

# Něco za něco

**Filtry pevných částic přinesly radikální snížení množství sazí vycházející z koncovek výfuků. Jakým vývojem a zkouškami procházejí?**

■ Téma zachycovačů pevných částic se týká homologací vozidel a plnění emisních norem. Na počátky i současnost zachycovačů částic a jejich ekologický přínos jsme se zeptali **Luboše Trnky**, ředitele sekce vlivu vozidel na prostředí společnosti TÜV SÜD Czech.



**Odkdy se z hlediska homologací začaly zkušební vozidla více zajímat o množství pevných částic ve výfukových plynech vozidel se vznětovým motorem?**

Z historického pohledu spadá měření a limitace pevných částic do období sedmdesátých let minulého století. První měřenou škodlivinou byla kouřivost (resp. opacita), tj. vizuální pohlitost světla ve vzorku výfukových plynů.

Hlavním důvodem, proč se v tehdejší době začalo s tímto měřením, nebyla ekologie, nýbrž bezpečnostní hledisko (neboť kouř vznětových motorů jednodušší konstrukce mohl díky vysoké produkci sazí ovlivnit negativně viditelnost ostatních účastníků silničního provozu). Jednotkou takové veličiny je  $m^{-1}$  nebo % nebo tzv. Hartridge. Exaktnější měření zjišťování pevných částic (sazí) z hlediska specifické hmotnostní produkce (vyjádřené jako  $mg/kWh$  u nákladních vozidel, resp.  $mg/km$  u osobních vozů) přišlo až o mnoho let později. Legislativním trendem poslední doby je navíc měření počtu částic (měří se ve velikostním spektru setina milimetru až jednotky nanometru).

**Zachycovače částic se staly nedílnou součástí úpravy výfukových plynů u vznětových motorů kategorie Euro 5. Kvůli splnění množství oxidů dusíků**

**přecházeli mnozí výrobci na nižší kompresní poměr, čímž se však snížila teplota hoření a zvětšilo množství sazí. Lze říci, že přísnějším požadavkům na emise částic odpovídá i zvětšování jejich zachycovačů?**

Velikost zachycovače částic je odvislá od požadované účinnosti filtrace, a dále od průtokových poměrů, které jsou dány zdvihovým objemem a otáčkovým rozsahem spalovacího motoru při různém výkonu. Správné dimenzování pochopitelně závisí také na kvalitě spalovacího procesu, což je mimo jiné ovlivněno právě kompresním poměrem. Ovšem nelze jednoznačně říci, že existuje přímá úměra mezi velikostí částicového zachycovače a kompresním poměrem. Kromě toho je nutné mít na zřeteli, že pouzdro, které je běžně viditelné, obsahuje uvnitř účinnou filtrační vložku – ta bývá často navíc spojena s předkatalyzátorem v jeden kompaktní celek (který navíc u motorů užitkových vozů bývá doplněn systémem selektivní katalytické redukce). Celkově ale platí, že přísnějším požadavkům na emise částic odpovídá použití částicového zachycovače s vyšší účinností filtrační vložky.

**Částicový filtr není bezúdržbová součást vozidla. Ke své správné funkci potřebuje regeneraci cca po pěti stech kilometrech. Ta bývá podporována vstřikováním většího množství nafty do válků nebo až za turbodmychadlo. Větší množství spáleného paliva vytváří více emisí. Nejde tedy o vytloukání klínu klínem?**

Jedním z řešení pro regeneraci (vypálení) usazených částic je vstříknutí definované extra dávky nafty, kdy při zvýšení teploty filtru dojde ke spálení zachycených částic. V průběhu regenerace se zvýší zejména emise oxidu uhličitého. Ideálním produktem regenerace částicového zachycovače je právě oxid uhličitý. To je dáno tím, že v částicovém filtru tvoří největší část saze – uhlík vznikající při nedokonalém spálení paliva (kromě toho mohou ale být obsaženy také další látky, např. zbytkové prvky po opalu motorového oleje popř. otěru pístní skupiny). Alternativním řešením k částicovým zachycovačům natrvalo instalovaným ve vozidlech je např. systém výměnného filtračního elementu – tento způsob byl

používán hlavně v počátcích vývoje částicových zachycovačů (je založen na tom, že po návratu např. autobusu do vozovny byl zanesený filtr ručně vyměněn za jiný, předem zregenerovaný na externím zařízení, tedy zcela mimo vozidlo).

