláška EHK 83, ze které vycházely další úpravy vyhlášek a stala se základem pro dnes známé emisní normy EURO. (20)

Vznikly tak postupně normy EURO 1 (od července 1992), EURO 2 (leden 1996), EURO 3 (leden 2000), EURO 4 (leden 2005), EURO 5a (září 2009) a EURO 5b (září 2011). V současné době platí pro nově vyrobené automobily emisní norma EURO 6, tedy již šestá revize tohoto emisního předpisu. Platná je od září roku 2014. (19)

Výrobci automobilů se museli začít zabývat možnostmi, jak snížit hodnoty emisí pod stanovenou mez současně platných norem. Vzniklo množství technických doplňků a také konstrukčních změn ve výrobě spalovacích motorů a jejich součástí, které byly následně aplikovány do automobilového provozu.

2.10 Zařízení a systémy pro redukci emisí výfukových plynů

Pro snížení škodlivých emisí ve výfukových plynech jako produktu spalování bylo vyvinuto několik technických prostředků a opatření, které byly postupně zdokonalovány tak, aby splňovaly stále přísnější emisní limity. První emisní normy omezovaly produkci škodlivých plynů oxidů uhlíku a dusíku a uhlovodíků. Teprve později se začaly používat systémy pro eliminaci produkce prachových částic. Vznikly tak systémy pro vznětové, ale i pro zážehové motory. Například oxidační a oxidačně-redukční katalyzátory, systém řízené katalytické redukce, systém recirkulace výfukových plynů EGR, systém řízeného spalování pomocí vstřikování Common-Rail a systém filtrů pevných částic DPF, systém selektivní katalytické redukce SCR za pomoci redukční kapaliny AdBlue (močoviny), či systémy, které kombinují zmíněné způsoby redukce. Ne všechny systémy a technologie se však v současnosti využívají u automobilových motorů. Je to způsobeno jednak tím, že tyto systémy se v podstatě teprve vyvíjejí, dále je zde omezení možností použití (vysoké nároky systémů na prostor, jejich vysoká hmotnost v protikladu ke snaze snižovat hmotnost vozidel, zvýšení spotřeby paliva na úkor snížení emisí, atd.), neustále se mění pohled na ekologii, s čímž souvisí další a další zpřísnování emisních limitů, kterým se musí výrobci vozidel přizpůsobovat.

2.10.1 Redukce škodlivin u zážehových motorů

1) Systém sekundárního (přídavného) vzduchu

Je to systém, u kterého dochází k dodatečné redukci oxidů uhlíku a uhlovodíků exotermickým spalováním ve výfukovém potrubí. Toto se děje pouze při studeném startu zážehového motoru, kdy je nutná tzv. sytá směs (vzduchu a paliva), tedy směs s přebytkem paliva. Tento systém je v činnosti až do dosažení provozní teploty pro činnost katalyzátoru a regulace lambda. Po tu dobu však vzniká velké množství škodlivin. Ke snížení produkce těchto látek už během fáze studeného startu se vhání čerpadlem okolní tzv. sekundární vzduch přímo za ventily do výfukového kanálu. Zde a následně ve výfukových svodech dochází při teplotách nad 600 °C k hoření vhaněného kyslíku a tím k dodatečné oxidaci – dodatečnému spalování škodlivých látek na oxid uhličitý a vodu. Vzniklé teplo z hoření následně zahřívá katalyzátor, čímž zkracuje dobu do spuštění regulace lambda. (21)

2) Systém oxidačního (dvojčinného) katalyzátoru

Oxidační katalyzátor (nazývá se také dvojčinný – redukuje dva druhy škodlivin) se používá u zážehových motorů s přímým vstřikováním paliva, například u FSI motorů koncernu Volkswagen. Ty pracují s tzv. chudou pohonnou směsí, tedy s přebytkem vzduchu. Kyslík potřebný k oxidaci se získá právě z chudé směsi, jejíž přebytek vzduchu oproti obsahu paliva odpovídá hodnotě stechiometrického poměru $\lambda > 1$. V tomto katalyzátoru se oxidací (tzn. spalováním) přeměňují oxid uhelnatý (CO) a uhlovodíky (HC) na oxid uhličitý (CO₂) a vodní páru (H₂O). Redukce oxidů dusíku (NO_x) v oxidačním katalyzátoru prakticky neprobíhá. Oxidační katalyzátory se vzhledem ke zpřísnujícím se limitům emisních norem začaly používat již v roce 1975, kdy byl jako první sériově vybavován tímto zařízením automobil Cadillac Seville. (22)

3) Systém redukčního (zásobníkového) katalyzátoru

Redukční katalyzátor se rovněž používá u zážehových motorů s přímým vstřikem. U těchto typů motorů katalyzátory fungují jen při určitém provozním režimu s tzv. vrstveným plněním směsí. Z toho vyplývá, že v určitých oblastech pracují v režimu částečného zatížení, kdy motor pracuje s velmi chudou směsí – tedy s velkým přebytkem vzduchu ($\lambda > 1$), a tudíž nemůže probíhat redukce oxidů dusíku (NO_x) trojčinným katalyzátorem (ten je umístěn v blízkosti motoru). Proto se ještě za něj zařazuje redukční katalyzátor, kterým je plněna dodatečná úprava oxidů dusíku.

Konstrukce redukčního katalyzátoru je vyřešena obdobně jako u většiny katalyzátorů – sestává z keramického nosiče, na kterém je nanášena vrstva tzv. ukládacího materiálu. Tím může být oxid barnatý (BaO) nebo oxid draselný (KO). Zvláštností tohoto katalyzátoru však je to, že je konstruován jako tzv. zásobníkový. To znamená, že díky přítomnosti kyslíku (obsaženého ve spalinách po spalování chudých směsí) je katalyzátor schopen na svém povrchu nashromáždit oxidy dusíku v podobě dusičnanů. Jakmile se akumulární možnosti katalyzátoru vyčerpají, musí se regenerovat. K procesu regenerace dojde během krátkého přepnutí na provozní režim s bohatou směsí, takže dojde k nárůstu produkce oxidů uhlíku. Dusičnany nashromážděné v katalyzátoru jsou tak redukovány pomocí oxidu uhelnatého (CO) na dusík (N). (22)

4) Systém oxidačně-redukčního (trojčinného) katalyzátoru

Jedná se o kombinovaný systém redukce škodlivin ve výfukových plynech, který se v současnosti používá u všech vyráběných automobilů se zážehovými motory. Nazývá se trojčinný, nebo také trojcestný (podle anglického TWC – three way catalyst). Trojčinný proto, že způsobuje oxidaci tří druhů škodlivin a to oxidu uhelnatého (CO) a nespálených uhlovodíků (HC), které přemění na oxid uhličitý a vodní páru, a také štěpí oxidy dusíku (NO_x) na volný dusík a kyslík.

Procesy oxidace v trojčinném katalyzátoru je třeba provádět s co nejvyšší účinností, které se dosáhne řízením složení pohonné směsi paliva a vzduchu tak, aby bylo neustále blízké hodnotě $\lambda = 1$, což odpovídá směšovacímu poměru (stechiometrický poměr) palivo : vzduch 1 : 14,8. Tedy na 1 hmotnostní jednotku paliva připadá až 14,8 jednotek vzduchu. O regulaci správného směšování v závislosti na režimu chodu motoru a provozní teplotě se stará řídicí jednotka vyhodnocováním signálů od čidla přítomnosti kyslíku ve výfukových plynech, tzv. lambda sondy. Takový systém oxidace škodlivých látek se nazývá řízená katalytická redukce. (22)

5) Systém zpětného vedení (recirkulace) výfukových plynů (EGR)

Tato metoda se používá u zážehových motorů s přímým vstřikováním paliva, které pracují s chudou směsí (s přebytkem vzduchu). Recirkulace výfukových plynů EGR (anglicky Exhaust Gas Recirculation) funguje na principu nasávání výfukových plynů zpět do pracovního prostoru motoru, kde se opět zúčastní spalovacího procesu. Tímto způsobem se redukuje vznik oxidů dusíku (NO_x). Celkově tak je v nasávaném vzduchu nižší podíl kyslíku. Důsledkem toho jsou v průběhu spalování nižší teploty a tedy i nižší produkce oxidů dusíku, jež vznikají především za vysokých teplot. Zpětné nasátí spalin do válce se dá konstrukčně vyřešit pomocí tzv. EGR ventilu, který je umístěný blízko za výfukovými svody a přepouští část spalin do potrubí, které je přivádí do mezichladiče a dále do sacího traktu motoru (tzv. vnější recirkulace). Regulace ventilu je ovládána řídicí jednotkou v závislosti na otáčkách a zatížení motoru, tlaku okolního vzduchu a teplotě motoru. Množství recirkulovaných plynů se u zážehových motorů pohybuje v rozmezí 10 – 20 % z objemu nasávané směsi. Dalším technickým řešením je možnost nasávat část spalin vhodným časováním rozvodů výfukových ventilů tak, že se původně pístem vytlačované spaliny nasají stejnou cestou zpět do válce při sacím zdvihu pístu přes výfukové ventily, které se

zavírají o něco později (tzv. vnitřní recirkulace). Zde však nemůže docházet k ochlazení recirkulovaných plynů pomocí tepelného výměníku – mezichladiče. Absencí zchlazení spalin je tak logicky účinek snižování produkce oxidů dusíku nižší. (23)

Skutečné využití systému EGR u zážehových motorů však zatím není v praxi u motorů osobních automobilů motorů příliš běžné.

