

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TECHNICKÉ
V BRNĚ

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

REDUKCE PEVNÝCH ČÁSTIC VE VÝFUKOVÝCH PLYNECH

PARTICULATE MATTER REDUCTION IN EXHAUST GASES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ADAM DRÁB

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. RADIM DUNDÁLEK, PH.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Adam Dráb

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Redukce pevných částic ve výfukových plynech

v anglickém jazyce:

Particulate Matter Reduction in Exhaust Gases

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Osvojení základních pojmů zadané problematiky. Zamyšlení nad budoucím vývojem v oblasti filtrace pevných částic částic ve výfukových plynech a snižování emisí.

Cíle bakalářské práce:

Uvedení principu vzniku pevných částic, jejich chemické podstaty a složení a metod vhodných pro snižování jejich množství.

Seznam odborné literatury:

[1] HEISLER, Heinz. Advanced Engine Technology. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2002. 794 s. ISBN 1-56091-734-2.

[2] Internet



Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 23.10.2009

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce byla vypracována pro základní přehled o škodlivinách ve výfukových plynech motorových vozidel a jejich povoleném množství. Soustředí se na metody ke snížení výskytu pevných částic.

Abstract

This work was elaborated for basic survey about emissions in exhaust gases of motor vehicles, and its allowable quantity. It focuses on methods relative to reduction of particulates matter.

Klíčová slova

Emise, pevné částice, filtr pevných částic.

Key words

Emission, particulate matter, particulate trap.



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Bibliografická citace mé práce:

DRÁB, A. Redukce pevných částic ve výfukových plynech . Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 33 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Čestné prohlášení o původnosti práce

Čestně prohlašuji, že bakalářskou práci na téma „Redukce pevných částic ve výfukových plynech“ jsem vypracoval samostatně pod vedením svého vedoucího a s použitím odborné literatury, kterou jsem všemnu citoval v seznamu literatury.

V Brně dne 28.5.2010

.....



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D., za poskytnuté cenné rady a připomínky k této práci.
Také děkuji svým rodičům za poskytnuté technické i finanční zázemí.

OBSAH

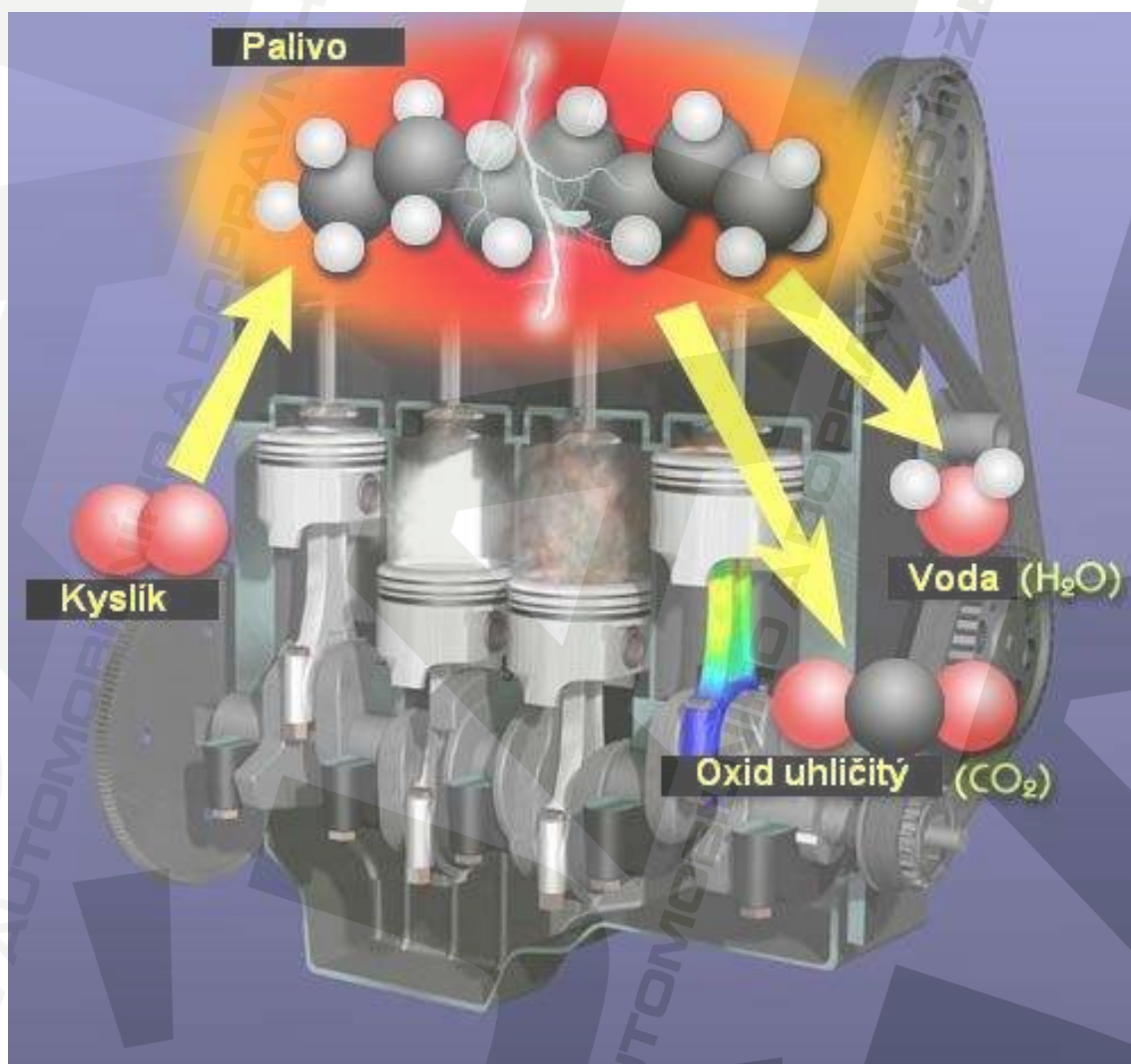
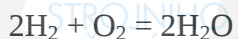
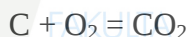
1. SLEDOVÁNÍ ŠKODLIVIN VE VÝFUKOVÝCH PLYNECH.....	10
1.1 VZNIK ŠKODLIVIN.....	11
1.2 ŠKODLIVINY	12
2. PEVNÉ ČÁSTICE.....	13
2.1 VZNIK PEVNÝCH ČÁSTIC.....	14
3. ČIŠTĚNÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ	14
3.1 SNÍŽENÍ MNOŽSTVÍ ČÁSTIC POMOCÍ VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA	14
3.2 SNÍŽENÍ MNOŽSTVÍ ČÁSTIC POMOCÍ FILTRŮ	15
3.3 MNOŽSTVÍ ČÁSTIC S POUŽITÍM FILTRU A BEZ FILTRU	15
4 FILTRY PEVNÝCH ČÁSTIC	15
4.1 TYPY FILTRŮ ČÁSTIC DLE ŽIVOTNOSTI.....	18
4.2 REGENERACE FILTRŮ	19
5 ZÁKLADNÍ METODY ZACHYTÁVÁNÍ PEVNÝCH ČÁSTIC	21
5.1 ZAKLÍNĚNÍ.....	21
5.2 ZACHYCENÍ.....	21
5.3 DIFÚZE	22
6. TYPY FILTRŮ DLE KONSTRUKCE	24
6.1 DRÁTĚNÝ FILTR PEVNÝCH ČÁSTIC.....	24
6.2 FILTR PEVNÝCH ČÁSTIC S KERAMICKOU VLOŽKOU	25
6.3 FILTR PEVNÝCH ČÁSTIC SE „SVÍČKAMI“	29
7. ZÁVĚR.....	30
POUŽITÉ ZDROJE:	31
SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ:.....	33
TABULKA:.....	33

ÚVOD

Díky vzrůstajícím exhalacím v hustě obydlených oblastech a nově zaváděným ekologickým daním jsou emise výfukových plynů pozorně sledovanou veličinou. Ropná paliva se skládají z větší části z různých uhlovodíků. Při dokonalém spalování těchto uhlovodíků, tj. při jejich slučování s kyslíkem ze vzduchu, vzniká pouze vodní pára a oxid uhličitý. Dnes již většina výrobců automaticky udává hodnotu CO_2 v technických datech ke každému vozu. Bohužel spalování není dokonalé a tudíž oxid uhličitý a vodní páry nejsou jediné dvě složky výfukových plynů, které vychází z výfuku. V této práci bude pojednáno o pevných částicích, jejich vzniku a možnostech pro jejich snížení.