**Jak probíhá a jakými měřeními musí projít vozidlo s filtrem pevných částic, jehož funkce je závislá na míře jeho zanesení sazí či po jejich spálení popelem? Probíhá homologační měření při čistém (ideální případ pro první desítky kilometrů), poloplném či jakém stavu filtru?**

Zkušební procedura při homologaci osobního vozu nebo motoru užitkového vozidla je odvislá od homologačních předpisů. Měření emisí v případě periodicky se regenerujících systémů tak probíhá jednak při čistém, vypáleném filtru, jednak je součástí této procedury také ověření emisního chování právě při regeneraci částicového zachycovače. Celkový emisní výsledek pro jednotlivé škodliviny je pak váženým průměrem změřených hodnot před regenerací a při regeneraci. V praxi je pak produkce výsledných škodlivin dána všemi provozními stavy (čistým i zaplněným), přičemž výrazně vyšší váhu mají škodliviny produkované při „čistém“ zachycovači s vysokou účinností (poměr mezi počtem zkušebních cyklů před regenerací je např. několik desítek bez regenerace ku jednomu cyklu s provedenou regenerací zachycovače). Při běžném provozu lze tak s vozidlem najet i několik set kilometrů, než je částicový zachycovač zanesen natolik, že dojde automaticky k jeho regeneraci (celkový najetý počet kilometrů mezi regeneracemi je ale vždy odvislý od provozních stavů motoru, popř. kvality použitého paliva).

**S příchodem emisního požadavku Euro 6 se sleduje nejen hmotnost, ale rovněž množství sazí. Změnila se v tomto směru metodika homologace automobilů na rozdíl od Euro 5?**

Záležitost je nutné osvětlit ze dvou pohledů: prvním (a historicky starším) způsobem je hmotnostní měření částic vznětových motorů, které se provádí filtrováním („prosáváním“) definovaného vzorku výfukových škodlivin přes speciální poteflonovaný zkušební filtr. U něho je zjišťována na přesných mikrováhách hmotnost vzorku, zjištěná jako rozdíl před a po zkoušce. Druhou novější a vlastně doplňkovou metodou je již výše zmíněné počítání částic, prováděné opět při zkušebním režimu motoru (vozidla), při déle trvajícím proměnném zatížení (test trvá až půl hodiny). V tomto případě se vo-

rek výfukových plynů kontinuálně přečerpává do speciálního měřicího aparátu, který zjišťuje konkrétní počet částic daného vzorku, přičemž dle legislativy jsou za částice považovány prvky (popř. kondenzáty) s velikostí nad 23 nm a teplotou do cca 52 °C. Tuto zkušební proceduru umožňuje velice přesné (a velmi drahé) měřicí zařízení, jehož výstupem je právě počet částic, vyjádřený jako násobek číselky 10 (např. u soudobých osobních automobilů se pohybuje hodnota v úrovni  $5 \times 10^{11}$  na 1 km, což je ještě podlimitní úroveň). Velikostí, o které se zde jedná a které se početně měří, nejsou běžným okem prakticky rozpoznatelné (což je mimo jiné dáno i faktem, že objemově větší a tedy viditelnější částice jsou zadrženy a vypáleny právě částicovým filtrem ve výfukové soustavě vozidla).

**Filtry pevných částic používají několik základních konstrukcí, z nichž primární rozdělení směřuje k aditivním či bezpřisadovým systémům. Který s nich považujete za nejlepší co do celkového přínosu pro životní prostředí (započítáváme nejen výfukové plyny, ale také výrobu a údržbu filtrů)?**

Je třeba rozlišit technologii regenerace filtračních elementů a jakékoliv hodnocení je vždy velice komplexní a nesnadnou záležitostí. Proces regenerace částicového zachycovače je děj, při kterém se odstraňují zachycené usady v jeho vložce a parametry filtru se tak vracejí k počátečnímu stavu; při tomto procesu dochází k vypalování (oxidaci) usazených nečistot, což může probíhat díky převažujícímu podílu sazí (uhlíku) v usadách. Určitým problémem je však to, že ke spalování sazí může dojít až při dosažení jejich zápalné teploty, která za normálních okolností činí nejméně 600 °C – což je ovšem hodnota vyšší než obvykle dosahovaná na výstupu výfuku z bloku válců. Někdy je používaným způsobem regenerace založená na ohřevu pomocí speciálního naftového hořáku, který tvoří nedílnou součást zachycovače (tyto naftové hořáky mohou být nahrazeny i elektrickým ohřevem, což však vyžaduje dostatečně nadimenzovanou zdrojovou soustavu ve vozidle). Jiným druhem je pak kontinuální regenerační systém, kdy povrch zachycovače je povlakován vybranými vzácnými kovy, které snižují zápalnou teplotu sazí; zachycené částice jsou průběžně spalovány katalyticky, neboť teplota hoření sazí je výrazně nižší (cca 300 °C).