6) Systém DeNO_x selektivní katalyzace (SCR) pro zážehové motory

Při použití klasického trojčinného katalyzátoru pracuje motor s nasávanou směsí o stechiometrickém poměru $\lambda = 1$. Jelikož motory s přímým vstřikováním paliva pracují s hodnotou $\lambda > 1$ (chudá směs), dochází při spalování ke zvýšení produkce oxidů dusíku (NO_x). Aby tedy mohla probíhat redukce škodlivých látek, je v katalyzátoru jako redukční prvek kromě platiny (Pt) použito také iridium (Ir). V podstatě se jedná o konstrukci trojčinného katalyzátoru, u kterého je redukční účinek výrazně zvýšen nahrazením rhodia (Rh) jinou látkou, zpravidla právě iridiem.

Iridium má tu vlastnost, že dokáže pracovat s vyšší účinností, než rhodium, které se jinak používá u trojčinných katalyzátorů pracujících bez zbytkového kyslíku ve výfukových plynech. Redukční proces je navíc v katalyzátoru podporován dodatečně zvýšeným obsahem nespálených složek, tedy uhlovodíků (HC) a oxidu uhelnatého (CO). To je zajištěno kupříkladu obohacením směsi při akceleraci ($\lambda < 1$), zmenšením úhlu předstihu, čímž se uměle zhorší spalování ve válcích, nebo dodatečným vstříkem paliva po jeho shoření. Zde jde o vstříknutí jen nepatrného množství paliva, tak aby nedocházelo ke zbytečnému zvyšování spotřeby a také aby se teplota katalyzátoru udržovala ve vyhrazených mezích. Tento typ katalyzátoru je citlivý na obsah síry v palivu, a proto se využívá především v zemích, které disponují palivem s nízkým obsahem síry (například v Japonsku). (24)

2.10.2 Redukce škodlivin u vznětových motorů

1) Systém zpětného vedení (recirkulace) výfukových plynů (EGR)

Použití systému EGR je jednou z možností, jak snížit emise škodlivin ve zplodinách vznětových motorů. Princip činnosti je obdobný jako při použití EGR u zážehových motorů s přímým vstřikováním paliva (viz výše), protože vznětové motory také pracují s chudou směsí. Oproti zážehovým motorům však u motorů

vznětových může podíl recirkulovaných spalin být až 50 %. Část výfukových plynů se po otevření ventilu EGR odvádí potrubím zpět do sběrného potrubí před sací kanály a dále do spalovacího prostoru, čímž se redukuje vznik dalších oxidů dusíku (NO_x) (v nasáté směsi vzduchu a spalin je menší podíl kyslíku – výsledkem jsou nižší teploty v průběhu spalování = nižší produkce oxidů dusíku). Systémy EGR používá v současnosti většina vznětových motorů osobních a dodávkových vozů, které splňují minimálně normu EURO 4. (22)

Výhodou EGR systému je skutečnost, že redukuje vznik emisí přímo v místě jejich vzniku, tedy ve spalovacím prostoru. Nevýhodou však je, že se tím zvyšuje tvorba sazí – pevných částic, a navíc dochází k mírnému zvýšení měrné spotřeby paliva (oproti stejnému motoru bez EGR). Dochází k tomu kvůli omezenějšímu množství kyslíku a lze tak spálit nižší hmotnostní množství paliva. Z toho vyplývá, že vznikne méně tepla, respektive se uvolní méně energie, která musí být pro dosažení požadovaného výkonu motoru vykompenzována právě zvýšenou dávkou paliva. (22)

V současné době se k plnění emisních norem (týká se především redukce pevných částic) používá soustava EGR + DPF, tedy recirkulace výfukových plynů + filtr pro zachytávání a snižování emisí pevných částic. Nutnost eliminace sazí je nanejvýš jasná, neboť systém EGR sice sníží emise dusičnanů, ale na úkor zvýšení emisí pevných částic. Konkurencí tohoto systému je soustava systémů DPF + SCR, tedy selektivní katalytická redukce s močovinou AdBlue + filtr pevných částic, zatím se však používá převážně u velkých motorů autobusů a nákladních vozů.

2) Systém oxidačního katalyzátoru (DOC)

Jedná se o oxidační katalyzátor. DOC (anglicky Diesel Oxidation Catalyst) je obdobou dvojčinného katalyzátoru pro zážehové motory, tedy rozkládá dva druhy škodlivin, a to oxid uhelnatý (CO) a nespálené uhlovodíky (HC) na oxid uhličitý (CO_2) a vodní páru (H_2O). Účinnost katalyzátoru stoupá s jeho narůstající teplotou, respektive s teplotou výfukových plynů, přičemž minimální teplota potřebná pro průběh katalyzace je přibližně $200\text{ }^\circ\text{C}$. Poté již může probíhat kvalitní přeměna oxidu uhelnatého (CO) a uhlovodíků (HC) v oblasti středních až vysokých teplot (kolem $200 - 600\text{ }^\circ\text{C}$). Je-li teplota katalyzátoru dostatečně vysoká, dochází i k dodatečnému spalování prachových částic (PM), a to díky přebytku kyslíku ve výfukových plynech (neboť motor pracuje s chudou směsí). Spalováním se redukuje velikost prachových

částic, popřípadě nejmenší částice úplně shoří. Tento katalyzátor se vyrábí s kovovým nosičem. (25)

3) Systém katalyzátoru typu D

Tyto katalyzátory se na trhu objevily relativně nedávno. Vyrábí je kanadská firma Nett Technologies Inc. Katalyzátory typu D jsou řešeny jako oxidační s keramickým nosičem, ale jsou schopny být v činnosti již při nízkých teplotách výfukových plynů, tedy prakticky hned po nastartování motoru. Mimo jiné katalyzační prvky obsahují nosiče v mezivrstvě i zeolity (hlinitokřemičité minerály s vysoce porézní strukturou). V době, kdy nemají spaliny dostatečně vysokou teplotu, zeolity na sebe vážou nespálené uhlovodíky (HC). K tomu dochází především při nízkých otáčkách motoru, například při stání na volnoběh. Když pak ale dojde k nárůstu teploty výfukových plynů, začnou se uhlovodíky z pórů zeolitu uvolňovat a dodatečně v katalyzátoru zoxidují. Mechanismus tohoto katalyzátoru připomíná funkci redukčního zásobníkového katalyzátoru pro zážehové motory. Díky vysoké účinnosti již od nízkých teplot se tyto katalyzátory dají dobře použít tam, kde vadí typický dusivý zápach vznětového motoru, který způsobují právě oxidy dusíku (NO_x). (25)

4) Systém selektivní katalytické redukce (SCR) s redukčním činidlem AdBlue

Selektivní katalytická redukce (SCR) je technologie snižující především obsah oxidů dusíku ve výfukových plynech. Je založena na využití reakce oxidů dusíku (NO_x) za přidání amoniaku (NH_3) v přítomnosti katalyzátoru. Výsledným produktem reakce sloučenin jsou volný dusík (N) a vodní pára (H_2O), tedy neškodné látky. Jak bylo řečeno, amoniak – neboli čpavek (NH_3) musí být k reagujícím látkám přidán. Toho se dosahuje vstříkáváním redukčního kapalného činidla (32,5 % vodného roztoku syntetické močoviny – obchodní název AdBlue) do horkých výfukových plynů. Teplem se AdBlue rozloží na amoniak a pomocí látek v katalyzátoru dojde k redukci škodlivých dusičnanů. Pro rozklad močoviny na amoniak je nutné, aby měly výfukové plyny dostatečnou teplotu, proto nemůže selektivní katalytická redukce probíhat hned po startu motoru, stejně tak probíhá katalytická reakce správně až při dosažení správných provozních teplot samotného katalyzátoru. (22)

Součástí technologie SCR musí nutně být zařízení pro snižování emisí pevných částic (PM). Pro tento účel se používají filtry pevných částic (DPF). V praxi je tento systém řešen tak, že ve směru toku výfukových plynů je filtr pevných částic umístěný

před katalyzátorem SCR. Nejprve tak dojde k očištění výfukových plynů od sazí ve filtru DPF a následně procházejí procesem selektivní katalytické redukce. Takto uspořádaný systém má velké nároky na prostor a je celkově těžší, než systém soustavy EGR + DPF. Proto se používá převážně u velkých vozů nákladní a hromadné dopravy. I přesto se v poslední době se s tímto systémem můžeme setkat už i u některých osobních automobilů. Například koncern Volkswagen Group aplikuje tuto technologii do některých vozidel v rámci velmi úsporných a ekologických verzí pod označením Bluemotion.