1. SLEDOVÁNÍ ŠKODLIVIN VE VÝFUKOVÝCH PLYNECH

Při dokonalém spalování ropných paliv vzniká pouze oxid uhličitý (CO_2) a vodní pára (H_2O), (obr. 1.). Tyto dva plyny nejsou nijak škodlivé pro lidský organizmus. Jsou však spojovány se skleníkovým efektem. Díky tomu se snažíme snížit jejich podíl ve výfukových plynech. [2]



Obr. 1. Dokonalé spalování – vznik CO_2 a H_2O . [9]

Díky nedokonalému spalování ropných paliv vznikají ve výfukových plynech různé škodliviny. Aby mohl být automobil homologován, musí plnit řadu norem, mezi jinými i důležitou emisní normu. Emisní norma určuje množství spalin (tabulka 1.), které automobil může vypouštět do ovzduší. V České republice upravuje tyto hodnoty zákon č. 56/2001 Sb. ve

znění pozdějších předpisů. Tyto předpisy vycházejí z norem Evropské hospodářské komise EHK a Evropského společenství (ES). Jako souhrnné označení norem emisních předpisů se používá označení EURO + číslo normy, například v současné době platné EURO 5. Od roku 1995 do roku 2003 klesly emise CO₂ ze 186 na 164 g/km. Evropská hospodářská komise by ráda dosáhla všeobecného průměru 120 g/km do roku 2012. Vývoj a výroba takových motorů je však podle automobilek velmi nákladná. Jednou z cest jak podpořit vývoj ekologických motorů jsou daňové a jiné úlevy pro ekologicky smýšlející motoristy. Většina výrobců je toho názoru, že zavedení nových emisních norem EURO bude vést k růstu cen nových automobilů. Na druhou stranu zavedení nové normy EURO 5 snížilo množství sazí u vznětových motorů proti EURO 4 pětinásobně. Zajímavostí je, že aktuálně platná norma EURO 5 povoluje o 97% méně sazí než patnáct let stará norma EURO 1. Chystá se už norma EURO 6, ale ta už neovlivní povolené množství pevných částic. [2]

Povolené množství škodlivin ve výfukových plynech pro benzínové i naftové motory dle emisních EURO norem:

Tabulka 1. Emisní normy. Údaje jsou uváděny v g/km. (PM – pevné částice). [8]

Název	Platnost	CO	HC	NOx	HC+NOx	PM
Diesel						
Euro 1	od 1993	2,72	-	-	0.97	0.14
Euro 2	1996	1.0	-	-	0.9	0.10
Euro 3	2000	0.64	-	0.50	0.56	0.05
Euro 4	2005	0.50	-	0.25	0.30	0.025
Euro 5	od září 2009	0.50	-	0.18	0.23	0.005
Euro 6 (návrh)	od září 2014	0.50	-	0.08	0.17	0.005
Benzín						
Euro 1	od 1993	2,72	-	-	0.97	-
Euro 2	1996	2,2	-	-	0.5	-
Euro 3	2000	1,3	0.20	0.15	-	-
Euro 4	2005	1.0	0.10	0.08	-	-
Euro 5	od září 2009	1.0	0.075	0.06	-	0.005

1.1 VZNIK ŠKODLIVIN

Škodliviny ve výfukových plynech pístových spalovacích motorů vznikají především jako důsledek nedokonalého nebo neúplného spalování. Další důsledky vzniku škodlivin jsou:

- nekvalitní – nehomogenní směsi paliva se vzduchem – kdy se při lokálním nedostatku nebo přebytku kyslíku přeměňuje uhlík do formy sazí (tuhých částic, pevných částic), toto je charakteristické zejména pro vznětové motory; nehomogenní směs vzniká i u

zážehových motorů (např. při špatném seřízení palivové soustavy motoru způsobuje vznik detonačního spalování nebo bohaté směsi),

- oxidace atmosférického dusíku při vysokých teplotách ve spalovacím prostoru (tzv. NO_x),
- nekvalitního či nevhodného paliva, obsahujícího nežádoucí zbytky z ropy, které způsobí vznik SO_x popř. PM (pevné částice),
- špatného mechanického stavu nebo špatného konstrukčního řešení, které může způsobovat např. vyšší spotřebu mazacího oleje v motoru. [3]

1.2 ŠKODLIVINY

Další škodlivé látky, které jsou obsaženy ve výfukových plynech jsou:

- Oxid uhelnatý (CO)

Bezbarvý plyn bez chuti a bez zápachu, lehčí než vzduch. Je nedráždivý a výbušný. Váže se na hemoglobin, tj. krevní barvivo a tím zabraňuje přenosu vzduchu z plic do tkání – je tedy jedovatý. V normálních koncentracích v ovzduší relativně rychle oxiduje na oxid uhličitý CO_2 .

- Nespálené uhlovodíky (HC)

Kromě dalších složek obsahují především karcinogenní aromáty, jedovaté aldehydy a nejedovaté alkeny. Jsou karcinogenní, tvoří smog.

- Oxidy dusíku (NO_x)

Mají podobné účinky jako CO , napadají plíce a sliznice. Vznikají v motoru za vysokých teplot a tlaků během hoření, a to při nadbytku kyslíku. Některé oxidy dusíku jsou zdraví škodlivé. Tvoří ozon a poškozují lesy.

- Sloučeniny olova

Olovo je jedovatý těžký kov. V současné době jsou paliva u čerpacích stanic k dostání pouze bez olova. Jeho mazací vlastnosti jsou nahrazeny aditivy. Působí na buňky v krvi a v kostní dřeni jako silné jedy.

- Pevné látky (částice)

Způsobují mechanické dráždění a jsou karcinogenní. [2]

2. PEVNÉ ČÁSTICE

Jsou to v podstatě saze, podobné jako při spalování uhlí v kotli. Ty jsou nejviditelnější částí zplodin (obr. 2.) a jde vlastně o uhlík v pevné formě, který na sebe váže další škodlivé látky jak z pohonných hmot, tak z ovzduší. Pevné částice emitované ve výfukových plynech byly spíše stranou zájmu. Ukazuje se ovšem, že částice menší než $10\text{ }\mu\text{m}$ mohou být ze zdravotního hlediska nejvýznamnější z celé řady polutantů, které produkují dopravní prostředky. Mimo toho mohou způsobit sníženou viditelnost při předjíždění nadměrně „kouřícího“ dopravního prostředku, která může v kritických situacích způsobit i čelní srážku s protijedoucím vozidlem. Pevné částice mají na lidský organismus karcinogenní účinky, maximální nebezpečí představuje vazba jiných výfukových škodlivin na pevné částice, zejména polycyklických uhlovodíků. [6]



Obr. 2. Americký truck při závodech a saze (pevné částice), které vypouští. [10]

2.1 VZNIK PEVNÝCH ČÁSTIC

Množství, které vzniká s homogenní náplní benzínových motorů je velmi malé, a proto není až tak velký problém. Starší emisní normy se touto problematikou nezabývaly. Teprve zatím poslední norma Euro 5 udává maximální povolené množství ve výfukových plynech. Problém ovšem je s heterogenní náplní vznětových motorů, jejichž emise jsou poměrně vysoké. Saze uhlíku jsou vytvořeny ve spalovací komoře především v oblasti bohaté na stříkání paliva. V průběhu spalovacího procesu, se saze uhlíku (které se podobají kouli přibližně 2×10^{-6} cm v průměru) srazí a jsou spojeny dohromady v podobě shluku koulí, nebo mohou být rozvětvené a řetězovitého vzhledu. [1]

Při vstupu exhalátů spalovacího procesu do ovzduší dojde důsledkem rychlého ochlazení výfukových plynů ke spojování částic, kdy jejich výsledný rozměr převyšuje rozměr ve spalinách. Pevné částice tvoří saze, karbon, popel, sloučeniny síry a vody. Mohou se vyskytovat jak ve formě tuhé, tak ve formě kapalné (kapénky uhlovodíků pocházejí z paliva i z motorového oleje). [6]

Dalším důsledkem rychlého ochlazování je kondenzace dalších škodlivin na povrchu saze. Kondenzované látky jsou organické sloučeniny, nespálené uhlovodíky a okysličené uhlovodíky. Části organických látek pochází z mazacího oleje, ten může mít podíl 25% až 75%. Některé však mohou být také anorganické látky, jako oxid dusičitý a kyseliny sírové. [1]

3. ČIŠTĚNÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

3.1 SNÍŽENÍ MNOŽSTVÍ ČÁSTIC POMOCÍ VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA

Částečné snížení množství pevných částic ve výfukových plynech přišlo s technologií přímého vstřikování a vysokotlakého vstřikování paliva (common rail, čerpadlo-tryska). Toto snížení však nebylo větší než 15 %. Ani použití katalyzátorů nemá na koncentraci pevných částic vliv. [4]

3.2 SNÍŽENÍ MNOŽSTVÍ ČÁSTIC POMOCÍ FILTRŮ

Abychom dodrželi přísné emisní limity pro množství pevných částic vypouštěných do ovzduší ve výfukových plynech, musíme dnes používat filtry pevných částic. Ty nám umožňují spolu s kombinací přímého vstřikování dosáhnout snížení množství pevných částic o více jak 95 %. Bohužel spousta nových automobilů používá i dnes starší motory, které plní „pouze“ emisní limity Euro 4 bez těchto filtrů a toto množství pevných částic je stále poměrně vysoké. [4]

