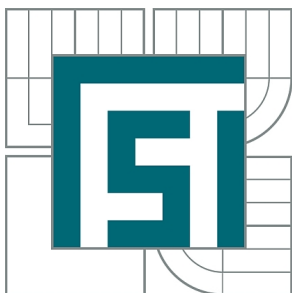


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## FILTRY PEVNÝCH ČÁSTIC A ZPŮSOBY JEJICH REGENERACE

DIESEL PARTICULATE FILTERS AND VARIOUS TYPES OF THEIR REGENERATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAKUB STAREČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RADIM DUNDÁLEK, Ph.D.

BRNO 2013



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Jakub Stareček

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

### **Filtry pevných částic a způsoby jejich regenerace**

v anglickém jazyce:

#### **Diesel Particulate Filters and Various Types of their Regeneration**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Osvojení základních pojmů zadané problematiky. Zamyšlení nad budoucností a smyslem snižování limitů škodlivých sloučenin ve výfukových plynech spalovacích motorů.

Cíle bakalářské práce:

Objasnění principu funkce filtru pevných částic. Vytvoření přehledu vyráběných systémů filtrů pevných částic. Způsoby regenerace. Příklady instalace do vozidel. Provozní aspekty.

Seznam odborné literatury:

[1]Exhaust Systems for Motor Vehicles : Catalytic Converters for Otto Cycle Engines.  
Landsberg/Lech : Verlag Moderne Industrie, 2001. 70 s.

[2] Internet

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 19.11.2012

L.S.

---

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty



## **ABSTRAKT**

Tato práce pojednává o vzniku pevných částic a jejich regulací ve výfukových plynech. Je zde vysvětlen princip filtrů pevných částic, charakteristika jednotlivých typů, rešerše výrobců a v závěru je krátké zamyšlení nad budoucností filtrů pevných částic u benzínových motorů.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Filtr pevných částic, DPF, FAP, emise.

## **ABSTRACT**

This work deals about creation particulate matter and their reduction in exhaust gasses. The work explains principle of forming particulate matter, characteristics of individual types, overview of filter producers and thoughts about particle filters in gasoline engines at the end.

## **KEYWORDS**

Emission, particulate matter, particulate trap, DPF, FAP.



## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

STAREČEK, J. *Filtry pevných částic a způsoby jejich regenerace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 45 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Radima Dundálka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2013

.....

Jakub Stareček



## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu této bakalářské práce Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky. Také děkuji svým rodičům za morální a finanční podporu během studia.





## OBSAH

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| Úvod .....                                              | 11 |
| 1 Pevné částice.....                                    | 12 |
| 1.1 Vznik pevných částic .....                          | 12 |
| 1.2 Vliv na zdraví člověka .....                        | 12 |
| 1.3 Vliv na životní prostředí .....                     | 13 |
| 2 Normy Euro a Tier.....                                | 14 |
| 2.1 Norma Euro.....                                     | 15 |
| 2.2 Norma Tier / Stage.....                             | 16 |
| 3 Princip filtru pevných částic .....                   | 19 |
| 3.1 Druhy regenerací.....                               | 21 |
| 3.1.1 Pasivní regenerace .....                          | 21 |
| 3.1.2 Aktivní regenerace.....                           | 22 |
| 3.2 Filtry bez aditiva a s aditivem.....                | 22 |
| 3.2.1 Filtry pevných částic s přídatným aditivem.....   | 22 |
| 3.2.2 Filtry pevných částic bez aditiva .....           | 23 |
| 3.3 Životnost FAP.....                                  | 23 |
| 4 Dodatečná montáž .....                                | 24 |
| 5 Demontáž filtrů.....                                  | 25 |
| 6 Výrobci filtru pevných částic a jejich produkty ..... | 26 |
| 6.1 Baumot.....                                         | 26 |
| 6.1.1 Filtry s pasivní regenerací .....                 | 27 |
| 6.1.2 Filtry s aktivní regenerací.....                  | 27 |
| 6.1.3 Hybridní filtry.....                              | 28 |
| 6.2 HJS.....                                            | 29 |
| 6.2.1 Filtry s pasivní regenerací .....                 | 29 |
| 6.3 HUSS .....                                          | 30 |
| 6.3.1 Filtry s aktivní regenerací.....                  | 30 |
| 6.3.2 Filtry s pasivní regenerací .....                 | 31 |
| 6.4 Pirelli Feelpure DPF .....                          | 32 |
| 6.4.1 Filtry s pasivní regenerací .....                 | 32 |
| 6.4.2 Filtry s aktivní regenerací.....                  | 32 |
| 6.5 Emitec .....                                        | 33 |
| 6.5.1 Systém s pasivní regenerací.....                  | 33 |
| 6.6 Engine Control Systems.....                         | 34 |
| 6.6.1 Systém s pasivní regenerací.....                  | 34 |



|       |                                                |    |
|-------|------------------------------------------------|----|
| 6.6.2 | Systém s aktivní regenerací .....              | 34 |
| 6.7   | Ostatní výrobci.....                           | 35 |
| 7     | Filtry pevných částic a benzínové motory ..... | 37 |
|       | Závěr .....                                    | 39 |
|       | Použité informační zdroje.....                 | 40 |
|       | Seznam obrázků, tabulek a grafů.....           | 44 |
|       | Seznam použitých zkratk a symbolů .....        | 45 |



## ÚVOD

Svět techniky se jako každé vědní odvětví s dobou stále mění. Když Rudolf Diesel přišel se svým prvním vznětovým motorem, vůbec nebral ohled na spotřebu nebo emise, které motor produkoval. Dnes však víme, že záleží na spoustě parametrů, aby bylo zařízení přelomové nebo alespoň splňovalo normy, které člověk v průběhu let nastolil. Jedním z mnoha parametrů je množství emisí a pevných částic ve výfukových plynech. Při spalování ropných produktů dochází ke tvorbě sazí, které mají neblahý vliv na lidské zdraví, životní prostředí a kvalitu ovzduší. Pokud k tomuto problému přidáme fakt stále se zvyšujícího počtu lidí a automobilů, zjistíme, že ony emise jsou velmi důležitým prvkem pro budoucnost lidského přežití na naší Zemi. Měli bychom proto této problematice věnovat zvýšenou pozornost. Ve své práci vysvětlím, co jsou pevné částice, jaké emisní normy dnes musíme při provozu vozidel splňovat, jakým způsobem můžeme emise snižovat a jaké prostředky pro snižování pevných částic na dnešním trhu nalezneme.



# 1 PEVNÉ ČÁSTICE

## 1.1 VZNIK PEVNÝCH ČÁSTIC

Pevné částice vznikají nedokonalým hořením ve vznětových spalovacích motorech, které zpravidla nejsou vybaveny katalyzátorem, jsou produktem průmyslové výroby nebo vytápění. Vznik pevných částic je však spojen i s přírodními procesy jako jsou výbuchy sopek, lesní požáry apod. Mechanismus vzniku sazí je velmi prostý. Saze vznikají vlivem nedostatku kyslíku při hoření. Pokud kapička paliva nemá dostatečné množství kyslíku pro hoření, dojde k tomu, že za vysoké teploty zoxiduje pouze vodík, který je přítomen v oné kapičce. Uhlík nemá dostatečný prostor pro to, aby také zoxidoval, a tak se přemění do pevného skupenství, tedy v saze.

Obecně lze říci, že během spalování paliv vznětových motorů dochází k přeměně kapalných uhlovodíků - sloučeniny uhlíku (C) a vodíku (H) na oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) a vodní páru ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Tento děj je však ideální a ve skutečnosti probíhá za vzniku dalších sloučenin jako jsou oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), nespálené uhlovodíky (HC), pevné částice a další.