5) Systém filtrů pevných částic (DPF)

V současnosti již všechny nově vyrobené vznětové motory musí být vybaveny filtry pevných částic, což jsou technická zařízení, jejichž úkolem je, jak již název napovídá, vyfiltrovat z výfukových plynů pevné prachové částice.

Velmi zjednodušeně se dá takový filtr připodobnit velmi jemnému sítu, přes které proudí spaliny a zachytí se na něm částice prachu, které jsou větší než částice plynů. Pro tyto filtry se obecně používá zkratkové označení DPF – anglicky: Diesel Particulate Filter, nebo také FAP – francouzsky: Filtre à Particules.

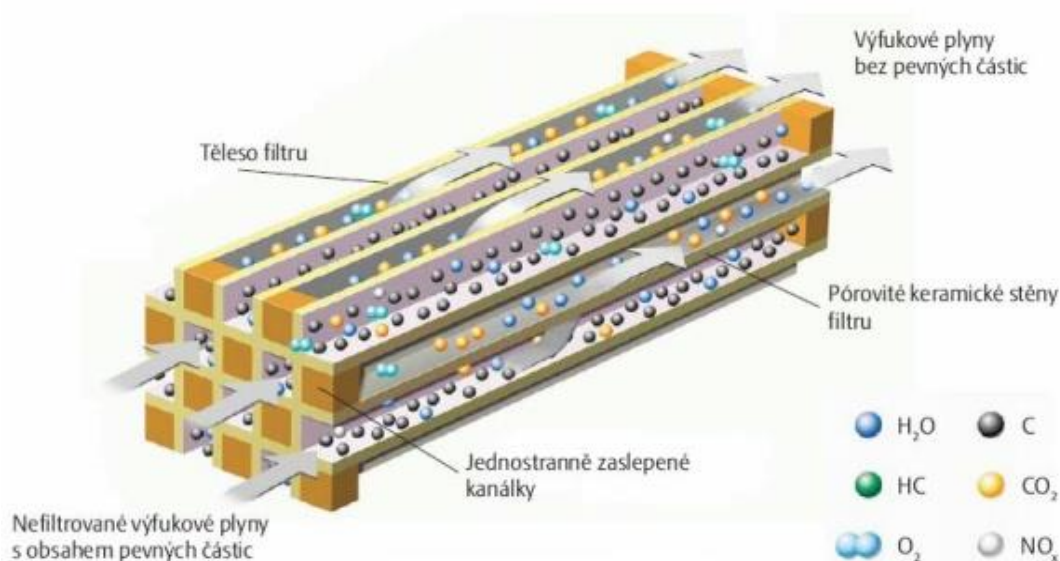
Filtr funguje na principu oddělení pevné látky od plynu na porézní přepážce. Poréznost přepážky – tedy stěny filtru umožňuje průchodnost částic látek svými póry dle jejich velikosti, to znamená, že je schopen propouštět částice do velikosti rozměrů svých pórů. Částice přesahující svou velikostí rozměry pórů filtrem neprojdou a zachytí se. Pevné prachové částice ve výfukových plynech mají mikroskopické rozměry (přibližně do 10 μm – polétavý prach) a tudíž musí být na výrobu filtrů použit takový materiál a použita taková technologie, které vytvoří vysoce porézní a dobře propustný povrch, aby mohly výfukové plyny dobře prostupovat filtrem, a zároveň aby póry filtru měly takovou velikost, aby byly schopné zachytit co nejjemnější částice.

Pro tento účel se jako vysokoporézní materiál používají nejčastěji karbid křemíku (SiC), keramické materiály, nebo do monolitu tkaná velmi jemná kovová vlákna. (26)

Filtry jsou konstruovány tak, že vlastní blok filtrační vložky je umístěn do pouzdra z korozivzdorného a žáruvzdorného plechu. Toto pouzdro (obvykle válcového nebo oválného tvaru) je opatřeno tzv. nátrubky na vstupu a výstupu, které

slouží pro připojení výfukového potrubí. Celý filtr je opatřen několika senzory pro sledování tlaku plynů před a za filtrem (tzv. diferenční tlak) a pro sledování teploty.

Filtrace probíhá prouděním výfukových plynů přes póry vlastní filtrační vložky. Ta je vyrobena do bloku s tzv. voštinovou strukturou, která obsahuje stovky drobných kanálků obvykle čtvercového průřezu. Kanálky jsou na začátku a na konci střídavě zaslepeny a stěny kanálků jsou porézní a právě jimi se výfukové plyny přefiltrovávají. Plyny vstupují do přírodních kanálků (otevřených proti směru toku) a skrze jejich pórovité stěny prostupují do prostoru odváděcích kanálků (s konci otevřenými ve směru toku plynů). Názorný příklad viz obrázek 9.



Obrázek 9 – Řez voštinami filtrační vložky a znázornění mechanismu filtrace (33)

Z obrázku je patrné, že prachové částice odloučené od výfukových plynů se budou ukládat v kanálcích filtru. Časem by tak došlo k jeho úplnému zaplnění a zneprůchodnění a téměř by znemožnil chod motoru. Stupeň ucpání filtru sleduje řídicí jednotka přes senzory tlaku před a za filtrem – tzv. diferenční tlak. Proto se musí čas od času nahromaděné nespálené částičky zredukovat. K tomu dochází při tzv. regeneraci. Regenerace je děj, při kterém se zvýšením teploty pevné částice dodatečně spálí na látky, které již mohou projít póry filtru. Nebo se po demontáži filtru ve specializovaném servisu odstraní mechanicky nebo chemicky.

Regenerace filtru probíhající na vozidle se obvykle provádí právě zvýšením teploty spalin nad 600 °C, při které pevné částice během několika minut shoří

a přemění se na plynné látky a malé množství popílku. Ke zvýšení teploty dochází za provozu motoru úpravou spalovacího procesu ve válcích (zpožděním nebo znásobením vstříku – umožněno technologií Common-Rail), kdy část ještě hořících spalín z válce expanduje do výfuku, proto se filtr umísťuje blíž k motoru, aby se zvýšení teploty dosáhlo snadněji. Také se může pro zvýšení teploty spalín přidávat do paliva speciální aditivum, nebo se před filtr vstřikuje palivo, které se teplem vznítí a shoří společně s částicemi. Existují i filtry vyhřívané elektrickou topnou spirálou. Vložky filtrů se také někdy potahují vrstvou katalytických látek, které oxidují s pevnými částicemi a lépe tak dochází k rozpadu pevných částic. (26)

Životnost filtru je ale omezena stylem provozu. Při delších jízdách, kdy motor pracuje v oblasti středních otáček a na vyšší převodové stupně, se snadněji dosáhne podmínek vhodných k regeneraci filtru (ustálená provozní teplota a vyšší zátěž motoru). Zatímco při krátkých městských jízdách, častých rozjezdech a častém stání na volnoběh, stejně tak, jako při jízdě na plný výkon, se správných podmínek nedá dobře dosáhnout. Filtr se navíc zanáší mnohem více, řídicí jednotka dává častěji povel k regeneraci a tudíž se i častěji stane, že řidič proces regenerace nevědomky přeruší vypnutím motoru. Životnost běžného filtru pro osobní automobily se tak pohybuje dle stylu jízdy od cca 80 000 do 200 000 km. Závisí to také na druhu filtru – zda pracuje s aditivem nebo bez aditiv. Filtry bez přídavného aditiva by měly teoreticky vydržet po celou dobu životnosti motoru, neboť v nich dochází ke katalytické přeměně bez nespálených částic (popílku). Ve filtrech s aditivem se naopak díky nim stále ukládá malé množství jemného prachu a popílku. Takové filtry by měly při optimálním způsobu provozu vydržet asi 120 000 – 180 000 ujetých kilometrů. (26)

3. Metodika měření

Bylo provedeno měření hmotnostní koncentrace prachových částic ve výfukových plynech vznětových motorů osobních automobilů. Měřilo se přístrojem na měření hmotnostní koncentrace aerosolů Dust TRAK 8530 od firmy TSI a měření probíhalo na automobilech se vznětovými motory různých emisních kategorií EURO. K měření byl experimentálně použit přípravek vlastní výroby pro vedení výfukových plynů – měřicí stanice.

Metodika měření vychází ze skutečnosti, že výfukové plyny vzniklé při spalovacím procesu ve vznětových motorech obsahují prachové částice. Při proudění této směsi výfukovým potrubím jsou částice prachu stále v tzv. vznosu, tedy nejsou uloženy na povrchu (na podložce). Aerosol = v plynném prostředí rozptýlené prachové částice. Takto rozptýlené částice je schopen změřit právě přístroj pro měření hmotnostní koncentrace prachových částic v aerosolech.