3.3 MNOŽSTVÍ ČÁSTIC S POUŽITÍM FILTRU A BEZ FILTRU

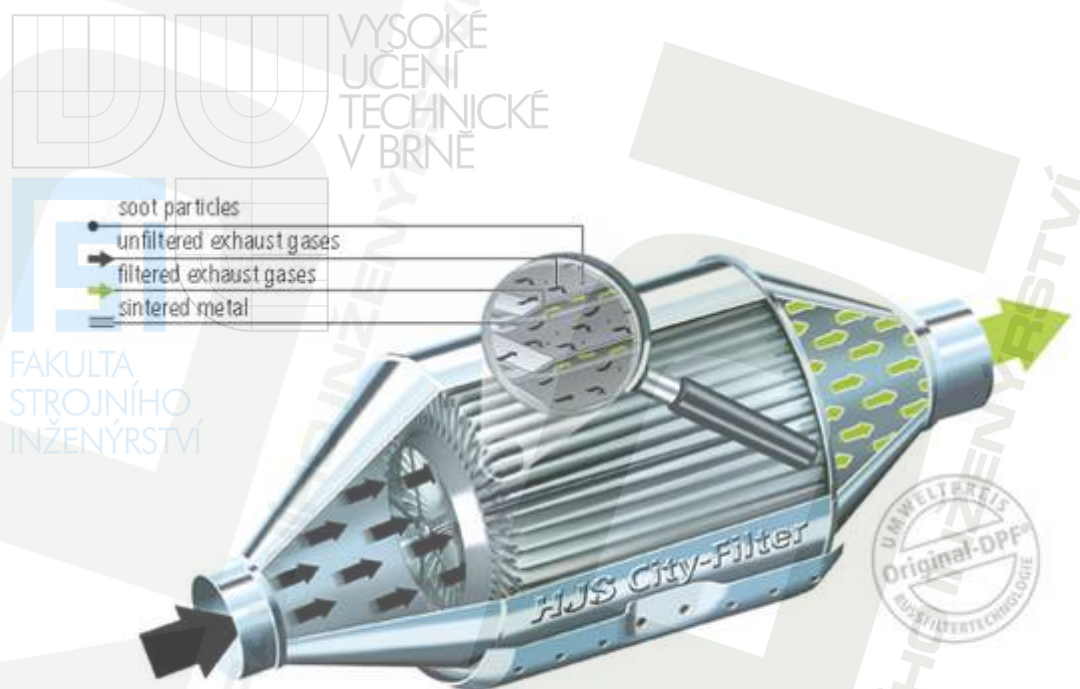
Moderní motory se vstřikováním common rail bez filtru vyprodukují při ujetí 80 000 km v průměru cca 3 kg sazí. Pokud je tento stejný motor vybaven filtrem pevných částic, na stejné vzdálenosti vypustí méně než 100 g sazí. Ukázka kouřivosti na obr. 3. [5]



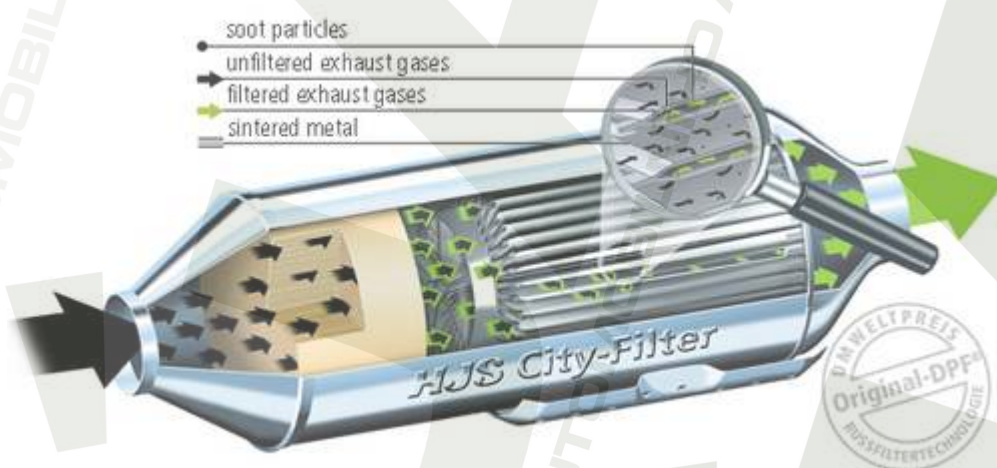
Obr. 3. Dva kapesníky přiložené na stejnou dobu k výfuku. Vlevo vůz bez filtru, vpravo s filtrem. [11]

4 FILTRY PEVNÝCH ČÁSTIC

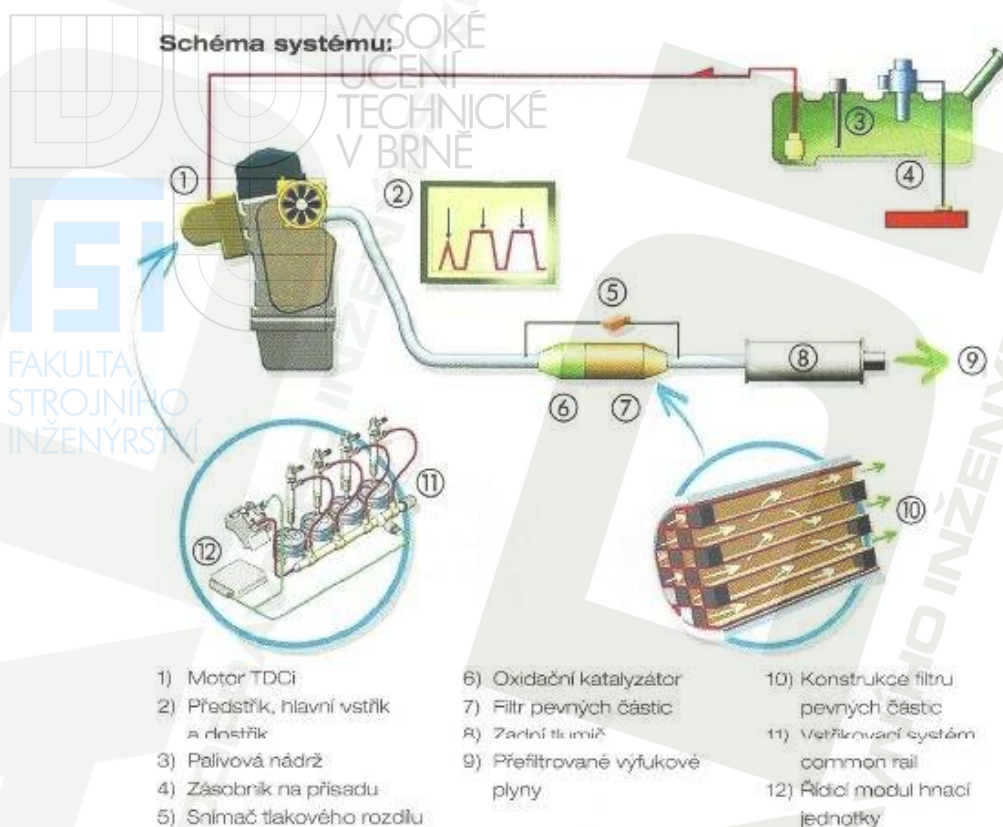
Filtr pevných částic se poprvé objevil u nové generace dieslových motorů od výrobců automobilů Peugeot a Citroen v roce 2000 a jeho zavedení je považováno za stejně významné, jako bylo před léty zavedení oxidačního katalyzátoru. Filtr pevných částic se nachází stejně jako oxidační katalyzátor ve výfukovém potrubí. Může být součástí oxidačního katalyzátoru nebo je umístěn za ním (obr. 4. a obr. 5.). [4]



Obr. 4. Filtr pevných částic od firmy HJS. [12]



Obr. 5. Filtr pevných částic spojený s oxidačním katalyzátorem od firmy HJS. [12]



Obr. 6. Schéma umístění filtru pevných částic ve výfukovém potrubí. [11]

Funkce filtru by se dala zjednodušeně přirovnat k funkci molekulového síta, kdy porézní struktura (tvoří ji oxid křemičitý) zachycuje mechanicky pevné částice při průchodu výfukových plynů. Moderní částicové filtry jsou schopny zachytit více než 90 % sazí, včetně mnohých mikročástic a spálit je. Aby se filtr nezanesl, má takzvanou samočisticí schopnost (regeneraci). Tato schopnost má ovšem své nedostatky:

- Jakékoliv filtrování výfukových plynů ve výfukovém systému zvyšuje zpětný tlak těchto plynů, který odpovídajícím způsobem snižuje výkon motoru;
- Čím více částic je ve filtru zachyceno, tím více se nám zvyšuje zpětný tlak výfukových plynů;
- Zapálení a oxidace částic je téměř nemožná, při provozu při normálních rychlostech a normálním rozsahu zatížení motoru;
- Načasování oxidace musí být pečlivě kontrolováno, aby se teplota výfukových plynů nezvýšila na nebezpečnou úroveň, což by poškodilo filtrační média. [1]

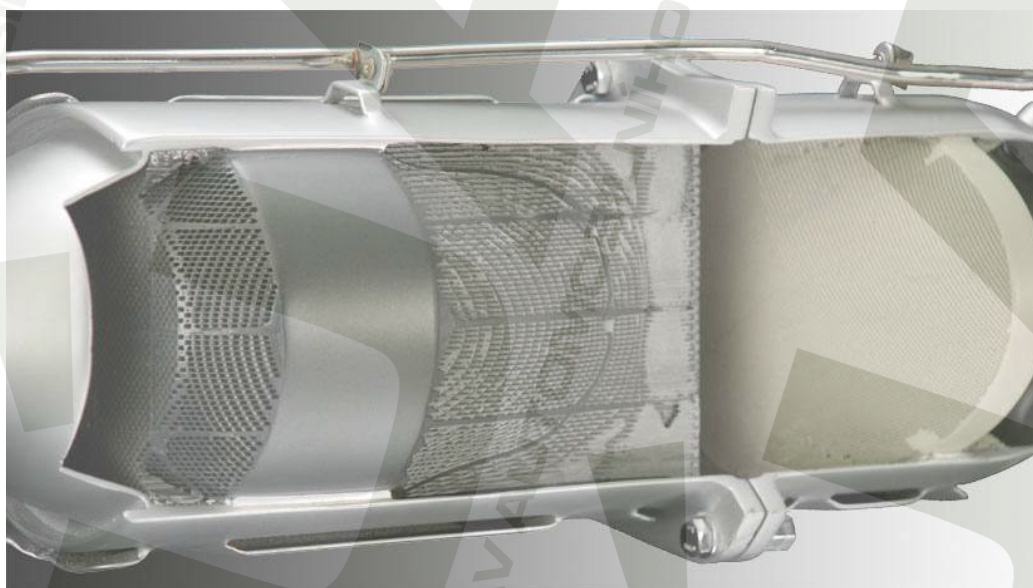
4.1 TYPY FILTRŮ ČÁSTIC DLE ŽIVOTNOSTI

Máme dva základní typy filtrů podle životnosti:

- s omezenou životností (FAP), (obr. 7.)