Pevné částice (saze) jsou tvořené uhlíkem (C), který je schopen na sebe navázat další pro člověka nebezpečné látky. Po smísení se vzduchem, popřípadě kapalinou dochází ke vzniku aerosolů. Částice vzniklé ve spalovacích motorech jsou zpravidla kulovitěho tvaru a jsou schopny shlukovat se do větších celků připomínající řetězce. Během procesu spalování nevznikají stejně velké částice, a tak je rozdělujeme do několika kategorií podle velikosti. [2][3][4]

- $\text{PM}_{10}$  – částice menší než  $10\text{ }\mu\text{m}$
- $\text{PM}_{2,5}$  – částice menší než  $2,5\text{ }\mu\text{m}$
- $\text{PM}_1$  – částice menší než  $1\text{ }\mu\text{m}$
- $\text{PM}_{0,1}$  – částice menší než  $100\text{ nm}$

Klasický katalyzátor není schopen odstranit pevné částice, avšak díky filtru pevných částic jsme schopni více jak 95% sazí zachytit. Podle měření výrobců automobil s filtrem pevných částic vyprodukuje v průměru 3gramy sazí na 80 000 kilometrů, oproti tomu automobily bez filtru, vyprodukují až 100gramů sazí během stejné ujeté vzdálenosti. [5][6]

## 1.2 VLIV NA ZDRAVÍ ČLOVĚKA

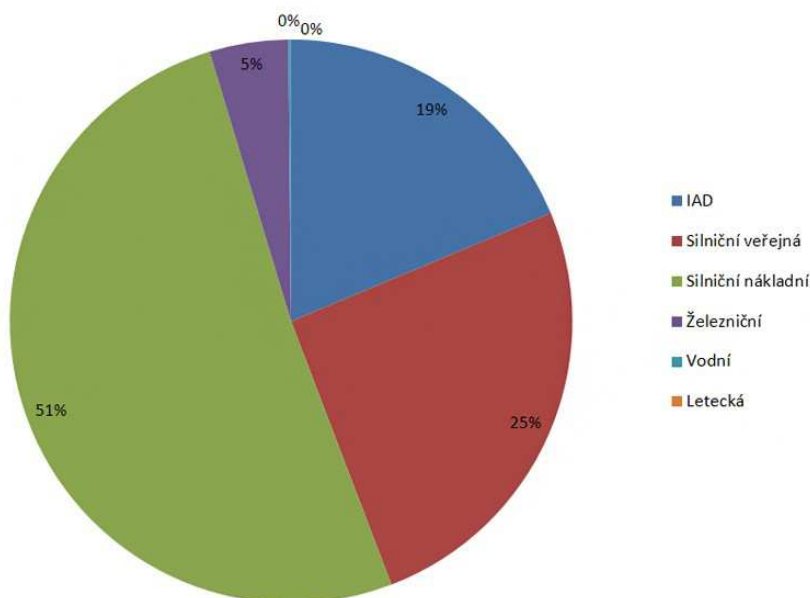
Velikost částic je rozhodující v pronikání škodlivin do lidského organismu. Větší částice se zachycují na chloupkách v nose. Částice menší než  $10\text{ }\mu\text{m}$  pronikají za hrtan do dolních cest dýchacích a ultrajemné částice (částice do velikosti  $100\text{ nm}$ ) jsou schopny proniknout přes plicní sklípky až do krevního řečiště. V posledních letech se ukázalo, že pro člověka jsou právě tyto ultrajemné částice nejnebezpečnější. Studie prokázaly, že částice ze spalovacích motorů se v plicích usazují více (jedna polovina částic po vdechnutí zůstane v plicích) než částice vzniklé hořením v otevřených ohništích (zde se uvádí, že v plicích zůstává jen jedna



pětina částic). Při spalování ve vznětových motorech jde o maximální efektivitu motoru, a tak je spalování dokonalejší, probíhá ve větším tlaku a za vyšší teploty, což způsobuje, že výsledná velikost částic je mnohonásobně menší, a tak jsou částice schopny proniknout hlouběji do lidského organismu.

### 1.3 VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Pevné částice mohou působit na organismy mechanicky zaprášením. Zaprášení listů rostlin snižuje jejich aktivní plochu a ovlivňuje fotosyntézu. U živočichů prach vstupuje do dýchacích cest. Dalším problémem je toxické působení látek obsažených v aerosolu. Pevné částice rovněž ovlivňují energetickou bilanci Země. Sluneční záření je rozptylováno do prostoru díky částicím poletujícím ve vzduchu. Znatelně ovlivňují tvorbu mraků a s nimi spojené srážky, neboť vznik kapek ovlivňují právě zmiňované pevné částice. Vlivy na klima se však projevují spíše v regionálním měřítku. [2]



Graf 1. Rozložení emisí PM v dopravě v roce 2011 [%]. [6]



## 2 NORMY EURO A TIER

Euro-normy a normy Tier určují maximální emisní hodnoty škodlivých látek u nových osobních a užitkových vozidel, stavebních, zemědělských a nákladních strojů. Norma Tier je americká norma, pro Evropskou unii se zavedla norma Stage, která je totožná s normou Tier. Podle různých norem se určují i daňové sazby jednotlivých vozidel a v technických průkazech je záznam o množství škodlivých látek, které vozidlo produkuje. S dobou se také normy neustále mění a zpřísňují. Ku příkladu Evropský parlament přijal 1. září 2009 v platnost normu Euro 5. V současnosti plánuje EU od roku 2014 přijetí Euro 6. [7][8]

Normy Euro a Tier nejčastěji sledují množství pevných částic (PM) a tyto škodliviny:

### - Oxid uhelnatý (CO)

Plyn, někdy také nazývaný jako kysličník uhelnatý, je bezbarvý, bez chuti a zápachu, je jen těžko identifikovatelný a znamená tak určité nebezpečí pro člověka. 70 - 100ppm (parts per milion- počet částic (CO) na milion částic vzduchu) částic ve vzduchu indikuje symptomy podobné nachlazení. 150-300ppm vede k nevolnostem, zvracení a závratím. 400ppm může vést k bezvědomí a trvalému poškození mozku. Koncentrace 1,28% ve vzduchu, který člověk dýchá, je smrtelná. Dojde k otravě během 1 až 2 minut. Plyn je těžší než vzduch, proto klesá k zemi a může se tak kumulovat v určitých místech. Plyn vzniká nedokonalým spalováním uhlíku a kyslíku. Zdravý dospělý člověk je schopen po delší dobu být v prostředí s 50ppm.

### - Uhlovodíky (HC)

Jsou to chemické sloučeniny uhlíku (C) a vodíku (H). Nalézají se v zemním plynu, ropě a uhlí. Řada sloučenin uhlovodíku jsou rakovinotvorné látky. S kombinací slunečního světla uhlovodíky a oxidy dusíku reagují a vzniká ozón. Od roku 1995 je ozón řazen mezi látku způsobující rakovinu.

### - Oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>)

Index na konci představuje několik různých chemických sloučenin. Oxidy dusíku nejsou jednotné a nevyskytují se vždy se stejným počtem atomů. Tvoří různé kombinace jako: N<sub>2</sub>O, NO, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, atd. Kontakt NO<sub>x</sub> s vodou vede ke vzniku kyselin, které dráždí sliznici a v důsledku může poškodit i plíce.

Zmiňované látky však nejsou jediné, které provozem automobilu vznikají. Dieselové motory mimo jiné produkují i oxid uhličitý, který souvisí s globálním oteplováním. Normy jej však neřeší. Dále vznikají sirné sloučeniny a s příměsí vody mohou vznikat kyseliny.