3.1 Cíl měření

Cílem měření bylo zjistit přítomnost a hmotnostní koncentraci tří různých velikostních frakcí prachových částic ve výfukových plynech unikajících do ovzduší na konci výfukového potrubí, které vznikají při provozu automobilových vznětových motorů různých emisních kategorií EURO.

Dílním významem měření bylo zjištění případné možné rozdílnosti produkce prachových částic, a tedy i rozdílnosti zdravotní zavadlosti vznětových motorů různých emisních kategorií, a poukázání na míru škodlivosti vůči životnímu prostředí v důsledku produkce prachových částic.

3.2 Materiály a podmínky k měření

- 1) Přístroj na měření hmotnostní koncentrace aerosolů Dust TRAK 8530 od firmy TSI s příloženými nastavci impaktorů pro měření různých velikostních frakcí PM (nastavce pro PM_{10} , $PM_{2,5}$ a $PM_{1,0}$).
- 2) Automobily se vznětovými motory vybraných emisních kategorií EURO se zdvihovým objemem v rozmezí 1,6 – 2,0 litru, zahřátými na provozní teplotu (teplota chladicí kapaliny: 80 – 90 °C) a běžícími při volnoběžném chodu (800 – 900 ot · min⁻¹).

3) Speciální experimentální přípravek (měřicí stanice) pro vedení exhalátů od výfuku ke kalibračnímu impaktoru měřicího přístroje a podpěra pro upevnění impaktoru.

3.2.1 Přístroj pro měření aerosolů Dust TRAK 8530

Měřicí přístroj DUST TRAK 8530 (viz obrázek 10) vyrábí firma TSI Incorporated v USA. Tento přístroj je určený k měření prachových kapalných i tuhých částic v plynném prostředí. Díky vyměnitelným impaktorům může přístroj měřit prachové částice o velikosti PM10, PM2,5 a PM1,0. Vstupním zařízením přístroje je tedy impaktor, který zachycuje odlučované frakce prachu. Měření funguje na principu odrazu laserového paprsku od částic, které projdou impaktorem dále do měřicí buňky a následně dojde k elektronickému vyhodnocení. Naměřené hodnoty se zobrazí na displeji přístroje a rovněž jsou uloženy do paměti přístroje. Přístroj na displeji zobrazuje minimální, maximální a průměrné naměřené hodnoty. Dále zobrazuje graf průběhu záznamu měřených hodnot. Přesnost měření se při nastaveném průtoku $3,0 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ pohybuje okolo $0,001 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Přístroj může zaznamenávat naměřené údaje po dobu 45 dní v jednodominutových vzorcích. 60 sekundový interval se pro měření používá nejčastěji, ale může se nastavit i interval jiný, stejně tak se může nastavit i jiný průtok vzduchu. Rozměry přístroje jsou cca $30 \times 30 \times 25 \text{ cm}$.



Obrázek 10 – Přístroj Dust TRAK 8530 pro měření aerosolů od firmy TSI (34)

3.2.2 Meteorologické podmínky pro měření na volném prostranství

Při měření aerosolů přístrojem Dust TRAK 8530 v ovzduší, tedy při měření na volném prostranství, musí být dodrženy tyto podmínky:

- rychlost větru: nižší než $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- teplota okolí v úrovni měření: $+15$ až $+30 \text{ }^\circ\text{C}$
- relativní vlhkost: $20 - 45 \%$
- součin teploty vzduchu ($^\circ\text{C}$) a relativní vlhkosti (%) musí být vyšší než 500
- měření nesmí probíhat za podmínek teplotní inverze
- měření nesmí probíhat za mlhy
- při měření a před měřením se nesmí vyskytovat srážky (27, 2)

3.2.3 Vyloučení povětrnostních vlivů – měření s přípravkem (měřicí stanici)

Vzhledem k výše uvedeným meteorologickým podmínkám, které je nutné dodržet při měření na volném prostranství, je měření s přístrojem Dust TRAK 8530 značně omezené. Proto byla snaha vytvořit uměle takové podmínky, které by nebyly závislé na rozmarech počasí.

Pro tento účel jsem navrhl a sestrojil experimentální přípravek – měřicí stanici. Ta plní funkci mechanické bariéry, která odděluje prostředí s obsahem výfukových plynů (ve kterém probíhá měření) od okolního prostředí, ve kterém mohou působit nežádoucí povětrnostní vlivy. V podstatě jde o umělé prodloužení výfukového potrubí. K tomuto účelu je použito potrubí s dostatečnou délkou, které se připojí na konec automobilového výfuku. Při chodu motoru proudí z výfuku do připojeného potrubí exhaláty, které jím procházejí (vznikne zde prostředí neovlivněné vnějším okolím), dojde ke zpomalení proudění a na jeho konci volně unikají do ovzduší. Do tohoto uměle vytvořeného prostředí uvnitř potrubí se zavede příslušný nástavec kalibračního impaktoru propojený hadičkou s měřicím přístrojem a může se přistoupit k vlastnímu měření.

Experimentální přípravek – měřicí stanice – sestává ze základny, na kterou je připevněno kovové potrubí. Kovové je proto, aby se eliminoval možný vliv elektrostatických jevů, které by při použití např. plastového potrubí mohly značně zkreslovat měření. Potrubí je na vstupu navíc opatřeno textilní prachovkou se zdrhovadlem k těsnému připojení na výfuk. Pro konstrukci měřicí stanice jsem zvolil běžně dostupné materiály. Jako základnu jsem použil dřevěnou desku, potrubí je

hliníková flexibilní vzduchotechnická roura \varnothing 80 mm, připevnění potrubí k desce je provedeno plastovými pásky a vruty s podložkou. Prachovka se zdrhovadlem pro těsné připevnění k výfuku je z kusu džínového plátka a provázku. Pro upevnění a zavedení kalibračního impaktoru s propojovací hadičkou jsem rovněž vyrobil speciální podpěru. Je vytvarována z ocelového drátu \varnothing 3 mm a její délka umožňuje zavedení impaktoru s propojovací hadičkou cca 50 cm do potrubí. Tuto vzdálenost jsem určil experimentálně několika měřicími pokusy a při této hloubce v potrubí nemůže dojít k ovlivnění měření okolními povětrnostními jevy. Sestava měřicí stanice, drátěné podpěry s impaktorem a měřicím přístrojem Dust TRAK 8530 je na obrázku 11 a 12.



Obrázek 11 – Měřicí stanice s přístrojem Dust TRAK 8530 a s impaktorem (J.K.)



Obrázek 12 – Měřicí stanice s impaktorem zavedeným do potrubí (J.K.)

3.3 Postup měření

Měření bylo provedeno přístrojem na měření hmotnostní koncentrace aerosolů Dust TRAK 8530 od firmy TSI. Měření probíhalo na osobních automobilech různých výrobních značek, se vznětovými motory o zdvihovém objemu válců v rozmezí 1,6 – 2,0 litru, a to při volnoběžných otáčkách ($800 - 900 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$) a při provozní teplotě motorů (teplota chladiva: $80 - 90 \text{ }^\circ\text{C}$). K měření byl experimentálně použit přípravek pro vedení výfukových plynů – měřicí stanice – vlastní výroby.

3.3.1 Obsluhování měřicího přístroje Dust TRAK 8530

- Před měřením musí být dostatečně nabitý elektrický akumulátor přístroje.
- Stiskem tlačítka „Start“ se přístroj aktivuje, na displeji se zobrazí firemní logo TSI. Následuje zobrazení hlavní obrazovky Main. Pomocí přiloženého stylusu nebo dotykem lze na LCD displeji zvolit políčko Setup, čímž se aktivuje nastavovací Setup Menu s ikonami nastavovacích políček a s informacemi o přístroji.
- Před každým měřením je třeba provést tzv. kalibraci nuly. Při tom je nutné, aby byl na vstup nasazený nulovací filtr, který je přiložen k přístroji. V Setup Menu se zvolí políčko Zero Cal, kterým se zvolí režim kalibrace přístroje.
- Zahájení kalibrace se musí potvrdit dotykem na zelené políčko Start. Zobrazí se nápis „Zero calibration is in proces“. Kalibrace trvá 60 sekund, po jejím skončení se na displeji zobrazí nápis Zero Cal Complete. V případě, že se zobrazí jakýkoliv jiný nápis, je třeba kalibraci zopakovat, neboť se nezdařila.
- Po skončení kalibrace se odpojí nulovací filtr. Nyní je přístroj zkalibrovaný a je připravený k použití.
- Políčkem Run Mode se aktivuje obrazovka s další sadou tlačítek. Nastaví se datum a další požadované údaje týkající se měření (interval, celková doba měření atd.). Pro měření byl zvolen interval 60 sekund. Ten se nastaví dotykem příslušných políček. Přístroj umožňuje záznam dat 45 dní v minutových intervalech.
- Na vstup se nasadí propojovací hadička, na jejímž konci je nástavec a na něm nasazený impaktor příslušné měřené frakce PM, který obsahuje horní část s číselným označením velikosti měřených částic. Uvnitř impaktoru je záchytná destička, spodní část je přizpůsobena k těsnému nasazení na nástavec na hadičce (těsnění pryžovým kroužkem). Horní a spodní část impaktoru je spojena závitem.
- Impaktor s hadičkou se zavede do prostředí s obsahem prachových částic, ve kterém bude probíhat měření.