**Zpočátku byly v osobních vozích zejména koncernu PSA používány aditivní systémy.**

Ano, dalším v praxi zdokonaleným a rozšířeným způsobem je regenerace pomocí přísady dávkované do paliva, která snižuje zápalnou teplotu sazí pod 500 °C (a tato teplota již odpovídá teplotě výfukových plynů dosahované při vyšších zatíženích motoru). Uvedené aditivum je speciální chemický roztok (obvykle sloučenina na bázi železa a ceru), uchovávaný ve speciální nádržce motoru a doplňovaný při servisních prohlídkách. Vypalování sazí probíhá vždy, když je motor po určité dobu dostatečně zatížen. Samozřejmě existují také různé konstrukční varianty výše uvedených typů, které jsou podpořeny moderní konstrukcí spalovacího motoru – například dodateční vstřík paliva do spalovacího prostoru na konci expanzního zdvihu (uplatňované běžně u palivové soustavy common-rail), což má za následek zvýšení teploty výfukových plynů nutné pro vypálení sazí (obvykle dojde k navýšení teploty o cca 250 °C).

**Porézní hmota zachycovače se dříve vyráběla jen z karbidu křemíku, poslední tři roky se velmi rozšiřuje síce dražší cordierit, který je ale mnohem lehčí. Setkal jste se také s jinými materiály, případně s jakými zkušenostmi?**

Asi nejčastěji používanými materiály pro zachycovače částic dnes jsou karbidy křemíku (SiC, siliciumkarbid) nebo cordierit (hlimitokřemičitan hořčíku popř. železa). Významné jsou některé jejich odlišné vlastnosti, které musí vzít zejména konstruktéři v úvahu: například součinitel teplotní roztažnosti (u SiC až čtyřikrát vyšší oproti cordieritu), tepelná vodivost (u SiC až 12x vyšší oproti cordieritu) a specifická hmotnost (až dvakrát vyšší u SiC oproti cordieritu, při srovnatelné hustotě filtračních kanálků a 50% zaplnění) – z toho vyplývají možnosti jejich umístění ve výfukové soustavě popř. vliv na účinnost filtrace. Krom toho pár výrobců filtračních elementů dnes používá jako účinný filtrační prvek materiály ze slinitých (sintrových) kovů.

**Občasné problémy s funkcí filtrů pevných částic a velmi drahé opravy přivedly některé uživatele automobilů, aby zachycovač nechali odstranit a provedli příslušnou úpravu řídicí jednotky. Jak se takové vozidlo projevuje z ekologického hlediska?**

Předně je třeba říci, že v drtivé většině případů se jedná o nelegální úpravy, s negativním vlivem na životní prostředí, což se projevuje zejména ve zvýšené produkci pevných částic z výfuku vozidla. Vozidlo s takovou úpravou se projevuje i vizuálně, kdy zejména při vyšších zatíženích

motoru vychází z jeho výfuku znatelný (obvykle černý) dým. Kromě toho vyjmutím zachycovače a jeho nahrazením např. volně průchodnou rourou dojde ke změně tlakových poměrů na výfuku, což přímo ovlivňuje způsob plnění válců čerstvou směsí, a tím kvalitu spalovacího procesu; může přitom docházet ke změně výkonové a emisní charakteristiky motoru. I přes tuto nezákonnou výměnu však může takové vozidlo zcela legálně (díky benevolenci současné legislativy) a s vyhovujícím výsledkem projít při periodické prohlídce na ústředí měření emisí.