Ve spalovací komoře motoru jsou pevné částice a oxidy dusíku neslučitelné. V dnešní době prakticky nelze zkonstruovat motor, který by splňoval emisní limity bez podpory filtru pevných částic. Při maximální efektivitě motoru vzniká malé množství pevných částic. Avšak hodnota NO<sub>x</sub> je příliš vysoká. Při cirkulaci výfukových plynů zpět do motoru se sice hodnota NO<sub>x</sub> sníží, ale hodnota pevných částic zase vzroste. Proto je důležité udělat určitý kompromis při navrhování motoru a zároveň je důležité správně zvolit systém pro regulaci emisí. [3]



## 2.1 NORMA EURO

Norma Euro sleduje množství škodlivin ve výfukových plynech osobních a užitkových automobilů v Evropské unii. Česká republika do EU vstoupila až v roce 2003, takže norma Euro začala platit pro Českou republiku až v tomto roce. V technickém průkazu najdeme informace o emisích vozidla, ale norma jako taková, v něm zapsaná není. Jedná se o jinou normu EHK (např. Euro 3 = EHK 83.05). První emisní norma začala platit v Kalifornii v roce 1968 a v Evropě byla první normou právě zmiňovaná norma EHK. V té době měla hodnotu EHK-15. Euro jako takové začalo platit až v roce 1992 a od té doby se přibližně každé 4 roky mění a zpřísňuje. Zpravidla se mění hodnoty zmiňovaných škodlivin. Měří se v gramech na ujetý kilometr a jak si můžete dočíst v tabulkách, hodnoty se zásadně od první normy Euro I snížily. Problémem však stále zůstává velké množství automobilů vyrobených před zavedením norem, protože jejich motory mají vysoké emisní hodnoty. Zavedením nové normy není jednorázová záležitost a automobilky a veřejnost je s normami předběžně seznámena. Řada automobilek splňuje normu už před jejím zavedením.

Tab. 1 Emisní limity Euro pro nová vozidla se vznětovým motorem. [7]

| Emisní limity pro nová vozidla s vznětovým motorem |                |              |              |               |                  |       |
|----------------------------------------------------|----------------|--------------|--------------|---------------|------------------|-------|
|                                                    | Platnost<br>od | CO<br>(g/km) | HC<br>(g/km) | NOx<br>(g/km) | HC+NOx<br>(g/km) | PM    |
| <b>Euro I</b>                                      | 01/92          | 3,16         | -            | -             | 1,13             | 0,14  |
| <b>Euro II</b>                                     | 01/96          | 1,00         | 0,15         | 0,55          | 0,70             | 0,08  |
| <b>Euro III</b>                                    | 01/00          | 0,64         | 0,06         | 0,50          | 0,56             | 0,05  |
| <b>Euro IV</b>                                     | 01/05          | 0,50         | 0,05         | 0,25          | 0,30             | -     |
| <b>Euro V</b>                                      | 09/09          | 0,50         | 0,05         | 0,18          | 0,23             | 0,005 |
| <b>Euro VI</b>                                     | 08/14          | 0,50         | 0,09         | 0,08          | 0,17             | 0,005 |

Tab. 2 Emisní limity Euro pro nová vozidla se zážehovým motorem.( \*s přímým vstřikováním)[7]

| Emisní limity pro nová vozidla s zážehovým motorem |                |              |              |               |                  |        |
|----------------------------------------------------|----------------|--------------|--------------|---------------|------------------|--------|
|                                                    | Platnost<br>od | CO<br>(g/km) | HC<br>(g/km) | NOx<br>(g/km) | HC+NOx<br>(g/km) | PM     |
| <b>Euro I</b>                                      | 12/92          | 2,72         | -            | -             | 0,97             | -      |
| <b>Euro II</b>                                     | 01/97          | 2,20         | -            | -             | 0,5              | -      |
| <b>Euro III</b>                                    | 01/00          | 2,30         | 0,20         | 0,15          | -                | -      |
| <b>Euro IV</b>                                     | 01/05          | 1,00         | 0,10         | 0,08          | -                | -      |
| <b>Euro V</b>                                      | 09/09          | 1,00         | 0,10         | 0,06          | -                | 0,005* |
| <b>Euro VI</b>                                     | 08/14          | 1,00         | 0,10         | 0,06          | -                | 0,005* |

Jak už bylo uvedeno, podle emisní normy se určuje i ekologická daň auta. Jde o poplatek, který musí majitel vozidla zaplatit při první registraci vozidla podle novely zákona o odpadech 383/2008Sb. Norma byla zavedena v roce 2009 a nadále platí. Objevují se ale návrhy, že by s nově příchozí normou Euro 6 došlo ke změně poplatků. [9][11]



Tab. 3 Tabulka ekologických daní vozidel. [11]

| Označení | Rok výroby    | Aktuální ekologická daň na auto | Možná daň od roku 2014 |
|----------|---------------|---------------------------------|------------------------|
| Euro 0   | 1992 a starší | 10 000                          | 10 000                 |
| Euro 1   | 1993 – 1995   | 5 000                           | 10 000                 |
| Euro 2   | 1996 – 1999   | 3 000                           | 5 000                  |
| Euro 3   | 1996 – 2006   | 0                               | 3 000                  |

## 2.2 NORMA TIER / STAGE

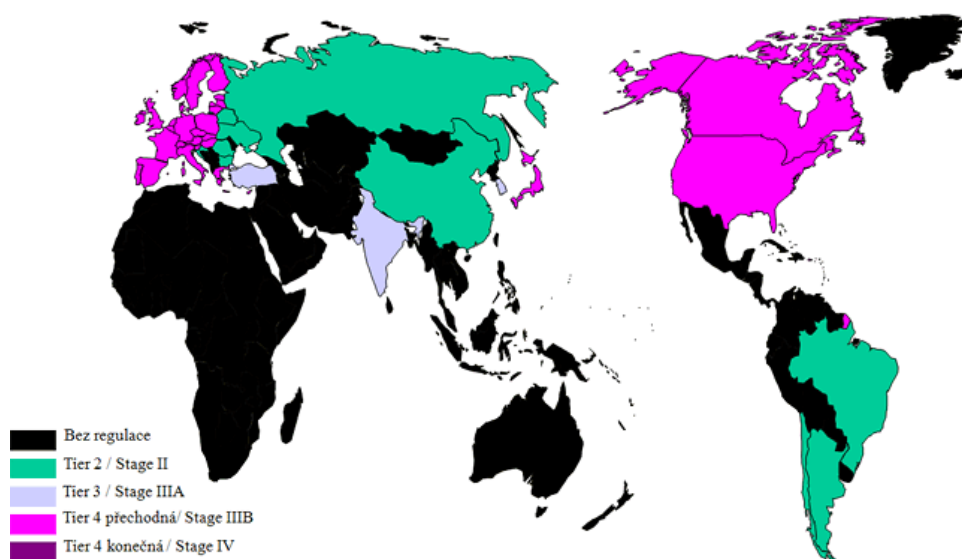
Norma Tier je americkou normou regulující množství emisí a pevných částic ve výfukových plynech u nákladních, stavebních a zemědělských strojů. V Evropě však norma Tier neplatí a místo ní byla zavedena obdobná norma Stage. V členských zemích EU, Japonsku a USA se emisní limity velice rychle mění a nové normy jsou velice často novelizovány. Norma Tier 4 oproti předchozí Tier 3 snížila limity oxidu dusíku na polovinu a obsah pevných částic dokonce jen na jednu desetinu původního množství. Od ledna 2011 se na členské země EU vztahuje norma Stage III B (v USA Tier 4-přechodná) pro motory s výkonem 130 až 560kW. Pro výkony od 56 kW do 129 kW platí norma od 1. ledna 2012. S příchodem nových norem a s nimi spojeným snižováním emisí však vzniká problém spotřeby paliva, s čímž řada výrobců nesouhlasí. Existuje snaha vyvinout co nejlepší a nejefektivnější motor. Například pro snižování emisí lze použít filtry pevných částic (DPF). Tyto filtry jsou pro těžkou techniku součástí většího celku pro snížení emisí a to buď SCR (Selektivní katalytická redukce), což je systém, který maximalizuje výkon motoru a vzniklé emise eliminuje přidáváním speciální kapaliny AdBlue. Druhou možností snižování emisí je EGR (Recirkulace výfukových plynů). Lze použít systém CEGR + DPF, což je systém, který recirkuluje a chladí výfukové plyny, nebo je kombinací obou uvedených a to systém CEGR+EGR+DPF. Existuje i řada dalších systémů regulací emisí. V roce 2014 má přijít v platnost norma Stage IV (Tier 4-finální). Již teď se předpokládá, že budou použity systémy EGR + SCR, půjde tedy o kombinaci obou výše uvedených postupů. Výrobci však už mají vyvinuty první motory, které nové normy splňují. Paradoxně se jedná o motory přesahující 560kW, které dle evropských limitů nejsou regulovány. Caterpillar v předstihu použil nový motor splňující finální Tier 4 v nových damprech pro USA a Kanadu. [10]