- Dotykem se zvolí políčko Main (hlavní obrazovka) v levém dolním rohu displeje.
- Spuštění měření se aktivuje dotykem na zelené políčko Start. Přístroj začne zobrazovat číselné hodnoty koncentrace prachových částic v $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, v levém dolním rohu je odpočítávána doba měření, která je nastavena na 60 sekund.
- Po skončení měření se dotykem na políčko Stats zobrazí naměřené hodnoty minimální, maximální a průměrné.
- Dotykem na políčko Graph se zobrazí graf, na jehož vodorovné ose je vyznačen čas v sekundách a na svislé ose jsou hodnoty koncentrace prachových částic.
- Zvolením políčka Data lze zobrazit aktuální naměřené hodnoty a uložit je do paměti přístroje.
- Před dalším měřením je třeba provést kalibraci nuly.
- Vypnutí přístroje se provede stiskem tlačítka „Start“. Vypnutí se potvrdí na dotykovém displeji zvolením políčka Yes a přístroj se po krátké chvíli vypne.

3.3.2 Postup při experimentálním měření koncentrace prachových částic ve výfukových plynech pomocí přípravku – měřicí stanice

1. Vybraný automobil se vznětovým motorem určité emisní kategorie EURO se jízdou zahřeje na provozní teplotu (teplota chladiva 80 – 90 °C). Poté se umístí na vhodné rovné místo. Motor je přitom ponechán stále v chodu na volnoběžné otáčky ($800 - 900 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$).
2. Aktivuje se měřicí přístroj Dust TRAK 8530.
3. Nastaví se údaje a parametry: interval měření – byl zvolen a nastaven na 60 sekund. Dále lze nastavit aktuální čas a datum.
4. Na měřicím přístroji se provede kalibrace nuly tzv. nulovacím filtrem.
5. Po zkalibrování se odstraní nulovací filtr a na vstup se připojí se propojovací hadička a na její druhý konec na podpěře se připojí kalibrační impaktor příslušné měřené frakce. (Nejprve se měřila frakce PM_{10} , pak $\text{PM}_{2,5}$ a poté $\text{PM}_{1,0}$).
6. Na konec výfukového potrubí automobilu se připojí přípravek – měřicí stanice. Těsné spojení s výfukovým potrubím se provede utažením provázku okolo textilní prachovky navlečené přes výfukové potrubí.
7. Podpěra s hadičkou a impaktorem se zavede do dané hloubky do potrubí měřicí stanice. Tato poloha je zajištěna nasazením očka podpěry na aretační kuličky v základně měřicí stanice.
8. Dotykem na políčko Start na displeji se spustí měření, které bude trvat 60 sekund.

9. Po ukončení měření se vyjme podpěra s impaktorem z potrubí měřicí stanice.
10. Dotykem na jednotlivá políčka (Stats, Graph, Data) se zobrazí naměřené hodnoty, které si měřicí zaznamená. Navíc se data ukládají do paměti přístroje.
11. Ze vstupu do přístroje se odstraní propojovací hadička s impaktorem a nasadí se nulovací filtr.
12. Proveďte se kalibrace nuly – toto je nutné zopakovat před každým měřením.
13. Měření jedním impaktorem se provede třikrát, pro získání více údajů, které se poté sjednotí jako průměrné hodnoty.
14. Po naměření jedním impaktorem se nástavec impaktoru rozšroubuje a místo něj se našroubuje nástavec jiné velikostní frakce PM.
15. Opět se provedou tři měření s kalibrací nuly před každým měřením.
16. Po naměření a zaznamenání údajů se vymění další nástavec impaktoru a opět se provedou tři měření včetně kalibrací nuly.
17. Po ukončení měření se zaznamenají výsledky a uloží se do paměti přístroje.
18. Přístroj se vypne stisknutím tlačítka „Start“ a potvrzením. Měření skončilo.
19. Z výfukového potrubí automobilu se odstraní přípravek – měřicí stanice.

3.4 Vlastní měření – výsledky

Měření probíhala za použití experimentálního přípravku vlastní výroby – měřicí stanice. Měřeno bylo za suchého počasí, v bezvětří a při průměrných venkovních teplotách od 15 do 22 °C. Měření jednotlivých tří frakcí PM probíhala vždy v časovém intervalu 60 s, kdy přístroj měřil hodnoty koncentrace prachových částic ve výfukových plynech. Přístrojem byly během každého měření zaznamenány a analyzovány tyto hodnoty koncentrací prachových částic:

- K_{MIN} [$mg \cdot m^{-3}$] = hodnota minimální koncentrace emitovaných prachových částic během jednoho měřicího 60 sekundového intervalu.
- K_{MAX} [$mg \cdot m^{-3}$] = hodnota maximální koncentrace emitovaných prachových částic během jednoho měřicího 60 sekundového intervalu.
- K_{\emptyset} [$mg \cdot m^{-3}$] = hodnota průměrné koncentrace během jednoho měření.

Při měřeních byly pořízeny fotografie pro názornou představu o jejich průběhu a jsou přiloženy v kapitole 8. Přílohy fotografií z vlastního měření.

Hodnoty z jednotlivých měření jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Měřený automobil č. 1 – emisní norma EURO 1

K měření byl vybrán osobní automobil značky Fiat Punto, vyrobený v roce 1995. Pohonnou jednotkou tohoto vozu je atmosférický vznětový motor s nepřímým vstřikem paliva do vířivé komůrky o zdvihovém objemu 1,7 litru. Jeho výfukový systém není vybaven žádným zařízením pro úpravu spalin a motor splňuje emisní normu EURO 1. Na zahřátém motoru a při volnoběžných otáčkách $840 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ a v časových intervalech měření 60 s byly při použití experimentálního přípravku – měřicí stanice naměřeny tyto hodnoty koncentrace tří frakcí prachových částic:

Tabulka 1 – naměřené hodnoty – EURO 1

Hodnoty	PM ₁₀			PM _{2,5}			PM _{1,0}		
	K _{MIN.}	K _{MAX.}	K _Ø	K _{MIN.}	K _{MAX.}	K _Ø	K _{MIN.}	K _{MAX.}	K _Ø
1.	12,3	23,0	15,2	10,9	13,8	12,2	9,54	12,0	10,6
2.	10,8	19,9	13,6	10,6	30,0	14,4	12,2	15,4	13,4
3.	11,5	17,0	13,5	14,1	17,6	15,3	12,1	14,9	13,5
	Průměr hodnot		14,1	Průměr hodnot		13,97	Průměr hodnot		12,5

Měřený automobil č. 2 – emisní norma EURO 3

Pro měření byl vybrán osobní automobil značky Volkswagen Golf, rok výroby 2001. Jeho pohonnou jednotkou je přeplňovaný vznětový motor o zdvihovém objemu 1,9 litru s přímým vstřikem paliva do válce. Výfukový systém je vybaven systémy pro úpravu spalin – technologií recirkulace spalin EGR a oxidačním katalyzátorem. Motor tak splňuje emisní normu EURO 3. Za použití experimentálního přípravku, na zahřátém motoru a při volnoběžných otáčkách $900 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ byly naměřeny tyto hodnoty koncentrace tří frakcí prachových částic v časových intervalech 60 s:

Tabulka 2 – naměřené hodnoty – EURO 3

Hodnoty	PM ₁₀			PM _{2,5}			PM _{1,0}		
	K _{MIN.}	K _{MAX.}	K _Ø	K _{MIN.}	K _{MAX.}	K _Ø	K _{MIN.}	K _{MAX.}	K _Ø
1.	2,54	2,95	2,65	2,42	2,80	2,56	2,32	2,72	2,47
2.	2,33	2,77	2,58	2,14	2,88	2,47	2,30	2,59	2,42
3.	2,24	2,64	2,45	2,42	3,11	2,64	2,16	2,90	2,63
	Průměr hodnot		2,56	Průměr hodnot		2,56	Průměr hodnot		2,51