Tyto filtry jsou používány u motorů HDI. Do nádrže s palivem je přidáváno aditivum ELOYS (kapalina na bázi ceru). Částice oxidu ceru vytvoří vazbu s částicemi sazí ve spalovacím prostoru a jsou zachyceny ve filtru. Při regeneraci přispívá cer spolu s větším povrchem částic k rychlejšímu spalování při nižších teplotách. Produktem oxidace je nejjemnější popel, který se usazuje v tělese filtru pevných částic. Přísada je uložena ve zvláštním zásobníku většinou za palivovou nádrž. Přísada je přidána do motorové nafty po každém natankování, jakmile je nastartován motor a vozidlo dosáhne rychlosti 40km/h anebo po čtyřech minutách v případě, že není dosaženo této rychlosti. Údaje o množství paliva, které bylo natankováno, vyšle spínač klapky palivové nádrže a dále jsou zjištěny na základě porovnání stavu „předtím“ a „potom“, které provede sdružený přístroj. Vlastní dávkování provádí samotné řídicí zařízení, které se nachází pod pravým zadním sedadlem. Čerpadlo umístěné v zásobníku s přísadou dopraví vypočtené množství přísady do palivové nádrže.

Vzhledem k usazování nejjemnějších částic ve filtru, které se nespálí ani při regeneraci, je nutno tyto filtry po čase vyměnit. Životnost filtru se pohybuje od 120 000 do 180 000 ujetých kilometrů. [4],[5]

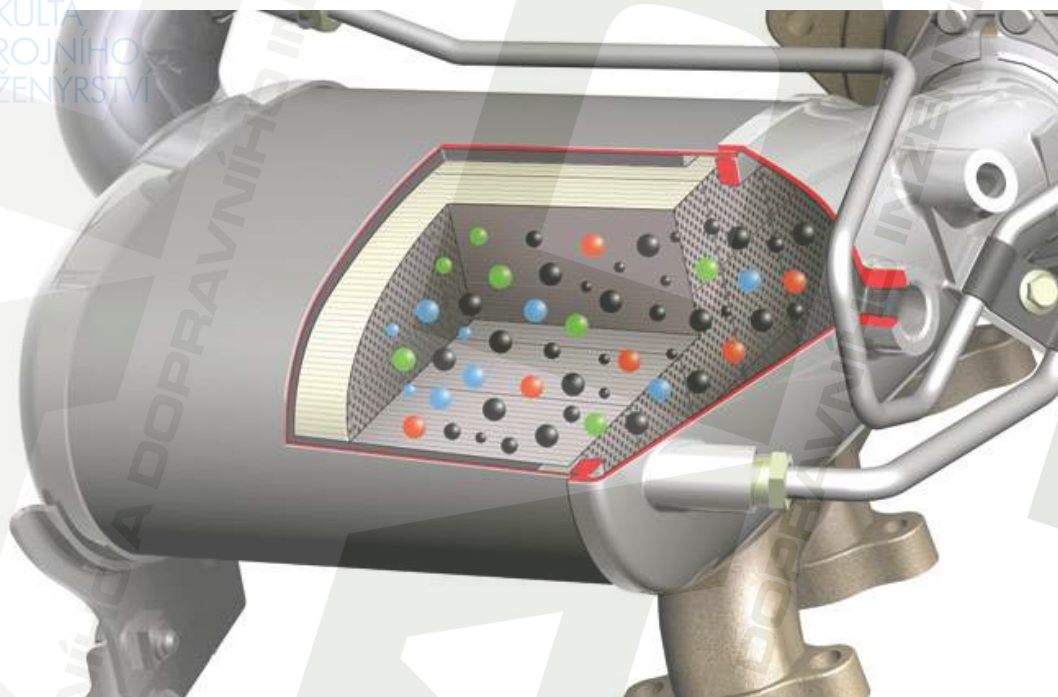


Obr. 7. FAP filtr používaný firmou Citroen. [13]

- s neomezenou životností (DPF), (obr. 8.)

Funkce těchto filtrů je stejná jako u filtrů FAP. Filtrační vložky jsou zde pokryty drahými kovy, které nám nahrazují funkci aditiva, kterémž není přidáváno do paliva a všechny nahromaděné částice ve filtru se spálí během regenerace a tudíž není potřebná jakákoliv výměna. Životnost těchto filtrů je shodná s životností samotného motoru. [5]

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ



Obr. 8. DPF filtr používaný firmou Volkswagen. [14]

4.2 REGENERACE FILTRŮ

Regenerace je vyvolána automaticky, nezávisle na vůli řidiče (ten jí nijak nepostřehne), v závislosti na množství usazených pevných částic po ujetí 300 až 1000 km. Okamžik zahájení regenerace závisí především na profilu uživatele, který je stanoven na základě různých parametrů řídicím modulem pohonné jednotky, a dále na tlakovém rozdílu, který je vypočítán na základě měření tlaků výfukových plynů v trubkách trvale umístěných před filtrem a za ním a na základě porovnání těchto tlaků. Snímač tlakového rozdílu vysílá údaje do řídicího modulu hnací jednotky, která vypočítá množství pevných částic na základě uživatelského profilu. Jestliže je překročen nastavený limit a pokud to umožní provozní podmínky, řídicí jednotka vyvolá následující změny provozního režimu, které způsobí zvýšení teploty ve výfukovém systému a tedy regeneraci filtru. [7]

Regenerace filtru od nahromaděných částic při spalování lze zlepšit zavedením vnějšího přívodu vzduchu do výfukových plynů tak, aby mohl podporovat hoření a zároveň aby se zvýšila okolní teplota na bod vzplanutí pevných částic. Bohužel hlavní problém je, že nafta částice vznítí při 500 °C až 600 °C, a to je hodně nad normální provozní teplotu výfukových plynů, která se obecně pohybuje mezi 200 °C a 500 °C, od volnoběžných otáček do plného zatížení.

Nabízí se nám dvě možnosti, a to jsou buď zvýšit teplotu výfukových plynů, nebo nižší bod vzplanutí částic. [1]

První metoda může být dosažena u běžných motorů do určité míry tím, že včleníme tepelný reaktor nebo elektrické topné těleso do uzavřených chodeb ve filtru. U motorů s vysokotlakovým vstřikováním paliva common rail dochází ke zvýšení teploty výfukových plynů ve dvou etapách. Jakmile je zjištěna potřeba regenerace filtru dojde k dodatečnému vstříknutí paliva po základním vstřiku, čímž dochází k následnému hoření paliva ve válci. V této etapě dochází ke zvýšení teploty o 200 až 250 °C. Při dodatečném vstřiku a následném hoření vznikají i nespálené uhlovodíky, které jsou obsaženy ve výfukových plynech. Nespálené uhlovodíky jsou poté spalovány v oxidačním katalyzátoru, který je umístěn na vstupu do filtru a tím dochází k dalšímu zvýšení teploty výfukových plynů asi o 100 °C. Tím je dosaženo požadované teploty a může tak dojít ke spalovacímu procesu (regeneraci), kdy jsou spáleny usazené pevné částice. [1],[4]

Druhým přístupem, který je nejslibnější, lze dosáhnout povlakováním průchodů zdí filtru s katalytickým materiálem. Výsledkem je snížení bodu vzplanutí částic až na 200 °C a současně oxidace oxidu uhelnatého a uhlovodíků procházející s vyhořelým výfukovým plynem. Oxidační filtr může být efektivní pro malé vznětové motory, které mají tendenci běžet s vysokými teplotami výfukových plynů. Nicméně, velké dieselové motory produkují relativně více částic a pracují s nižšími teplotami výfukových plynů, a to způsobuje regeneraci částic mnohem obtížnější. [1]

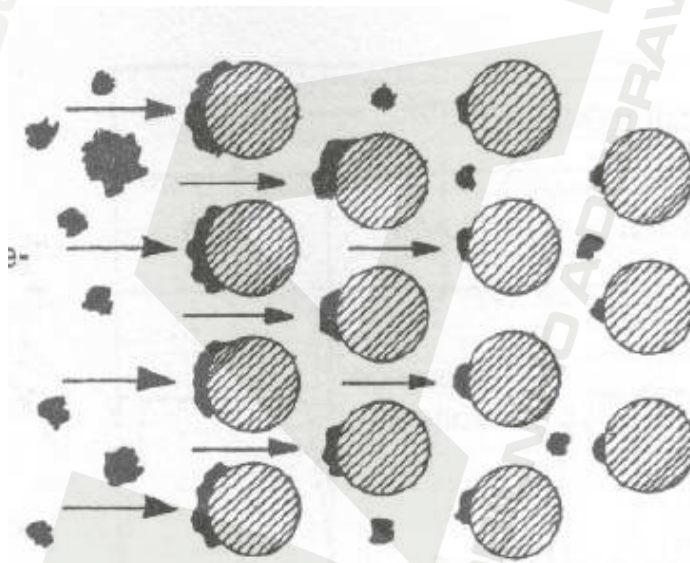
5 ZÁKLADNÍ METODY ZACHYTÁVÁNÍ PEVNÝCH ČÁSTIC