Tab. 4 Tabulka Evropských emisních limitů pro pracovní stroje. [10]

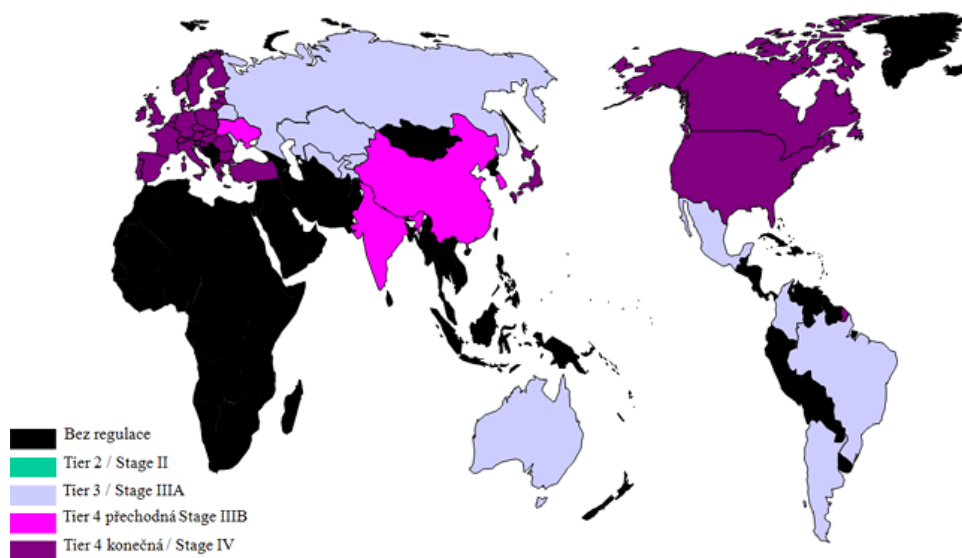
| kW        | hp        | 2001                           | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|-----------|-----------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 - 7     | 0 - 10    | V EU nepodléhá emisním limitům |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 8 - 18    | 11 - 24   | V EU nepodléhá emisním limitům |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 19 - 36   | 25 - 49   |                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 37 - 55   | 50 - 74   |                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 56 - 74   | 75 - 99   | EPA Tier 1<br>EU Stage I       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 75 - 129  | 100 - 174 |                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 130 - 559 | 175 - 749 |                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| ≥ 560     | ≥ 750     | V EU nepodléhá emisním limitům |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

© www.bagry.cz





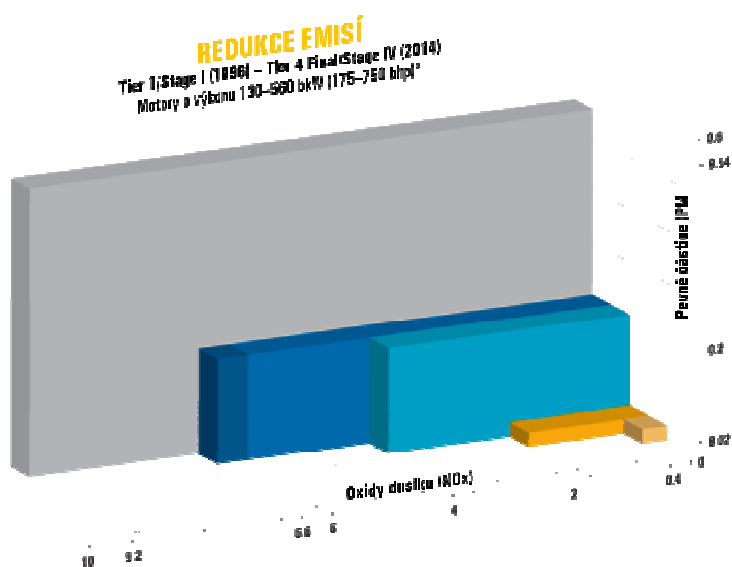
Obr. 1 Celosvětová regulace emisí od roku 2011. [8]



Obr. 2 Plán celosvětové regulace emisí od roku 2016. [8]



Graf. 2 Tabulka redukce emisí pro motory o výkonu 130-560 kW. [10]





### 3 PRINCIP FILTRU PEVNÝCH ČÁSTIC

Filtry pevných částic (často DPF - Diesel particulatefilter nebo francouzsky FAP - filtre a particules) jsou zařízení navržená pro zachytávání pevných částic ve výfukovém potrubí. Je to jakási ucpávka, která brání pronikání pevných částic do ovzduší. [12]

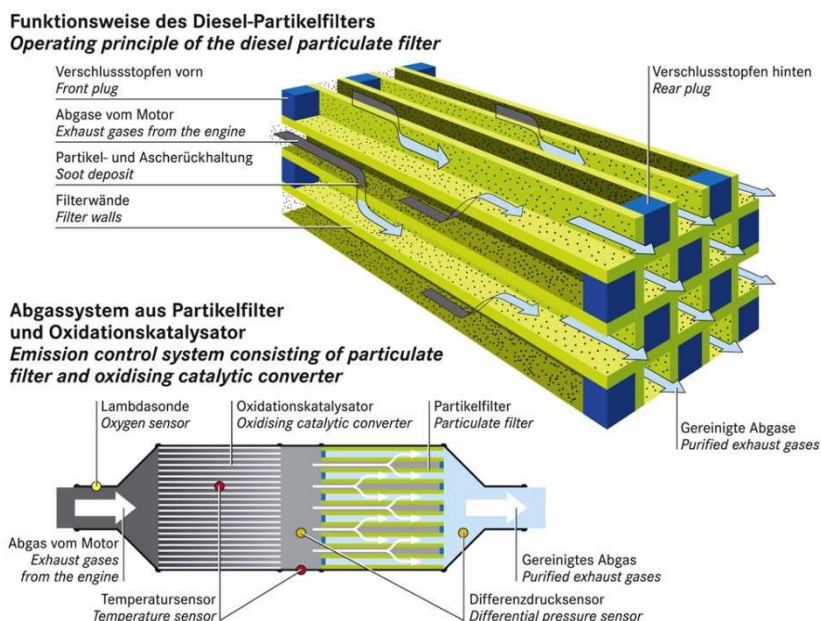
Skládají se zpravidla z několika částí, a to nátrubku pro vstup a výstup plynu z filtru, ve většině případů pak zpředkatalyzátoru a samotného filtru pevných částic. Filtr obsahuje filtrační vložku, ta je téměř vždy z karbidu křemíku, nebo keramiky. Karbid křemíku má velmi dobré filtrační vlastnosti a je schopen odolávat stálým vysokým teplotám, které se utváří uvnitř výfukového systému a samotného filtru. SiC se vyznačuje velkou tvrdostí (9,5 na Mohsově stupnici tvrdosti). Filtr je samozřejmě opatřen snímači pro určování tlaku exhalátů a teploty. Vše je uzavřeno v kovovém těle filtru, který je z pravidla nerozebíratelný, volba materiálu těla filtru je většinou z nerezových a žáruvzdorných ocelí. [21]