Měření automobil č. 3 – emisní norma EURO 5

Pro měření byl zvolen osobní automobil značky Volkswagen Touran, vyrobený v roce 2011. Jeho pohonnou jednotkou je přeplňovaný vznětový motor s přímým vstřikováním paliva systémem Common-Rail se zdvihovým objemem 1,6 litru. Výfukový systém je vybaven technologií recirkulace spalin EGR, katalyzátory a filtrem pevných částic. Motor splňuje emisní normu EURO 5. S použitím experimentálního přípravku, na zahřátém motoru a při volnoběžných otáčkách 900 ot·min⁻¹ byly naměřeny v intervalech 60 s tyto hodnoty koncentrací:

Tabulka 3 – naměřené hodnoty – EURO 5

Hodnoty	PM ₁₀			PM _{2,5}			PM _{1,0}		
	K _{MIN.}	K _{MAX.}	K _Ø	K _{MIN.}	K _{MAX.}	K _Ø	K _{MIN.}	K _{MAX.}	K _Ø
1.	0,003	0,004	0,004	0,0	0,009	0,007	0,0	0,001	0,001
2.	0,004	0,009	0,004	0,001	0,007	0,0	0,0	0,009	0,006
3.	0,0	0,003	0,002	0,001	0,006	0,003	0,003	0,007	0,006
	Průměr hodnot		0,003	Průměr hodnot		0,003	Průměr hodnot		0,004

Měření automobil č. 4 – emisní norma EURO 6

Pro měření byl vybrán osobní automobil značky Škoda Yeti, rok výroby 2016. Pohonnou jednotkou je přeplňovaný vznětový motor o zdvihovém objemu 2,0 litry s přímým vstřikováním paliva systémem Comon-Rail. Jeho výfukový systém je vybaven zařízeními na úpravu spalin – systémem recirkulace spalin EGR, oxidačním katalyzátorem, filtrem pevných částic a katalyzátorem SCR (selektivní katalytické redukce) s redukčním činidlem AdBlue. Motor tak plní emisní normu EURO 6. Na zahřátém motoru a při volnoběžných otáčkách 800 ot·min⁻¹ byly při použití experimentálního přípravku a v časových intervalech měření 60 s naměřeny tyto hodnoty koncentrace tří frakcí prachových částic:

Tabulka 4 – naměřené hodnoty – EURO 6

Hodnoty	PM ₁₀			PM _{2,5}			PM _{1,0}		
	K _{MIN.}	K _{MAX.}	K _Ø	K _{MIN.}	K _{MAX.}	K _Ø	K _{MIN.}	K _{MAX.}	K _Ø
1.	0,0	0,003	0,002	0,0	0,0	0,0	0,0	0,009	0,001
2.	0,0	0,004	0,001	0,0	0,003	0,0	0,0	0,0	0,0
3.	0,0	0,001	0,001	0,0	0,001	0,0	0,0	0,002	0,001
	Průměr hodnot		0,001	Průměr hodnot		0,0	Průměr hodnot		0,001

4. Diskuse

Z naměřených hodnot v tabulce 1 vyplývá, že vznětový motor splňující emisní normu EURO 1 produkuje nejvyšší množství škodlivých prachových částic, a to v koncentracích v řádu až desítek $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (nejvyšší hodnota maximální koncentrace K_{MAX} u frakce PM_{10} byla $23,0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). Je tak pro životní prostředí nejškodlivější.

Z hodnot v tabulce 2 je zřejmé, že u vznětového motoru s emisní normou EURO 3 může docházet k produkci o poznání menšího, téměř pětinnového množství prachových částic, než u motorů s normou EURO 1. Přesto však je významným zdrojem znečištění životního prostředí.

Z tabulky 3 je patrné, že u vznětového motoru, který plní emisní normu EURO 5, razantně, ve srovnání s předchozími normami tisícinásobně, klesla produkce prachových částic. Je to způsobeno především použitím filtru pevných částic DPF, který pokud správně funguje, naprostou většinu produkovaných částic z výfukových plynů zachytí.

Z hodnot v tabulce 4 vyplývá, že vznětový motor plnící emisní normu EURO 6 se vykazuje tak nízkou produkcí prachových částic, že by mohl být označen téměř za bezprašný. O tom svědčí i skutečnost, že výfukové potrubí tohoto motoru nebylo znečištěné sazemi, na rozdíl od předchozích, o výfukovém potrubí u prvního měřeného motoru ani nemluvě. Rovněž je to způsobeno použitím filtru pevných částic DPF. Vznětové motory plnící emisní normu EURO 6 jsou z hlediska prašnosti velmi čisté.

Ke všem naměřeným hodnotám je třeba zdůraznit, že šlo o měření při volnoběžném chodu motorů. Je tak otázkou dalších měřicích pokusů, jakých hodnot koncentrací by bylo dosaženo při různých provozních režimech motorů.

Většina odborné veřejnosti se shoduje na tom, že prachové částice jsou škodlivé pro celé životní prostředí a především pro lidské zdraví. Samozřejmě jsou škodlivé i další emitované látky (oxidy uhlíku, oxidy dusíku, těžké kovy atd.), ale prachové částice fungují jako jejich nosiče. Jsou tedy nebezpečné nejen svým mechanickým působením, ale i distribucí škodlivých látek.

V časopisu Komunální technika uvádí Ing. Ivo Celjak, CSc.: „Podle svého složení a chemických látek, které jsou na něm zachycovány, má prach různé účinky. Může dráždit, způsobovat alergie nebo jiné závažnější obtíže, včetně negativního ovlivnění činnosti mozku.“ (12)

Jak například uvádí Ing. Rudolf Mrzena: „Lidské zdraví poškozují zejména prachové částice, těkavé organické látky, oxidy dusíku a přízemní ozón.“ (4)

Doc. Ing. Vladimír Adamec, CSc. a kol. v publikaci Doprava, zdraví a životní prostředí uvádí: „Nebezpečnost PM nespočívá jen v jejich mechanických vlastnostech, ale především v obsahu rizikových organických (především PAH) nebo celé řady anorganických škodlivin jako např. molybden, měď, nikl, kadmium, platina...“ (1)

Z vlastní zkušenosti vím, že mezi širokou veřejností, především pak mezi automobilovými nadšenci a autoopraváři, panuje názor, že starší motory (např. známý VW 1.9 TDI, nebo Peugeot 1.9 D) ve srovnání s novějšími motory měly menší spotřebu, a že produkovaly sice větší množství sazí, zato však byly tyto saze větších rozměrů, tedy PM_{10} a více, díky čemuž byly tyto motory v podstatě „zdravější“, tedy méně škodlivé pro lidské zdraví, neboť takto veliké saze nepronikají hluboko do lidského organismu. Naproti tomu jsou prý novější motory zdrojem mnohem menších sazí, což je způsobeno zdokonalením spalování jeho řízením např. systémem Common-Rail, zlepšením rozprašování paliva vstřikovacími systémy s mnohem vyššími tlaky atd. Proto by novější motory měly být „zdraví škodlivější“, neboť částice pod PM_{10} se již mohou dostat hlouběji do lidského organismu, úplně nejmenší částice pod PM_1 pak mohou projít až do krevního řečiště.

Musím však tento názor ohledně škodlivosti vyvrátit. Díky měření jsem zjistil, že starší motory neprodukovaly pouze saze větších rozměrů, takřkajíc „neškodných“, ale produkovaly saze všech, i mnohem menších rozměrů, a navíc ve vysokých koncentracích. Naproti tomu motory splňující nové emisní normy sice prachové částice produkuje, ale díky zařízením pro úpravu a čištění spalin jich do ovzduší unikne tak malé množství, že se jedná o motory téměř bezprašné a jsou tedy mnohem přátelštější k životnímu prostředí.

5. Závěr

Díky měření bylo zjištěno, že motory splňující nové emisní normy sice prachové částice produkují, ale díky zařízením pro úpravu a čištění spalin jich do ovzduší unikne tak malé množství, že se jedná o motory téměř bezprašné a jsou tedy velmi přátelské k životnímu prostředí. Bohužel, ovzduší je zatím stále znečišťováno v důsledku stále provozovaných starších vozidel plnících méně přísné emisní limity. Zatím tak lze snad pouze čekat, kdy tato vozidla přestanou být provozuschopná a dojde k postupné obměně vozového parku. Vidinou snížení produkce škodlivin tak může být přechod na vozidla s alternativním pohonem – na zemní plyn, hybridní, či plně elektrická.