Existují tři základní metody mechanického odchytu pevných částic aniž by byl narušen průtok výfukového plynu, které můžeme rozdělit:

- 1 Zaklínění
- 2 Zachycení, zastavení
- 3 Difúze

5.1 ZAKLÍNĚNÍ

Zde jsou velké částice zastaveny v proudu výfukových plynů, zaklínují se a udržují na povrchu pramenů drátěného pletiva, nebo se hromadí na dřívě zaklíněných částicích. Nadměrné zablokování brání pravidelné oxidaci (regeneraci) shromážděných pevných částic. Schéma zaklínění na obr. 9. [1]

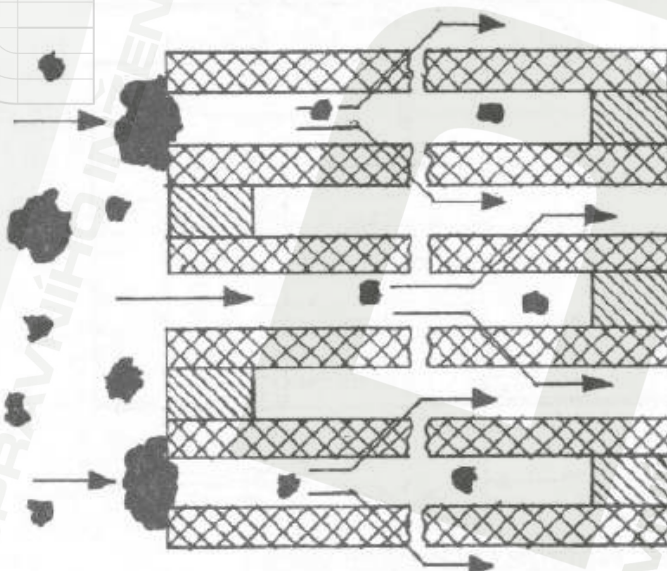


Obr. 9. Schéma funkce zaklíňovacího filtru. [15]

5.2 ZACHYCENÍ

Zde se středně velké částice, pohybující se v průtoku výfukových plynů, srazí s ústí jednotlivých chodeb. Zachycení pokračuje i s větší množstvím částic, které bombardují a

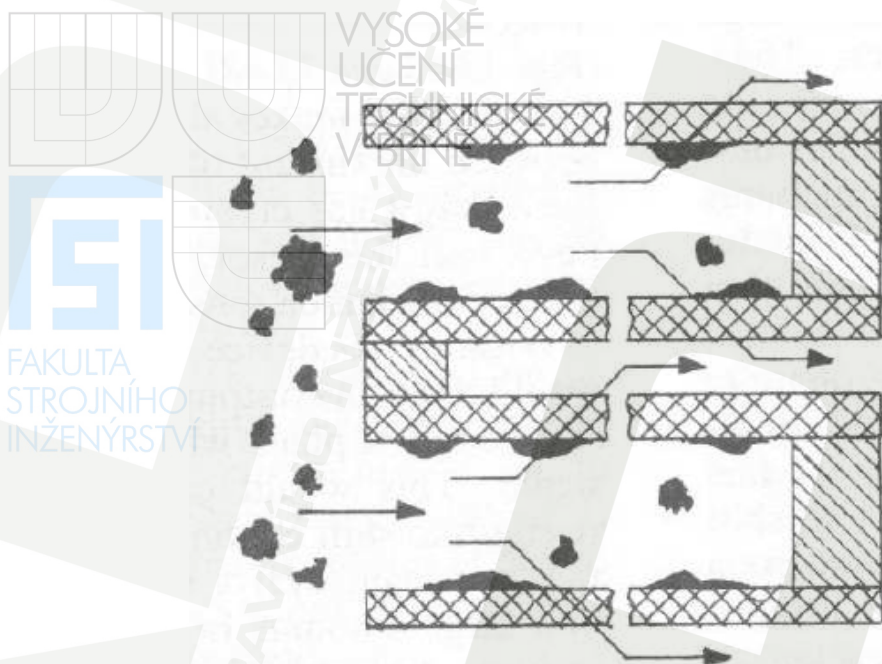
částečně blokuji vchody do cest filtru, částice jsou zachycovány dokud generované teplo není dostatečně vysoké, aby vypálilo nahromaděné částice. Tím se filtr vyčistí (regeneruje) a jeho funkce je obnovena. Schéma zachycení na obr. 10. [1]



Obr. 10. Schéma funkce zachycovacího filtru. [15]

5.3 DIFÚZE

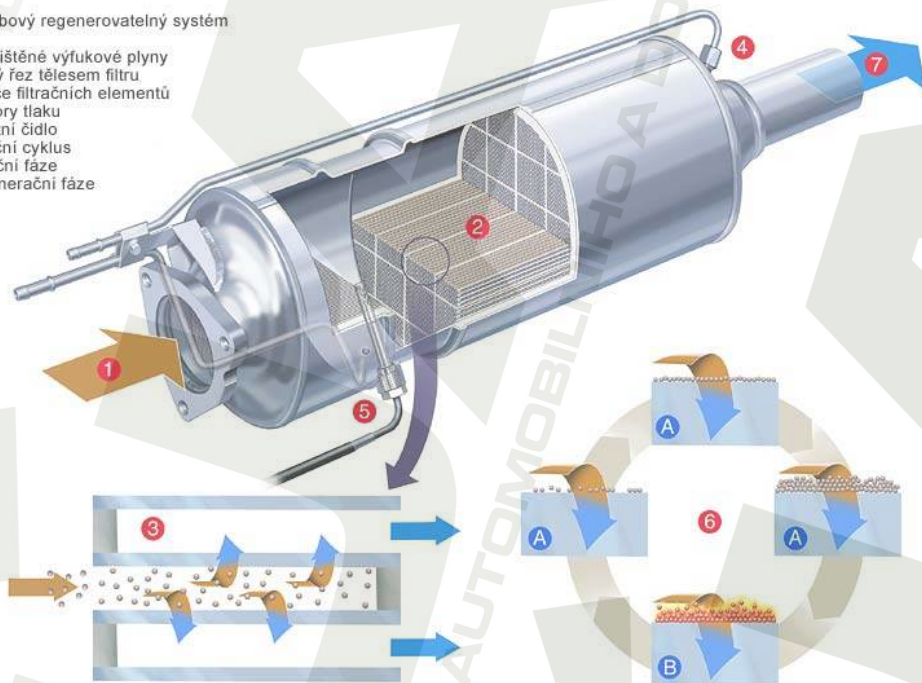
Zde se malé částice vstupující do chodeb filtru připojují a spojují se s porézní stěnou nebo ulpívají na stávajících částicích, které se již staly součástí porézního povrchu filtru. Na základě toho se porézní stěny filtru časem ucpou natolik a tím dojde k nárůstu zpětného tlaku ve výfukových plynech. To zapříčiní vstřikování více paliva do motoru, aby se vyrovnal výsledný ztrátový výkon. Důsledkem toho bude nárůst teploty výfukových plynů až do bodu vzplanutí částic. Tím docílíme spálení nahromaděných částic (regeneraci) filtru. Schéma difúzního spojení na obr. 11. Níže pak ukázky filtrů od různých výrobců (obr. 12. a obr. 13.) [1]



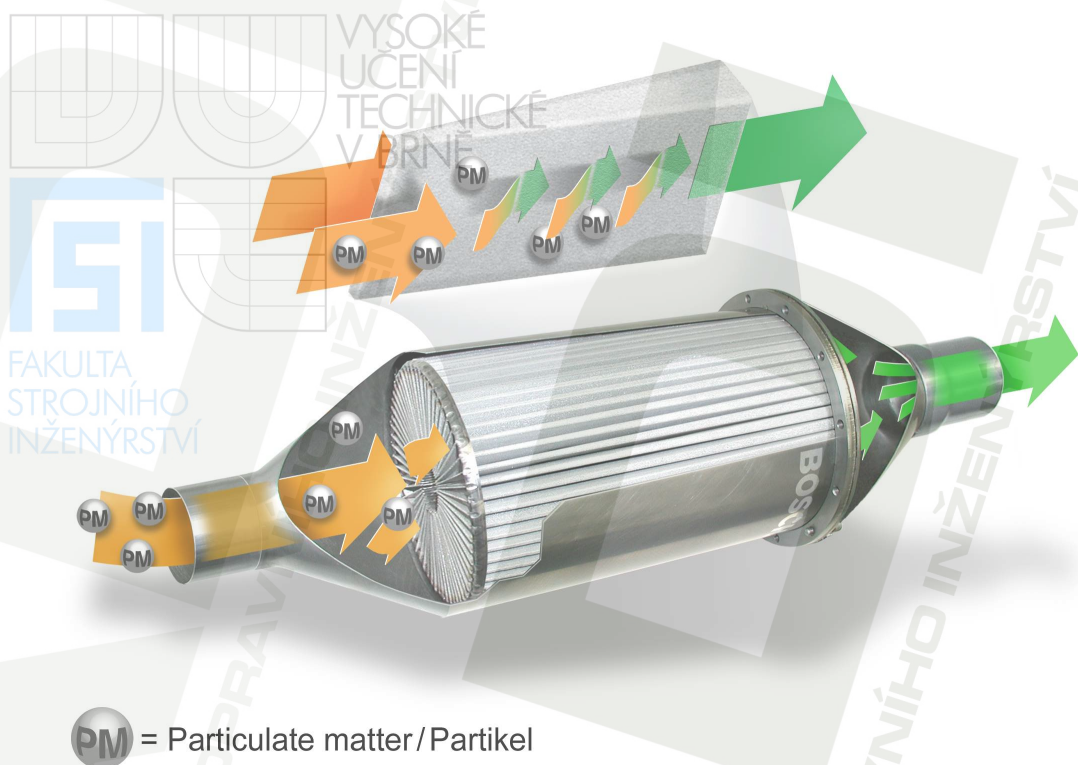
Obr. 11. Schéma funkce difuzního filtru. [15]