Exhaláty nejprve projdou předkatalyzátorem. Zde probíhá přeměna látek na jiné. Následně exhaláty procházejí samotným filtrem, kde se usazují a to buď zaklíněním, zachycením, nebo difúzí. Díky voštinové struktuře exhaláty vtečou do profilu, který je na začátku otevřený, zde se nahromadí a díky vyššímu tlaku jsou protlačeny přes stěnu filtru do vedlejšího profilu, který je na začátku uzavřený a konci otevřený. Během tohoto přestupu zůstanou saze ve stěnách profilů. Zbytek exhalátů odchází z filtru do výfukového potrubí. Při vstupu a výstupu exhalátu z filtru prochází již zmiňovanými snímači tlaku a teploty. Při rozdílném tlaku řídící jednotka spustí regeneraci, neboť snížení tlaku je způsobeno zanesením filtru. Nahromaděné saze ve filtru během regenerace vyhoří, nebo se jiným způsobem odstraní, např. výměnou nebo vyčištěním. Snímače teploty během regenerace korigují chod motoru a vstřikování, které zásadně ovlivňuje teplotu exhalátů. Filtr musí pravidelně regenerovat, tzn. že se usazené částice čas od času musí odstranit. Regenerace může být aktivní, nebo pasivní. Pokud filtr neregeneruje, může dojít k úplnému ucpání filtru, ten se začne chovat jako ucpávka ve výfukovém potrubí, dojde ke špatnému odvodu exhalátů z motoru a razantně se tak sníží výkon motoru. [1][14][21]

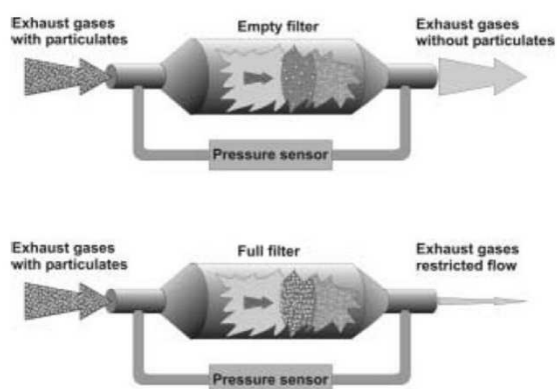
Jak už bylo uvedeno, filtrační vložka má voštinovou strukturu. To znamená, že kanálky čtvercového průřezu jsou střídavě uzavřeny na začátku a konci. Filtry mohou být také zhotovovány z keramických materiálů, které mají rovněž velmi vhodné vlastnosti právě vůči vysokým teplotám. Dalším velmi častým případem konstrukčního řešení jsou drátěné vložky filtrů. Drátěné pletivo je srolováno v těle filtru a namačkáno v co nejmenším objemu, tak aby byl částicím kladen při průchodu co největší odpor. Obdobným řešením voštinové struktury jsou vložky, kde jsou kolem trubiček podobným voštinové struktuře omotána vlákna z CiS. Tento typ vložek se někdy nazývá také vložka se svíčkami. Vložky filtrů se někdy potahují drahými kovy, které jsou schopny oxidovat s pevnými částicemi a přispívat tak k lepší regeneraci. [1][21]

Jako první s tímto zařízením přišla skupina PSA, což je francouzská automobilka Peugeot spolupracující s automobilkou Citroen. První automobil vybaven filtrem pevných částic vyjel z automobilky už v roce 2000 a nesl označení 607. Dnes se filtry pevných částic montují standardně do všech automobilů s motorem HDI. Automobilka Peugeot ve svém letáku o filtrech FAP uvádí, že množství nespálených sazí bylo díky vstřikovacímu systému commonrail a filtru FAP sníženo téměř na hranici měřitelnosti. Diesellové motory, jež jsou vybaveny právě filtrem pevných částic, jsou jedny z nejčistších motorů vůbec. Právě toto prvenství je zásluhou filtrů a díky technologii přímého vstřiku commonrail. [1][14][15]

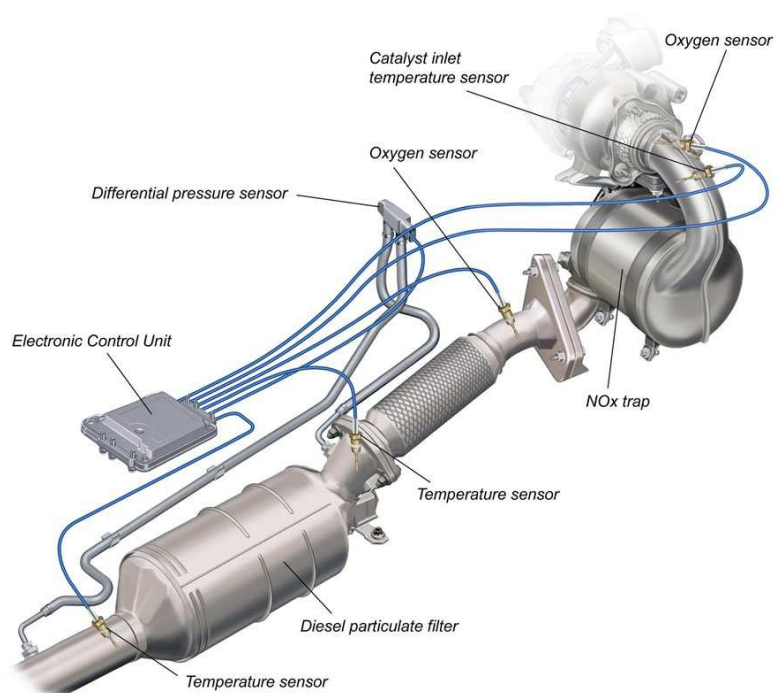
Na obr.3 můžeme vidět princip průchodu exhalátů přes voštinovou strukturu. U všech obrázků představují šipky tok výfukových plynů. Pro lepší orientaci přikládám překlady jednotlivých komponent filtru a pojmů.



Obr. 3 Schéma filtru pevných částic a průběh průchodu spalín; **Horní obrázek:** front plug - přední ucpávka; rearplug - zadní ucpávka; exhaust gases from the engine - spaliny motoru; soot deposit - usazené saze; **Dolní obrázek:** oxygen sensor - lambdasonda; oxidising catalytic converter - oxidační katalyzátor; particulate filter - filtr pevných částic; temperature sensor - teplotní čidlo; differential pressure sensor - čidlo diferenčního tlaku; exhaust gases - výfukové plyny; purified exhaust gases - vyčištěné výfukové plyny. [12]



Obr. 4 Schéma činnosti tlakového senzoru. Šipky představují tok exhalátů; empty filter - prázdný filtr; full filter - zaplněný filtr; pressure sensor - tlakový senzor. [13]



Obr. 5 Umístění filtru ve výfukovém potrubí; temperature sensor - teplotní čidlo; diesel particulate filter - filtr pevných částic; Electronic control unit - řídicí jednotka; oxygen sensor - lambda sonda; catalyst inlet temperature sensor - teplotní čidlo katalyzátoru; NOx trap - katalyzátor; differential pressure sensor - senzor diferenčního tlaku. [12]

### 3.1 DRUHY REGENERACÍ

Na dnešním trhu se nachází řada filtrů s různými parametry. Můžeme si vybrat v různých velikostech, filtry s rozdílným systémem zachycování částic nebo odlišnými způsoby regenerace. Nejčastěji využívaným kritériem výběru zpravidla bývá, zda se jedná o filtr s pasivní nebo aktivní regenerací.