6. Seznam použitých zdrojů

- (1) ADAMEC, V., DOSTÁL, I., DUFEK, J., DVOŘÁKOVÁ, P., CHOLAVA, R., JEDLIČKA, J., LIČBINSKÝ, R., MÁCA, V., PEŠÁK, A., SCHWARZOVÁ, M., SMÉKAL, P. (2008): *Doprava, zdraví a životní prostředí*. Praha, GRADA, 160 s., ISBN 978-80-247-2156-9
- (2) ZELENKOVÁ, V. (2014): *Analýza emisí polétavého prachu při provozu dopravních a pracovních zařízení v zemědělství ve vybrané farmě a obci*. [Bakalářská práce]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky, 47 s.
- (3) <http://hluk.eps.cz/hluk/emise/mereni-emisi-a-imisi/> „staženo dne: 3. 2. 2017“
- (4) MRZENA, R. (2010): Porovnání vlivu individuální a hromadné dopravy na životní prostředí. *Perner's Contacts 3/2010*, 5: s. 217-227. Dopravní fakulta Univerzity v Pardubicích.
- (5) NOVOTNÝ, J. (2015): *Hodnocení hmotnostní koncentrace polétavého prachu v silniční dopravě v závislosti na intenzitě provozu a prostředí*. [Bakalářská práce]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky, 44 s.
- (6) <http://arnika.org/oxid-uhlicity> „staženo dne: 27. 3. 2017“
- (7) <http://arnika.org/oxid-uhelnaty> „staženo dne: 7. 4. 2017“
- (8) http://www.irz.cz/repository/latky/oxidy_dusiku.pdf „staženo dne: 7. 2. 2017“
- (9) http://www.ecmost.cz/clanky.php?page=znecistujici_latky „staženo dne: 6. 2. 2017“
- (10) <http://www.cistenebe.cz/slovnicek-pojmu/223-prizemni-ozon-o3> „staženo dne: 19. 3. 2017“
- (11) <http://arnika.org/polycyklicke-aromaticke-uhlovodiky-pahs> „staženo dne: 25. 3. 2017“
- (12) CELJAK, I. (2015): Ovlivnění řidičů emisemi prachových částic v interiérech vozidel. *Komunální technika 2/2015*, 9: s. 40-43.
- (13) <http://www.irz.cz/node/85> „staženo dne: 26. 3. 2017“
- (14) ZAHRADNÍK, I. (2013): *Posouzení metod měření emisí prachu v živočišné výrobě*. [Bakalářská práce]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky, 50 s.

- (15) <http://lekarske.slovníky.cz/pojem/mukociliarni> „staženo dne: 8. 2. 2017“
- (16) [http://www.servispneumatik.cz/proc-jsou-vozy-vybaveny-kabinovym-filtrem - a-jak-casto-filtr-menit-a235](http://www.servispneumatik.cz/proc-jsou-vozy-vybaveny-kabinovym-filtrem-a-jak-casto-filtr-menit-a235) „staženo dne: 18. 2. 2017“
- (17) <http://www.autolexicon.net/cs/articles/pylovvy-kabinovy-filtr> „staženo dne: 19. 2. 2017“
- (18) <http://www.mjauto.cz/kabinovy-filtr-s-aktivnim-uhlim> „staženo dne: 24. 2. 2017“
- (19) <http://www.auto.cz/technika-evropske-emisni-normy-jsou-s-nami-uz-od-roku-1970-94232> „staženo dne: 16. 3. 2017“
- (20) HROMÁDKO, JAN, HROMÁDKO, JIŘÍ, HÖNIG, V., MILER, P. (2011): Spalovací motory. Praha, GRADA, 296 s., ISBN 978-80-247-3475-0
- (21) <http://www.fcd.eu/module/pub/article/16/1686-1194.pdf> „staženo dne: 14. 3. 2017“
- (22) ZMEK, M. (2012): Snižování emisí ve výfukových plynech vznětových a zážehových motorů. [Bakalářská práce]. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, katedra dopravních prostředků a diagnostiky, 53 s.
- (23) <http://www.autolexicon.net/cs/articles/egr-exhaust-gas-recirculation/> „staženo dne: 2. 4. 2017“
- (24) http://www.sossoukyjov.cz/data/file/SIV/VY_32_INOVACE_4c%20PS/VY_32_INOVACE_4c10.ppt „staženo dne: 5. 4. 2017“
- (25) <http://www.externiservis.cz/katalyzatory-nett/katalyzatory-pro-vznetove-dieselove-motory.php> „staženo dne: 19. 3. 2017“
- (26) STAREČEK, J. (2013): Filtry pevných částic a způsoby jejich regenerace. [Bakalářská práce]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, ústav automobilního a dopravního inženýrství, 45 s.
- (27) CELJAK, I. (2011): Metodika měření hmotnostní koncentrace polétavého prachu v silniční dopravě. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 16 s.

7. Seznam a zdroje použitých obrázků a tabulek

Obrázek 1 – Srovnání velikosti prachových částic

(28) <http://arnika.org/latky-znecistujici-ovzdusi> „staženo dne: 8. 4. 2017“

Obrázek 2 – Stav koncentrace prachových částic PM₁₀ dne 11. 2. 2017

Obrázek 3 – Stav koncentrace prachových částic PM₁₀ dne 12. 2. 2017

Obrázek 4 – Stav koncentrace prachových částic PM₁₀ dne 13. 2. 2017

Obrázek 5 – Stav koncentrace prachových částic PM₁₀ dne 14. 2. 2017

(29) <http://www.prerov.eu/cs/magistrat/zivotni-prostredi/aktualni-informace-zp/mapa-prubehu-smogove-situace-10-2-18-2-2017.html>
„staženo dne: 20. 4. 2017“

Obrázek 6 – Nový papírový filtr

(30) <http://www.omnipuls.cz/> „staženo dne: 20. 2. 2017“

Obrázek 7 – Nový filtr z netkané textilie s aktivním uhlím

(31) <http://www.abv-autodily.cz> „staženo dne: 21. 2. 2017“

Obrázek 8 – Pohled na znečištěný filtr (vlevo) a nový čistý filtr (vpravo)

(32) <http://www.crystalsound.cz/autoklimatizace/> „staženo dne: 26. 2. 2017“

Obrázek 9 – Řez voštinami filtrační vložky a znázornění mechanismu filtrace

(33) http://www.autolexicon.net/obr_clanky/cs_dpf_001.jpg
„staženo dne: 26. 3. 2017“

Obrázek 10 – Přístroj Dust TRAK 8530 pro měření aerosolů od firmy TSI

(34) <https://www.industrysearch.com.au/dust-monitor-tsi-dustrak-8530/p/86756>
„staženo dne: 9. 2. 2017“

Obrázek 11 – Měřicí stanice s přístrojem Dust TRAK 8530 a s impaktorem

(J.K.) Vlastní zdroj – foto – Jan Kahuda

Obrázek 12 – Měřicí stanice s impaktorem zavedeným do potrubí

(J.K.) Vlastní zdroj – foto – Jan Kahuda

Tabulka 1 – naměřené hodnoty – EURO 1

Tabulka 2 – naměřené hodnoty – EURO 3

Tabulka 3 – naměřené hodnoty – EURO 5

Tabulka 4 – naměřené hodnoty – EURO 6

Zdroj: hodnoty z vlastních měření (J.K.)

8. Přílohy fotografií z vlastního měření

Zdroj: vlastní foto – Jan Kahuda

Foto 1



Měřicí souprava: přístroj Dust TRAK 8530 s impaktorem s propojovací hadičkou na drátěné podpěře a experimentální přípravek – měřicí stanice (potrubí pro vedení výfukových plynů).

Foto 2



Sada vyměnitelných impaktorů pro měření jednotlivých frakcí prachu s číselným označením měřitelné velikosti prachových částic.

Foto 3



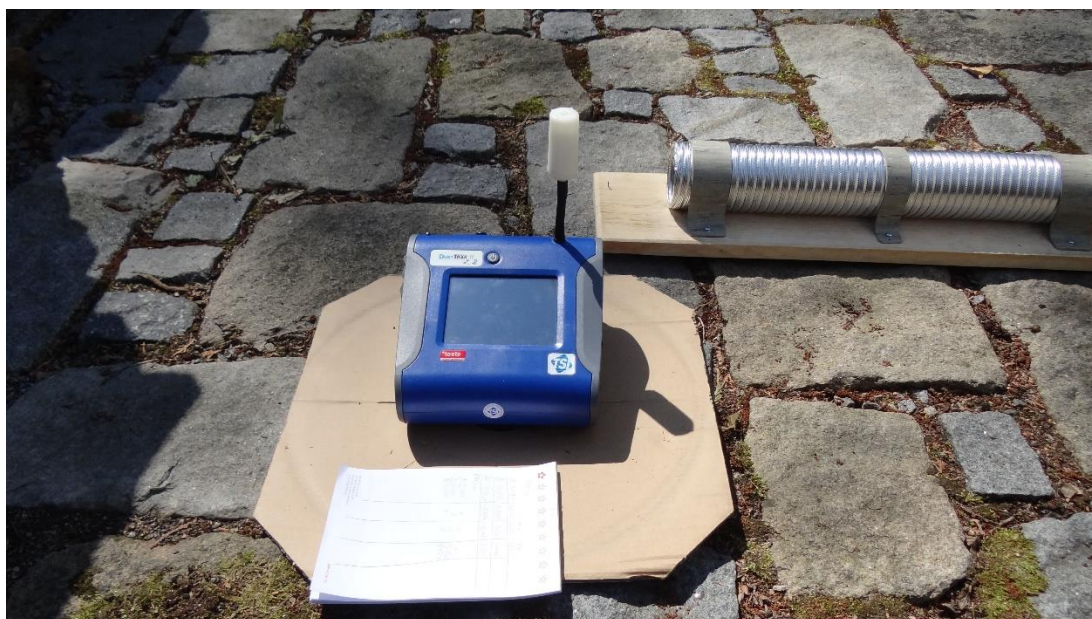
Pohled na motorový prostor. K měření připravený automobil
Fiat Punto 1.7 D – EURO 1.