Bezúdržbový regenerovatelný systém

1. Předčištěné výfukové plyny
2. Příčný řez tělesem filtru
3. Funkce filtračních elementů
4. Senzory tlaku
5. Teplotní čidlo
6. Filtrační cyklus
- A. Filtrační fáze
- B. Regenerační fáze



Obr. 12. Filtr používaný firmou Opel. [16]



Obr. 13. Difuzní filtr od firmy Bosch. [17]

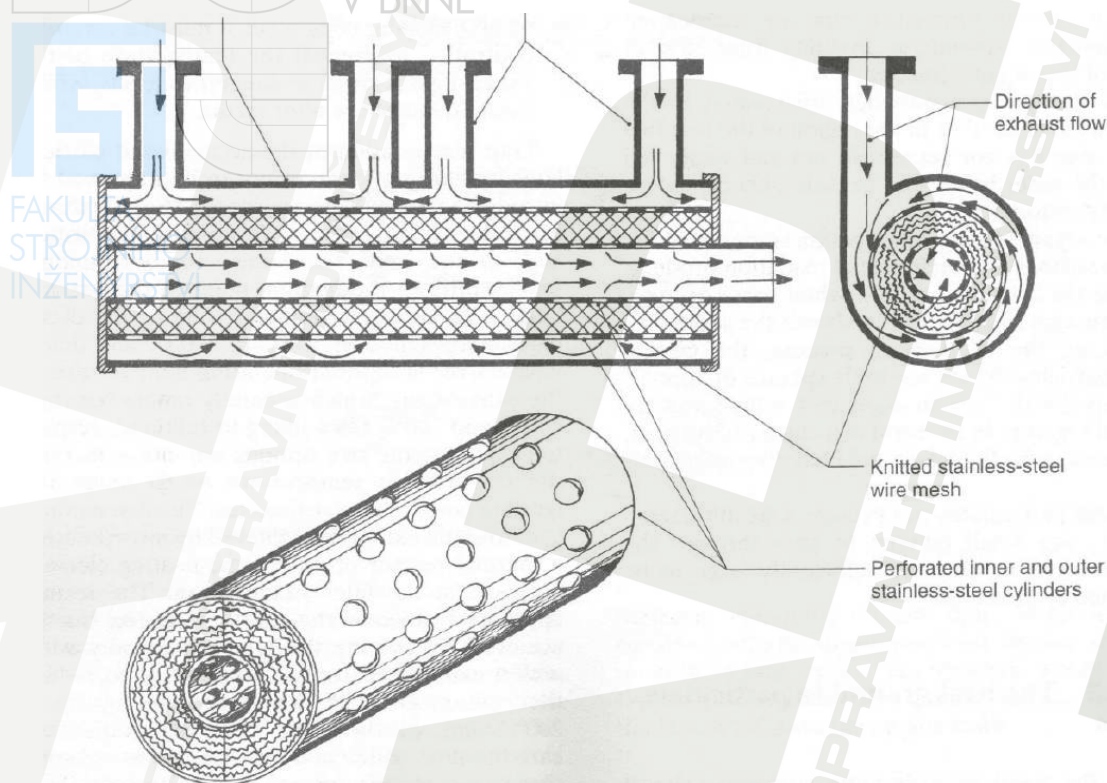
6. TYPY FILTRŮ DLE KONSTRUKCE

6.1 DRÁTĚNÝ FILTR PEVNÝCH ČÁSTIC

Základ filtru je vyroben z nerezového pletiva stlačeného mezi vnitřní a vnější perforované válcové pláště. Drátěné pletivo je tkané a srolované, aby se poměr nízké hustoty povrchu ku objemu ke středu zvětšoval. Tím jsou větší částice uvězněny ve vnějším obvodu pletiva, zatímco menší částice jsou zadrženy na vnitřní průměru. Tato progresivní změna z otevřeného vnějšího průměru oka na více uzavřených vnitřních průměrů oka umožňuje zachycení částic různých velikostí v různých hloubkách. Tato konstrukce brání shromažďování částic pouze ve vnější oblasti ok, ve které by se mohl filtr rychle ucpat. Drátěná oka jsou potažena ohnivzdornou vrstvou ze vzácných kovů, která nám napomáhá s oxidací. Hrubý nepravidelý povrch zvyšuje mnohonásobně povrch katalyzátoru a proto značně urychluje činnost na povrchu katalyzátoru.

Vyosení vstupního potrubí do filtru nám zprostředkovává vířivý pohyb výfukových plynů ve filtru. To umožňuje rovnoměrné zatížení filtru, aby se neucpával pouze z jedné strany.

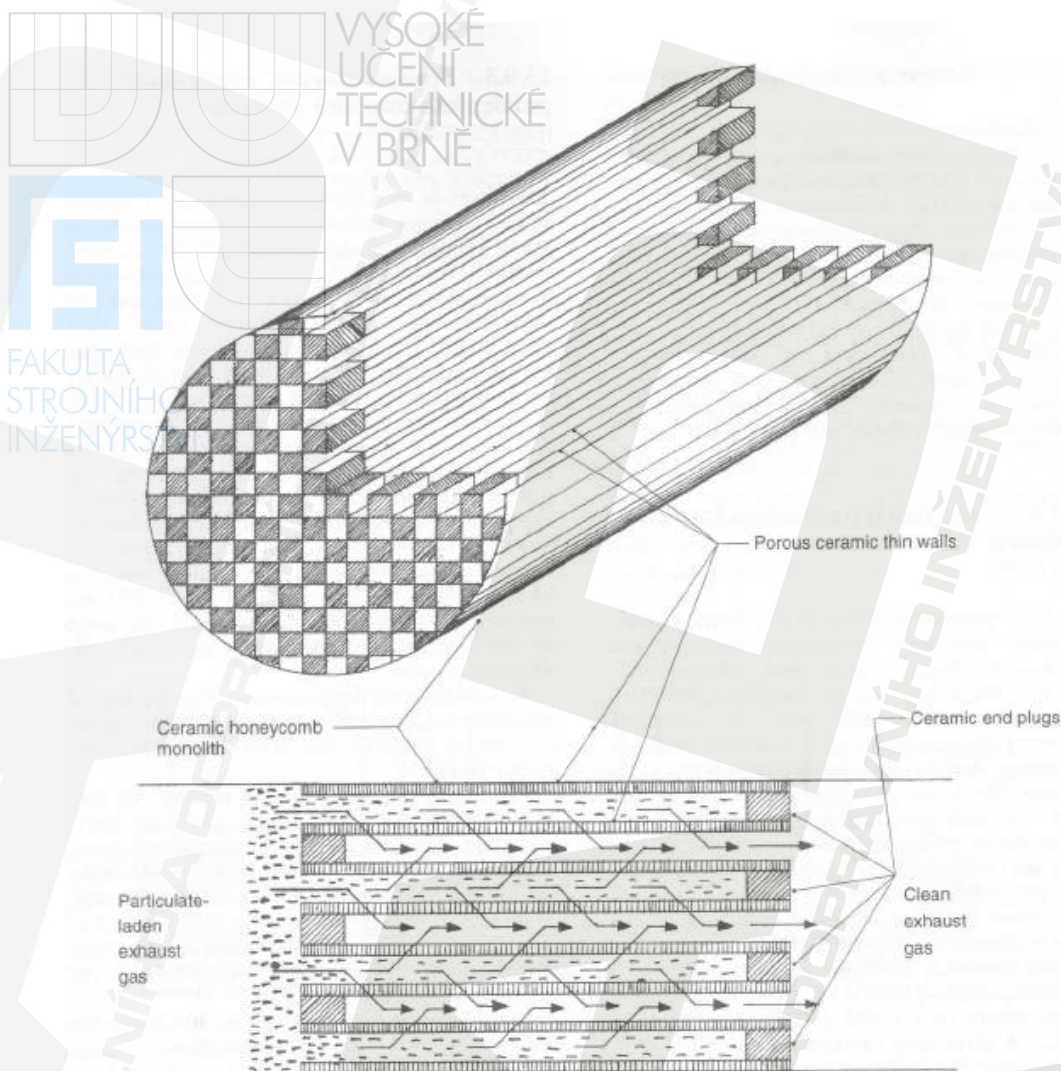
Současně, drátěné pletivo dává vysoký stupeň turbulentního průtoku výfukových plynů, který umožňuje efektivní filtraci a oxidaci částic. Schéma na obr. 14. [1]



Obr. 14. Filtr s drátěnou vložkou. [15]