#### 3.1.1 PASIVNÍ REGENERACE

Pasivní regenerace probíhá samovolně. Při dlouhodobém a velkém zatížení motoru je nutné, aby motor běžel dlouho ve vysokých otáčkách. Pasivní regenerace může proběhnout například při jízdě na dálnici. Problém je u vozidel, která jezdí převážně ve městech a na krátké vzdálenosti, jako jsou autobusy městské hromadné dopravy. I těchto vozidel se samozřejmě týká povinná regulace pevných částic ve výfukových plynech, a proto je redukce u nich diskutovanou záležitostí. Motor se u těchto vozidel nestačí zahřát na dostatečnou teplotu, aby saze samovolně vyhořely, proto se používá systém s tzv. aktivní regenerací. Jak už bylo zmíněno, tak při velké zátěži motoru vzrůstá teplota výfukových plynů. Pasivní regenerace nastává tehdy, pokud teplota spalin je dostatečně vysoká na to, aby saze mohly



samovolně hořet. Přibližná teplota hoření je při teplotách 350–500°C. Při hoření sazí dochází k tzv. katalytickému spalování, což vede k přeměně pevných částic v CO<sub>2</sub>. [14][15]

### 3.1.2 AKTIVNÍ REGENERACE

Aktivní regenerace probíhá po 300-1000 km, a to tehdy, není-li možné filtr vyčistit pomocí pasivní regenerace (tj. např. v městském provozu). Teplota výfukových plynů je díky zvýšení množství paliva a úpravě vstřikování zvýšena přibližně na 600 °C. Regenerace se spouští automaticky díky řídicí jednotce, která kontroluje rozdíl tlaků a teplot z čidel na začátku a konci filtru. Alternativou je přidání topného tělesa přímo do filtru. Tento způsob může být realizován za pomoci hořáku, přes který výfukové plyny prochází a následně se ještě více zahřívají, nebo topné spirály. Výhodou topné spirály je, že regenerace může probíhat i při vypnutém motoru. Tento způsob regenerace se používá u vozidel, jako jsou autobusy na pravidelných linkách apod. Jelikož mohou být pravidelně připojeny k externím zdrojům elektrické energie, které napájejí spirálu a filtry, tak během nečinnosti motoru regenerují. Tato konstrukce našla své místo také u stacionárních zařízení pracujících za pomoci dieselových motorů. Další možností regenerace může být také snížení teploty hoření pevných částic. Pro to, aby částice vzplanuly a shořely při nižší teplotě, musí být filtr vevnitř obohacen a povlakován speciálním katalytickým materiálem, který zapříčiní hoření částic už při 200°C. Tato regenerace se ovšem pokládá spíše za pasivní. [14][15]

## 3.2 FILTRY BEZ ADITIVA A S ADITIVEM

Dalším kritériem, podle kterého se filtry pevných částic rozdělují, je nutnost dodávat jakousi pracovní látku, která mění vlastnosti spalin. Může být použita metoda redukce sazí pomocí jiné technologie, nezávislé na dodávaném médiu.

### 3.2.1 FILTRY PEVNÝCH ČÁSTIC S PŘÍDAVNÝM ADITIVEM

Hlavní úlohou aditiva u FAP je schopnost snižovat teplotu hoření pevných částic ve filtru. Teplota hoření sazí lze díky aditivu snížit až na 450°C. Aditivum je uchováváno zvlášť v nádržce, ze které je přidáváno do nádrže po každém tankování nebo přímo do filtru pevných částic. Palivo s příměsí aditiva projde spalovací komorou až do filtru pevných částic, kde se směs exhalátů ovlivněná aditivem vznítí a shoří. Doplnění aditiva není nijak časté. Zpravidla je třeba aditivum (podle stylu jízdy) doplnit každých 20.000 – 120.000km. Jako vůbec první automobilka používající tento způsob snižování pevných částic v exhalátech byla firma Peugeot. Pro správnou funkci a co nejefektivnější práci filtrů je třeba používat kvalitní oleje, paliva a aditiva homologovaná výrobcem. Například koncern PSA používá aditiva Eolys DPH 42 nebo DPX 10. Aditiva není možno mezi sebou mísit. Aditiva mohou obsahovat například céry, který snižuje teplotu hoření sazí ve filtru. Možnou příměsí je i močovina, která se rozkládá na amoniak a CO<sub>2</sub>. Díky tomuto rozkladu vzniklý amoniak dále reaguje s NO<sub>x</sub>a vzniká tak H<sub>2</sub>O a N<sub>2</sub>. V průměru doplnění aditiva zabere servisu přibližně hodinu práce a částka včetně samotného aditiva a práce nepřesáhne 4000 korun. [14][19]



### 3.2.2 FILTRY PEVNÝCH ČÁSTIC BEZ ADITIVA

Bez příměsi aditiva, které snižuje teplotu spalování sazí, je třeba pro regeneraci vyvinout daleko vyšší teplotu než je tomu u systému s aditivem. Teplota hoření sazí je okolo 600°C, a tak není možné saze normálně spalovat. Alternativním řešením v tomto případě je potahování a povrchové upravování vnitřku filtru drahými kovy, které fungují jako katalyzátor. Filtry se vyznačují snadnou montáží a v případě nedostateční funkce jsou snadno vyměnitelné. Značnou nevýhodou je bohužel vyšší pořizovací cena. V některé literatuře jsou filtry pevných částic bez aditiva nazývané tzv. filtry suchými. Automobilky využívající filtry bez aditiva jsou například BMW nebo Wolkswagen. [17]

## 3.3 ŽIVOTNOST FAP

Životnost filtrů s přídavným aditivem je dosti omezená. Díky aditivu se ve filtru stále ukládá malé množství jemného prachu a popela. V průměru by však měly filtry vydržet 120.000 – 180.000 ujetých kilometrů. Filtry bez přídavného aditiva tento problém nemají, neboť v nich dochází ke katalytické přeměně bez žádných nespálených částic. Životnost filtrů pevných částic je předmětem mnoha diskusí, neboť jejich pořizovací cena je vysoká, někdy až v řádech desítek tisíc korun. Řada lidí tento problém řeší odmontováním filtrů a následnou úpravou softwaru, nebo repasí. Ale této problematice se budu podrobněji věnovat v následující kapitole. [16]

| Filtry pevných částic - výrobcem doporučené ceny nových dílů |            |                        |
|--------------------------------------------------------------|------------|------------------------|
| Model                                                        | rok výroby | cena filtru s DPH [Kč] |
| BMW 320d/130 kW (E90)                                        | 2008       | 33.560,-               |
| Citroën C5 2,2 HDi/96 kW                                     | 2002       | 10.667,-               |
| Ford Focus 1,6 TDCi/80 kW                                    | 2008       | 18.980,-               |
| Honda CR-V 2,2 i-CTDI/103 kW                                 | 2008       | 109.921,-              |
| Honda CR-V 2,2 i-DTEC/110 kW                                 | 2010       | 170.468,-              |
| Mercedes-Benz E 320 CDI/170 kW (W211)                        | 2008       | 27.658,-               |
| Škoda Octavia RS 2,0 TDI PD/125 kW                           | 2007       | 38.448,-               |
| Toyota Avensis 2,2 D-CAT/130 kW                              | 2008       | 38.964,-               |
| VW Passat 2,0 TDI PD/103 kW                                  | 2007       | 40.626,-               |

Tab. 5 Tabulka doporučených cen nových dílů pro vybrané vozy. [18]





## 4 DODATEČNÁ MONTÁŽ

Jen málokdo si dodatečně nainstaluje filtr pevných částic do svého vozu. Norma nereguluje množství pevných částic vypouštěných vozidly, které byly vyrobeny před zavedením normy, takže emisní norma reguluje jen vozidla nová. Jelikož použitím filtru pevných částic vzrůstá spotřeba vozidla, má toto zařízení mnoho odpůrců, a tak dodatečná instalace FAP do osobních automobilů není věcí žádanou, na rozdíl např. od autobusů, u kterých je dodatečná instalace filtru pevných částic zákrokem naopak velice častým. Díky zavedení nízkoemisních zón musí řada společností řešit problém s příliš velkými emisemi u svých vozidel. Většina společností nemá dostatek peněz na nákup nových strojů, a tak snížení emisí řeší například dodatečnou instalací FAP. Stejně tak stavební firmy a zemědělské společnosti musí v poslední době dbát na hodnotu emisí jejich strojů. [20]