**Některé automobilky nabízely ještě v rámci emisní normy Euro 4 vozidla se stejnou motorizací a filtrem pevných částic či bez něj. Měl agregát s filtrem vůči zvýšeným nákladům odpovídající ekologický přínos?**

Odlíšné modifikace spalovacích motorů s nebo bez částicového zachycovače se vyskytly u různých výrobců. Důvody takového použití filtru částic byly jednak marketingové (automobilky chtějí být „o krok napřed“ před konkurencí), jednak finanční (některé státy poskytovaly například daňové úlevy pro vozidla s prokazatelně nižší emisní produkcí), a samozřejmě ekologické – použití zachycovače výrazně snižuje produkci měřitelných pevných částic. Jako u většiny ostatních nově zaváděných technologií, i zde existovaly určité vícenásledky a rizika s tím spojená. Prakticky první sériově vyráběné (osobní) automobily se vznětovým motorem, které byly vybaveny na dnešní dobu poměrně primitivním filtrem částic otevřeného typu, byly některými předními evropskými automobilkami dodávány již počátkem devadesátých let na spotřebitelský trh v USA; bohužel v tomto případě se ukázalo, že tyto prvky nemají vždy výhoda. V evropských podmínkách o několik let později nastala podobná situace, a to i přes značné dosažené úspěchy při vývoji sériově vyráběných filtrů částic a jejich součinnosti s konkrétním typem spalovacího motoru. Někdy byla montáž takového filtru nutností kvůli splnění emisních limitů – zejména v těch případech, kdy motor vozidla s danou produkcí částic bez zachycovače byl již na mezí limitu, a pak-liže byl tento motor použit např. v těžším modelu daného vozidla. Pak by bez zachycovače již nevyhověl, a proto bylo nutné použít účinný částicový filtr.

**Filtry pevných částic pracují s účinností kolem 95 procent. Dovedete si představit ještě účinnější nástroj omezení sazí v silniční dopravě?**

V tomto případě snad jen doplnění zážehových motorů (např. na benzin či etanolové směsi), zejména těch s přímým vstříkem do válců, a to právě soudobými částicovými zachycovači. Je prokázáno, že srovnatelné zážehové motory vybavené právě přímým vstříkem paliva mají větší podíl pevných částic ve výfukových plynech. Princip jejich odstranění, tj. použití vysoce účinného zachycovače uzavřeného typu ale zůstane dle mého názoru ještě nějakou dobu neověřeným způsobem. Zdokonalovat se bude určitě z hlediska použitých materiálů, jejich životnosti a zejména jejich účinnosti pro jímání velmi malých částic (v rozměrech jednotek až desítek nanometrů).

**Stanice emisí kontrolují množství sazí pomocí tzv. kouřivosti. Připravuje se nějaká přesnější metodika měření odpovídající technické vyspělosti současných automobilů? Přinese změnu**

**příchod Euro 6 se stanovenou hmotností i počtem částic?**

Ať se podíváme na úroveň Euro 6 u osobních nebo nákladních vozidel (což jsou legislativně odlišné a nesouměřitelné způsoby homologace), pro situaci v České republice lze říci, že přesnější metodika by obnášela výrazné finanční náklady pro všechny stanice měření emisí a vůbec změnu ve způsobu provádění pravidelných periodických prohlídek (lepší a přesnější metodika by znamenala například měření při zatížení vozu/motoru na válcové zkušební, nikoliv pouhé ověřené metodou volné akcelerace při „nezatíženém“ motoru tak, jak je prováděno dnes).

**Připravuje se něco konkrétního?**

V současnosti se v České republice pracuje na tvorbě prováděcích vyhlášek k zákonu a princip měření zatím zůstává stejný s tím, že by se měly zpřísňovat limity aplikované v rámci pravidelného měření emisí. Počítá se ale s důkladnější kontrolou vozidla v provozu z hlediska činnosti OBD – jeho údaje by měly být primárně ukazatelem správné činnosti emisních systémů. V návaznosti na zjištěné údaje by pak následovala detailní prohlídka celého systému, včetně kontroly zda byl či nebyl proveden neoprávněný zásah do softwaru motoru a jeho hardwarového příslušenství (např. výměna zachycovače za pouhý nosič nebo zaslepení recirkulace výfukových plynů). Určitá změna v legislativě v Česku by mohla nastat nejdříve od roku 2015 (ale spíše později, pokud se odloží účinnost novely zákona). Takže předpokládám, že i vozidla s homologací v úrovni Euro 6 budou ještě nějakou dobu podléhat stejným zkušebním procedurám.

## Pevné částice

0.36

Eu I  
(1993)



0.15

Eu II  
(1996)

0.10

Eu VI  
(2013)

Eu V  
(2009)

Eu IV  
(2006)

Eu III  
(2001)

0.02

0

NO<sub>x</sub> (g/kWh)