6.2 FILTR PEVNÝCH ČÁSTIC S KERAMICKOU VLOŽKOU

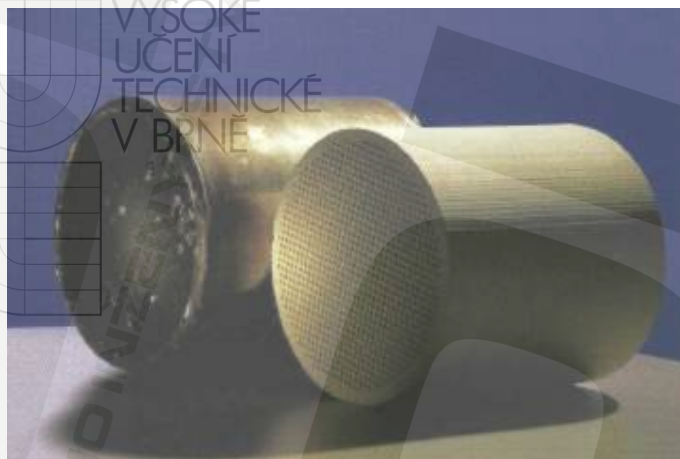
Tento typ filtru se skládá z porézní keramické voštinové struktury, která má mnoho paralelních pasáží přibližně čtvercového průřezu. Alternativní průchody jsou blokovány na obou koncích, tyto vstupní a výstupní povrchy připomínají černé a bílé čtverce šachovnice. Vstupní chodby jsou zaslepeny na opačném konci vstupu a výstupní chodby jsou zaslepeny na vstupu a jsou otevřeny na výstupu. Výfukový plyn vstupující do vstupní chodby je nucen přejít v pravém úhlu přes tenké porézní keramické stěny do výstupních průchodů a nakonec filtrovaný výfukový plyn je vyloučen do zadní výstupní komory filtru. Stejně jako u běžných třicestných katalyzátorů jsou průchozí stěny upraveny ohnivzdorným povrchem, který je napuštěn drahými kovy, které mají urychlit proces oxidace uhlovodíků a oxidu uhelnatého. Schéma na obr. 15. Níže jsou pak ukázány různé konstrukce filtrů (obr. 16., obr. 17. a obr. 18.) [1]



Obr. 15. Keramická vložka. [15]



Obr. 16. Filtr pevných částic s voštinovou vložkou. [18]



Obr. 17. Voštinová vložka. [11]



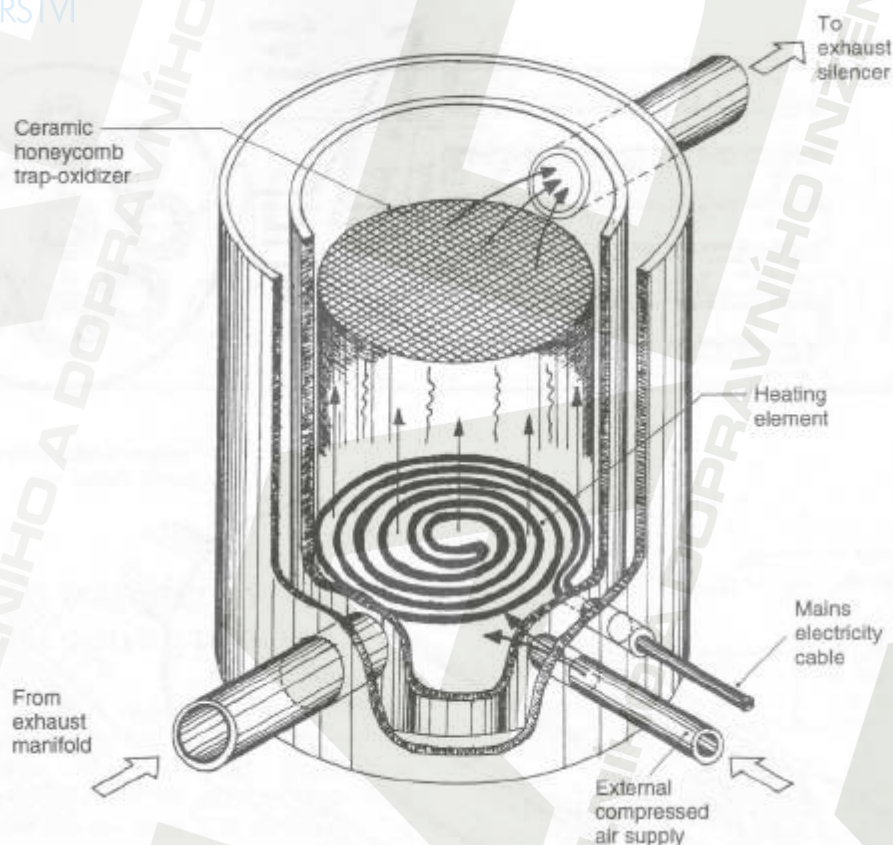
Obr. 18. Další konstrukce keramického filtru. [19]

Typický pokles tlaků skrz čistý neucpaný keramický filtr se pohybuje zhruba od 0,02 barů do 0,15 barů, při 1000 do 4500 min⁻¹.

Odstranění pevných částic z filtru je ovlivněno poklesem tlaku ve filtru, čím jak jsou průchody částečně ucpané, což vyžaduje více paliva, které je třeba vstříknout do motoru, aby se kompenzoval výsledný ztrátový výkon. Důsledkem je zvýšení teploty výfukových plynů, která aktivuje hoření a oxidaci nahromaděných částic. [1]

Velké vznětové motory, které pracují s mnohem nižšími teplotami výfukových plynů, vyžadují externí zdroj tepla a další vzduch na podporu spalování pro regeneraci

nahromaděných částic. Jedna verze vhodná pro autobusy a nákladní vozidla pracující v městských oblastech, které jezdí vzdálenosti asi od 100 do 250 km za den, obsahuje topný prvek a vzduchové potrubí na jeho základně. Regenerace se provádí u vozidla na konci dne po každé směně připojením externí elektrické sítě a stlačeného vzduchu pro vyčištění filtru. Regenerace kumulovaných částic z výfukových plynů trvá zhruba tři hodiny. Tento filtr snižuje množství částic o 80 % a také snižuje množství uhlovodíků a oxidu uhelnatého nejméně o 60 % a 50 %. Schéma a ukázka filtru na obr. 19. a obr. 20. [1]



Obr. 19. Keramický filtr s externím zdrojem tepla. [15]



Obr. 20. Filtrační jednotka s externím zdrojem tepla od firmy HUSS. [20]

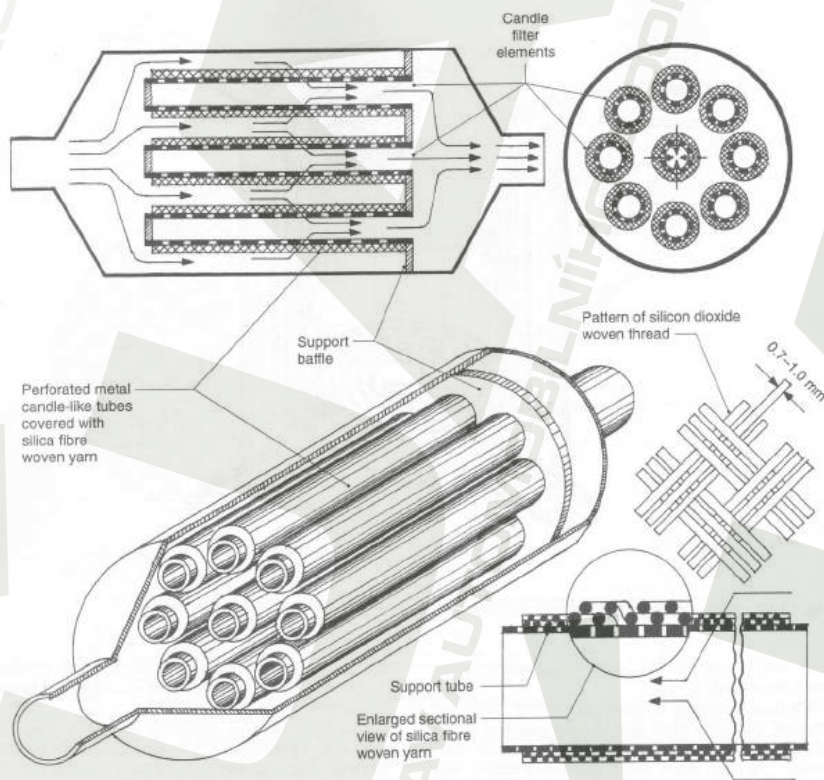
6.3 FILTR PEVNÝCH ČÁSTIC SE „SVÍČKAMI“

Tento přístup zahrnuje devět filtračních prvků. Tyto prvky se skládají z děrovaných kovových trubek, které jsou na jednom konci uzavřené. Kolem těchto trubek jsou tkané vrstvy vláken křemíku, které jsou spleteny jako tkanina do vzoru kříže. Tato tkanina nám funguje jako filtr. Protože tyto prvky připomínají svíčky jsou známy jako svíčky. Tkanina má tloušťku mezi 0,7mm a 1mm. Jednotlivé vlákna z oxidu křemičitého mají průměr 9×10^{-6} mm.

Katalytické oxidace lze dosáhnout uložením žáruvzdorných ploch do tkané příze a jejich impregnací drahými kovy.

Výfukový plyn obsahující pevné částice proudí skrz kónickou sací komorou až do válcovité komory, která obklopuje svíčku. Plyn v okolí svíčky proudí radiálně dovnitř přes tkanou křemíkovou tkaninu a do děrované trubky. Filtrovaný výfukový plyn pak prochází středem trubice do kónické komory směrem k východu z filtru, pak pokračuje k tlumiči výfuku.