Filtr se umísťuje co nejbližší motoru, neboť je důležité, aby do něj proudily spaliny s co nejvyšší teplotou. V případě, že jde o systém s aditivem, je zde rovněž uchycena nádoba s tímto médiem. Pro správnou a přesnou funkci, je důležité nahrát patřičný software pro řídicí jednotku a nastavit tak dávkování aditiva. Frekvence dávkování záleží na způsobu jízdy vozidla. V případě příměstského autobusu bude dávkování jiné než u autobusu jezdícího na dlouhých trasách. [21]



Obr. 6 Filtr pevných částic u nakladače Liebherr L 566 T 2plus2. [22]





## 5 DEMONTÁŽ FILTRŮ

Demontáž filtru je sama o sobě nelegální činnost. Mnoho uživatelů filtr demontuje, než by platili desetitisícové sumy za nový filtr. Když je filtr ucpán a není už možné jej vyčistit pomocí regenerace, rozsvítí se na palubové desce kontrolka nebo chybové hlášení DPF, FAP, Anti-Pollution System Fault. Toto chybové hlášení může také znamenat vadné tlakové čidlo nebo nedostatek aditiva. Pokud zanedbáme toto hlášení a filtr bude ucpán sazemi, s největší pravděpodobností se razantně sníží výkon motoru, automobil po sešlápnutí plynového pedálu nebude akcelarovat, přepne se do nouzového režimu a v přímé úměře tomu vzroste i spotřeba paliva. Další možností úpravy je filtr regenerovat, nebo jej trvale odstranit. Odstranění filtru je levnější záležitostí. Pravidelná prohlídka na STK nic neodhalí, resp. odhalí, ale rozdíl v naměřených hodnotách je daleko menší než je vůbec měřidlo schopno zachytit. Firmy navíc za odstranění filtru garantují dvouletou záruku. Na internetu je řada firem, které se zabývají odstraněním filtru pevných částic. Jejich způsob demontáže je know-how, takže podrobný postup žádná firma neuvádí. Rámcově jde však o připojení vozidla na diagnostiku, kde se ověří, jestli je filtr opravdu vadný. Poté následuje fyzická demontáž filtru. Filtr se jednoduše odstraní a nahradí se tzv. emulátorem. Snímače tlaku a teploty musí být „ošizeny“ správnými impulzy ze senzorů tak, aby řídicí jednotka nepoznala absenci filtru a vyhodnocovala situaci jako bezproblémovou. Softwarové odstranění se provádí dle typu řídicí jednotky třemi způsoby. [12][23][24]

**Za pomoci switche-** v datech motor managementu se nachází tzv. vypínač, kdy přepnutím bitu z 1 na 0 dojde k úplnému vyřazení veškerých algoritmů a funkcí souvisejících s DPF.

**Úpravou dat** a vytvořením tzv. emulace, kdy se překalibruje funkce snímače rozdílového tlaku tak, aby při snížení (srovnání) rozdílového tlaku před a za DPF řídicí jednotka vyhodnocovala data z tohoto snímače jako vyhovující, nehlásila chybu čidla a eliminovala se regenerace probíhající automaticky po určitém počtu ujetých km (existují taktéž tzv. hardwarové emulátory, které se montují mezi čidla a řídicí jednotku).

**Zakázáním chybových hlášek** souvisejících s DPF filtrem a eliminací jakékoli regenerace.

Cena takového zákroku je individuální, pohybuje se zpravidla do 10 000 Kč.



## 6 VÝROBCI FILTRU PEVNÝCH ČÁSTIC A JEJICH PRODUKTY

### 6.1 BAUMOT

Jedná se o firmu, která se již 25 let věnuje problematice úpravy výfukových plynů. Zprvu šlo o vývoj pohonů a revidovaných vznětových motorů, poté se podnik začal zabývat úpravou výfukových plynů. Mimo produkci nových filtrů se Baumot zabývá i následným čištěním filtrů. V nabídce mají proces vypálení ve vypalovací peci. Firma však uvádí, že někdy jedno čištění nestačí, a tak je třeba proces několikrát zopakovat. Uvádí rovněž, že je třeba regeneraci provést každých 100.000km nebo po 1000 hodinách provozu. Pokud tento cyklus uživatel dodrží, následná regenerace pak proběhne během jednoho vypalovacího cyklu. Baumot vyrábí filtry, kde by rozsah výkonů motorů měl zůstat v intervalu od 5 do 550kW. U všech filtrů uvádí snadnou instalaci, robustní konstrukci a slibuje spolehlivost filtru. Možný je také provoz s bionaftou.

Za použití jakéhokoli jejich filtru dojde ke snížení:

1. pevných částic až o 99%
2. odstranění uhlovodíku o 87%
3. snížení oxidu uhelnatého o 96%
4. nedojde k nárůstu oxidu dusičitého

U každého filtru je zobrazena tabulka výkonů motoru a typu filtru, který je pro uvedený výkon vhodný. Zákazník si tak vybere filtr přesně padnoucí do jeho zařízení. [25]



Graf.3 Závislost výkonu motoru a typu filtru (BA). [26]



### 6.1.1 FILTRY S PASIVNÍ REGENERACÍ

#### BA, BA-B

Jedná se o filtr, který je potažen katalytickou vrstvou na keramickém těle. Filtr se regeneruje samočinně, nezávisle na tlaku exhalátů, a to průběžně při jízdě. Jde o filtr s robustní nerezovou konstrukcí a keramickým monolitem. Filtr je teplotně velice odolný. Má nízké nároky na údržbu, není závislý na přísadách ani na řízené jiskře svíčky. Filtr BA-B je navíc vybaven DOC modulem (diesellový oxidační katalyzátor). Díky tomuto modulu a filtru BA-B může regenerace probíhat již při 220°C. Tento typ filtru je vhodný především pro užitková vozidla (autobusy, nákladní automobily nebo stavební stroje). [25][26]



Obr. 7 Filtr pevných částic firmy Baumot s označením BA. [27]



Obr. 8 Filtr pevných částic firmy Baumot s označením BA-B s DOC modulem. [26]

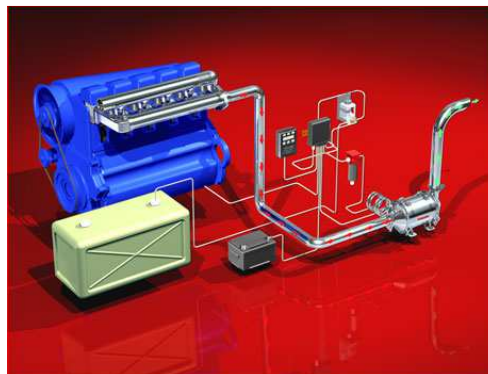
### 6.1.2 FILTRY S AKTIVNÍ REGENERACÍ

#### BA-A

Jedná se o aditivní systém, kdy se k palivu automaticky přimíchává aditivum. Díky aditivu se snižuje teplota hoření a regenerace probíhá už při teplotách od 280°C. Filtr je vyroben z nerezové oceli a vnitřek je potažený SiC. Systém je nenáročný na údržbu, nutné je, ale pravidelné doplňování aditiva. Pro provoz motoru je možné použít i bionaftu. Výrobce uvádí, že systém je vhodný převážně pro motory s vysokou spotřebou oleje nebo paliva s vysokým obsahem síry (> 350 ppm). Je tedy vhodný do starších typů vozů. Systém je také vhodný pro vozidla, která jezdí na dlouhé vzdálenosti. [28]



Obr. 9 Filtr pevných částic firmy Baumot s označením BA-A. [28]



Obr. 10 Schéma zapojení jednotlivých prvků u systému BA-A. [28]