Foto 4



Připojení vodícího potrubí měřicí stanice a utěsnění prachovkou na konci výfuku.

Foto 5



Kalibrace přístroje Dust TRAK 8530 nulovacím filtrem před zahájením měření.

Foto 6



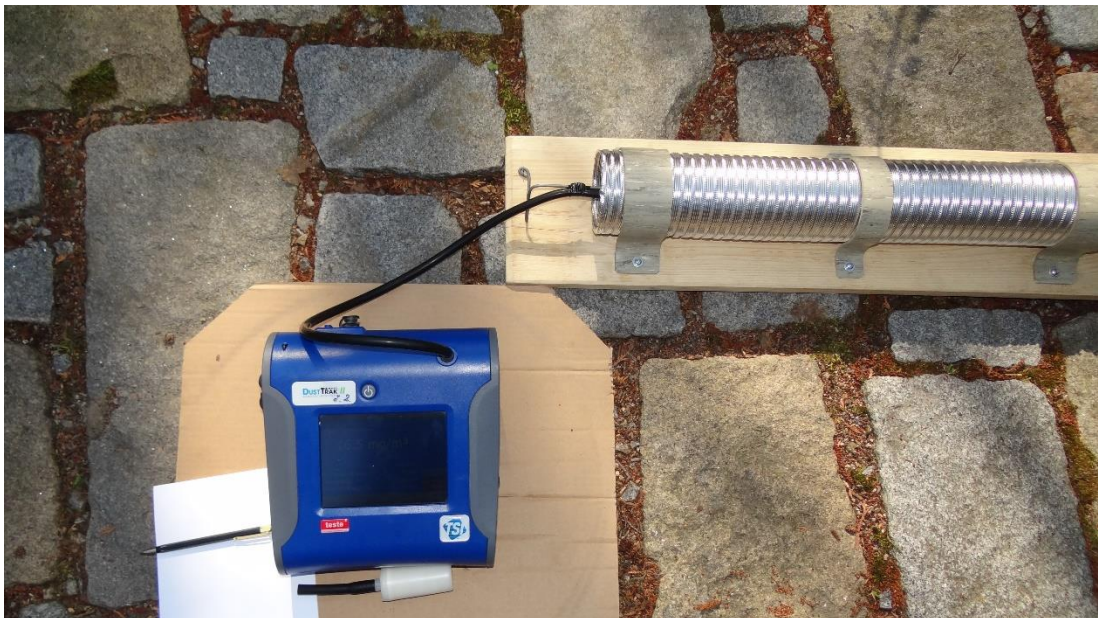
Pohled na měřicí stanoviště – vše je připraveno k měření.

Foto 7



Impaktor s propojovací hadičkou a podpěrou je připraven k zavedení do potrubí.

Foto 8



Impaktor je zavedený do potrubí a je spuštěno měření po dobu 60 sekund.

Foto 9



Probíhá měření.

Foto 10



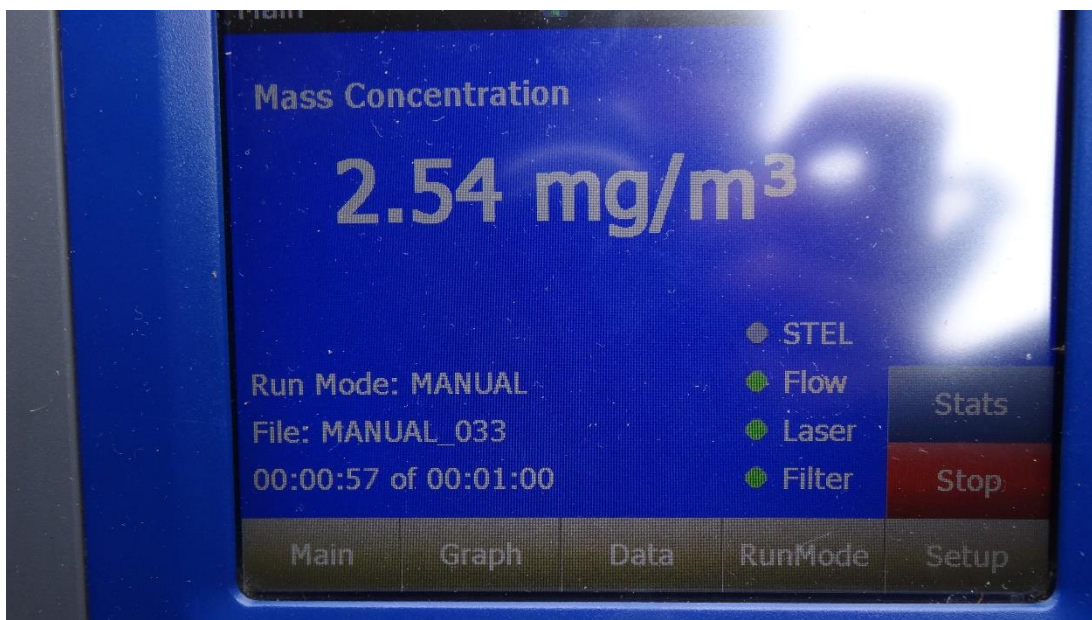
Automobil připravený k měření: VW Golf 1.9 TDI – EURO 3.

Foto 11



Připravené měřicí stanoviště.

Foto 12



Momentálně změřená hodnota koncentrace zobrazená na displeji přístroje.

Foto 13



Připojení vodícího potrubí měřicí stanice a utěsnění prachovkou na konci výfuku automobilu VW Touran 1.6 TDI – EURO 5.

Foto 14



Měřicí stanoviště připravené k měření.

Foto 15



Impaktor PM_{1,0} napojený na prodlužovací hadičku na drátěné podpěře.

Foto 16



Před zavedením impaktoru do potrubí.

Foto 17



Probíhá měření.

Foto 18



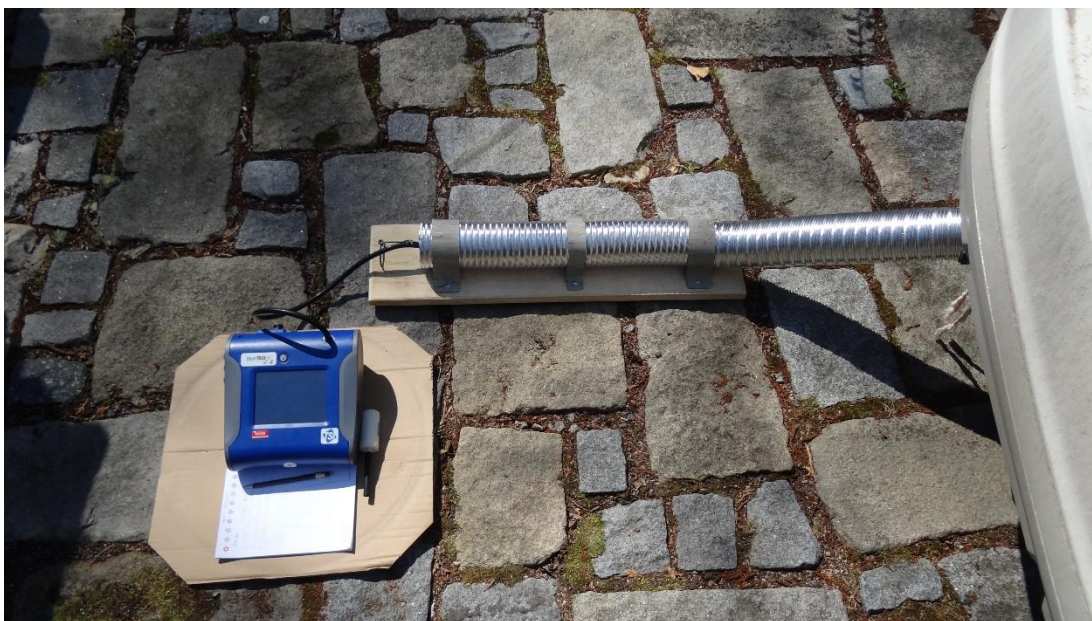
Ukončení jednoho měřicího intervalu a vyjmutí impaktoru z potrubí.

Foto 19



Kalibrace nuly před měřením a připojený přípravek na výfuku automobilu Škoda Yeti 2.0 TDI – EURO 6.

Foto 20



Impaktor je zaveden do potrubí a probíhá měření.