Tento filtr produkuje velmi nízký zpětný tlak výfukových plynů a je určen pouze na nízké tepelné a mechanické namáhání. Bohužel dalším nedostatkem je malá kapacita zachycených částic a tudíž vyžaduje častou regeneraci. Schéma na obr. 21. [1]



Obr. 21. Filtr se „svíčkami“ [15]

7. ZÁVĚR

V této bakalářské práci byly zmíněny evropské emisní normy a škodliviny, kterými se tyto normy zabývají. Byl zde naznačen vznik škodlivin a jejich vliv na zdraví člověka. Bylo zde poukázáno především na pevné částice. Jak vznikají, hlavně při spalování uhlovodíkových paliv, a z čeho se skládají. Jako další body práce byly uvedeny dvě metody pro snižování množství částic, které jsou: pomocí vstřikování paliva a pomocí filtrů. Následně zde byl uveden princip filtru a typy filtrů podle několika různých kategorií (životnost, způsoby zachytávání částic, konstrukce).

Snižování pevných částic ve výfukových plynech je v dnešní době velice důležité, protože mají značný vliv na zdraví člověka. Se stále se zvětšující oblibou naftových motorů a se zvyšováním dopravy nám množství pevných částic vypouštěných z výfukových plynů neustále roste. Abychom dodrželi emisní normou předepsané množství vypouštěných pevných částic ve výfukových plynech, musíme v dnešní době používat filtry pevných částic. Na trhu jsou bohužel stále automobily se staršími motory, které plní emisní normu EURO 4 aniž by používaly částicové filtry, toto množství je stále poměrně vysoké. Norma EURO 4 povoluje množství 0,025g/km pevných částic. Filtry částic jsou u těchto vozů většinou nabízeny jako doplňková výbava za nepříliš příznivou cenu. Proto si většina lidí tento filtr nezakoupí. Proti jsou i další faktory, které ovlivňují rozhodnutí o zakoupení tohoto zařízení. Jsou to především: snížení výkonu motoru (jedná se o pár kilowatt) a vyšší spotřeba (jen nepatrně) na rozdíl od motoru bez filtru. Na rozdíl od této normy je zatím poslední norma EURO 5 mnohem přísnější. Ta povoluje pouze množství 0,005g/km, což je z mého pohledu velmi dobré.

Abychom i v budoucnu snižovali množství částic ve výfukových plynech, doporučoval bych používání částicových filtrů u všech naftových motorů, především u těch větších (autobusy, nákladní automobily). Měla by se zlepšit technologie jejich výroby a životnost, aby jejich případná výměna nebyla tak nákladná, jako je tomu dnes.

Dalším směrem pro snižování částic i ostatních emisí jsou nastupující hybridní technologie. Ty nám umožňují použití menších motorů s menší spotřebou a s tím spojené menší množství vyfukovaných částic do ovzduší, stejně tak i emisí. Objevují se již automobily, které jsou schopny jet v určitých režimech pouze na elektromotor, tudíž mají v tu dobu „nulové“ emise. Dalším trendem ve snižování emisí jsou v dnešní době malé přeplňované zážehové motory, které mají dostatečný výkon při relativně malé spotřebě.

POUŽITÉ ZDROJE:

LITERATURA A INTERNETOVÉ ZDROJE:

- [1] HEISLER, Heinz. Advanced engine technology. Oxford: Buterworth-Heinemann, 2002. 794 s. ISBN 1-56091-734-2.
- [2] Autolexikon.net [online]. 4.3.2009 [cit. 2010-05-28]. Emise výfukových plynů. Dostupné z WWW: <<http://cs.autolexikon.net/articles/emise-vyfukovych-plynu>>.
- [3] Rolf Gscheidle a kolektiv: Příručka pro automechanika. Sobotáles. Praha 2001. ISBN 80-85920-76-X
- [4] Auto.cz [online]. 2004 [cit. 2010-05-28]. Slovník pojmů. Dostupné z WWW: <<http://www.auto.cz/main.php?akce=pojmem&site=slovník&id=204>>.
- [5] Autorevue.cz [online]. 2.6.2004 [cit. 2010-05-28]. Filtry pevných částic: naftáky bez sazí (jak to funguje). Dostupné z WWW: <<http://www.biodiesel.cz/download/clanky/filtr-pevnych-castic.pdf>>.
- [6] MELZER, Roman. *Exhaláty ve výfukových plynech*. Pardubice, 2001. 21 s. Seminární práce. Univerzita Pardubice. Dostupné z WWW: <http://envi.upce.cz/pisprace/ks_pce/Melzer.doc>.
- [7] Ford-club [online]. 2010 [cit. 2010-05-28]. Filtr pevných částic - DPF. Dostupné z WWW: <<http://www.ford-club.cz/2010/03/filtr-pevnych-castic-dpf/>>.
- [8] Nazeleno.cz [online]. 2008 [cit. 2010-05-28]. EURO 5: Zdraží emisní limity automobily?. Dostupné z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/nazelenoplus/emise-co2/euro-5-zdrazi-emisni-limity-automobily.aspx>>.

ZDROJE OBRÁZKŮ:

- [9] Chemistryland [online]. 2004 [cit. 2010-05-28]. Detecting water vapor and CO2 in Car Exhaust. Dostupné z WWW: <http://www.chemistryland.com/CHM107Lab/Exp02_Exhaust/Lab2Exp2Exhaust.html>.

- [10] *Truck trend* [online]. 2009 [cit. 2010-05-28]. Weekend On The Edge Diesel Truck Event Exhaust Smoke . Dostupné z WWW: <http://www.trucktrend.com/autoshow/events/163_0904_weekend_on_the_edge_diesel_truck_event/photo_01.html>.
- [11] *Ford-club* [online]. 2010 [cit. 2010-05-28]. Filtr pevných částic - DPF. Dostupné z WWW: <<http://www.ford-club.cz/2010/03/filtr-pevnych-castic-dpf/>>.
- [12] *HJS.com* [online]. 2010 [cit. 2010-05-28]. Technology and how it works. Dostupné z WWW: <http://www.hjs.com/en/166/0/seite_1/Vehicles_&_Applications/Light_Duty_Trucks/Diesel_Part particulate_Filters/Technology_&_How_it_works/technology___how_it_works.html> .
- [13] *Citroen* [online]. 2010 [cit. 2010-05-28]. Životní prostředí. Dostupné z WWW: <<http://www.citroen.cz/citroen-c3/zivotni-prostredi/#/citroen-c3/zivotni-prostredi/>>.
- [14] *Volkswagen.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-05-28]. Filtr pevných částic. Dostupné z WWW: <<http://www.volkswagen.cz/technika/filtr/>>.
- [15] HEISLER, Heinz. Advanced engine technology. Oxford: Buterworth-Heinemann, 2002. 794 s. ISBN 1-56091-734-2.
- [16] *Auto.cz* [online]. 2004 [cit. 2010-05-28]. Opel: nový turbodiesel 1.9 CDTI + filtr pevných částic. Dostupné z WWW: <<http://news.auto.cz/aktuality/opel-novy-turbodiesel-1-9-cdti-filtr-pevnych-castic.html>>.
- [17] *AUTOpart.cz* [online]. 2005 [cit. 2010-05-28]. Filtr pevných částic. Dostupné z WWW: <http://www.autopart.cz/generate_page.php?page_id=7592>.
- [18] *Eberspaecher.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-05-28]. Filtr pevných částic. Dostupné z WWW: <http://www.eberspaecher.cz/servlet/PB/menu/1048688_11/index.html>.
- [19] *Autoweb.cz* [online]. 2006 [cit. 2010-05-28]. Filtr pevných částic povinně. Dostupné z WWW: <<http://www.autoweb.cz/ze-zakulisi/filtry-pevnych-castic-povinne/8908>>.
- [20] *JHI.cz* [online]. 2006 [cit. 2010-05-28]. Filtry řady W. Dostupné z WWW: <<http://www.jhi.cz/w.htm>>.

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ:

Obr. 1. Dokonalé spalování – vznik CO_2 a H_2O .	10
Obr. 2. Americký truck při závodech a saze (pevné částice), které vypouští.	13
Obr. 3. Dva kapesníky přiložené na stejnou dobu k výfuku.	15
Obr. 4. Filtr pevných částic od firmy HJS.	16
Obr. 5. Filtr pevných částic spojený s oxidačním katalyzátorem od firmy HJS.	16
Obr. 6. Schéma umístění filtru pevných částic ve výfukovém potrubí.	17
Obr. 7. FAP filtr používaný firmou Citroen	18
Obr. 8. DPF filtr používaný firmou Volkswagen.	19
Obr. 9. Schéma funkce zaklíňovacího filtru.	21
Obr. 10. Schéma funkce zachycovacího filtru.	22
Obr. 11. Schéma funkce difuzního filtru.	23
Obr. 12. Filtr používaný firmou Opel.	23
Obr. 13. Difuzní filtr od firmy Bosch.	24
Obr. 14. Filtr s drátěnou vložkou.	25
Obr. 15. Keramická vložka	26
Obr. 16. Filtr pevných částic s voštinovou vložkou	26
Obr. 17. Voštinová vložka.	27
Obr. 18. Další konstrukce keramického filtru.	27
Obr. 19. Keramický filtr s externím zdrojem tepla.	28
Obr. 20. Filtrační jednotka s externím zdrojem tepla od firmy HUSS	28
Obr. 21. Filtr se „svíčkami“	29

TABULKA:

Tabulka 1. Emisní normy.	11
---------------------------------	----