### BA-H

BA-H je systém, který využívá topnou spirálu, jež ohřívá výfukové plyny podle jejich protitlaku. Topnou spirálu lze připojit na napájecí zdroj a regeneraci lze uskutečnit nezávisle na provozu vozidla. Filtr je vyroben z keramiky, aby odolával vysokým teplotám spirály. Baumot uvádí, že je možné přidat topnou spirálu do starších filtrů. Tyto filtry se používají u strojů jako jsou kompresory nebo elektrické napájecí zdroje, kde teplota výfukových plynů není až tak velká. [29]

### BA-F

Jedná se o systém s hořákem, který zahřívá výfukové plyny a regeneruje stejně jako systém BA-H podle naměřeného protitlaku exhalátů, proto je možné regenerovat už při teplotách menších než 50°C. Filtr je rovněž vyroben z keramiky a potažen katalytickou vrstvou. Filtr zapříčiní zvýšení spotřeby automobilu přibližně o 0,3l na 100km. Systém je vhodný pro stroje a vozidla, která pracují v režimu „zastav a jed“ nebo se nasazují do provozu jen krátkodobě. [30]



Obr. 11 Filtr pevných částic firmy Baumot s označením BA-H. [29]



Obr. 12 Filtr pevných částic firmy Baumot s označením BA-F. [30]

### 6.1.3 HYBRIDNÍ FILTRY

Všechny zmiňované systémy lze mezi sebou kombinovat a tak docílíme dokonalé redukce pevných částic. Filtry můžeme prakticky vyrobit na míru. Kombinovaný systém je vhodný třeba pro zařízení, které produkuje spaliny o nízké teplotě s vysokým obsahem síry. [25]



## 6.2 HJS

Jedná se o středně velkou německou firmu zabývající se redukcí emisí ve výfukových plynech a vývojem moderních metod pro ochranu životního prostředí. Kromě systémů pro zážehové motory se HJS specializuje i na systémy pro dieselové motory - zejména pro snížení emisí pevných částic (PM) a oxidů dusíku. S celou řadou patentů na DPF<sup>®</sup> (filtr pevných částic) a SCRT (technologie selektivní katalytické redukce) systémů HJS stanovuje měřítko v národním i globálním rozsahu. [31]

### 6.2.1 FILTRY S PASIVNÍ REGENERACÍ

Firma HJS se zabývá výrobou filtrů pro všechny typy vozidel, jak osobní automobily, tak těžké techniky a stacionárních zařízení. Např. pro nákladní automobily vyrábí slinutý kovový filtr. Jako celek však není použit jen jeden, ale jedná se o několik filtrů vzájemně spojených v jeden. Filtr je 100% uzavřený, nerozebíratelný a HJS zaručuje snížení emisí přes 99%. Společnost HJS zaručuje spolehlivost a životnost filtru na více než 200.000km bez potřeby čištění. Pro autobusy vyrábí osvědčený SMF-CRT filtrační systém, jenž je vhodný převážně pro městskou dopravu. Rovněž slibuje více než 99% účinnost při filtraci pevných částic, zaručuje více než 95% snížení velmi jemných částic a znečišťujících látek jako jsou uhlovodíky a oxid uhelnatý. [32][33]



Obr. 13 Filtr pevných částic firmy HJS pro nákladní automobily. [33]



Obr. 14 Filtrační vložka firmy HJS. [32]



Obr. 15 Rozložený filtr pevných částic firmy HJS. [32]





## 6.3 HUSS

Firma HUSS je německá firma zabývající se filtrací pevných částic u těžkých a offroad zařízení. Je velmi známým dodavatelem filtrů pro světové značky jako jsou Caterpillar, Volvo, MackTrucks, a John Deere. HUSS nabízí celou škálu velikostí filtrů a dle tabulek na webu výrobce je možné přesně dohledat jaký filtr je třeba pro naši potřebu. Firma HUSS svými produkty vybavuje zejména již zmiňované těžké stroje, zemědělskou techniku, off-road zařízení apod. Tyto stroje mají nestacionární délku pracovního cyklu, a tak je doba chodu velmi malá a výfukové plyny mají velmi nízkou teplotu, proto jsou téměř všechny vozy a stroje vybaveny MK-systémem, který si s nízkou teplotou spalin nejlépe poradí. [37]

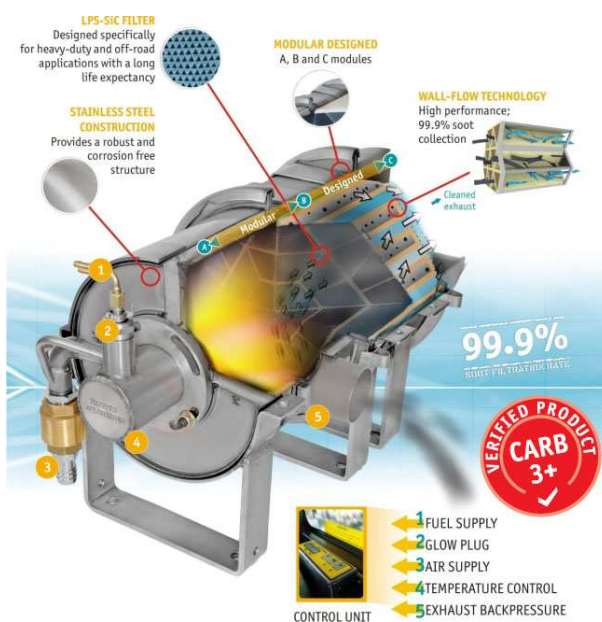
### 6.3.1 FILTRY S AKTIVNÍ REGENERACÍ

#### MK-Systém

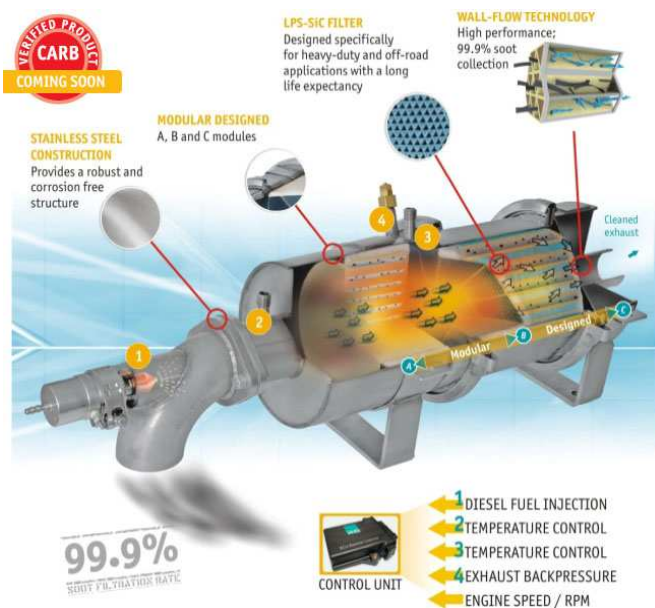
Díky výkonnému dieselovému hořáku, který pracuje nezávisle na teplotě spalin, je možné aktivně regenerovat filtr a přitom odstraňovat škodlivé částice až s účinností 99,9%. Metoda s použitím hořáku se označuje LPS-SiC, což znamená, že společně s hořákem je filtr vybaven i potaženým vnitřkem vložky filmu karbidem křemíku. V závislosti na velikosti filtru může regenerace trvat přibližně 5-45 minut. Filtr je vyroben z nerezové oceli, má velice robustní konstrukci a využívá tzv. wall-flow technologii, což představuje voštinovou strukturu a přestup exhalátů skrz stěnu filtru. [34]

#### MD-Systém

Při nízkých teplotách výfukových plynů (až 200°C) je možné použít filtr s MD systémem. Princip je založen na vstřikování paliva do filtru a dodatečného hoření. Filtr je kontrolován jednotkou ECU (Electronic Control Unit) a vnitřek filtru je rovněž potažen karbidem křemíku. HUSS zaručuje opět 99,9% účinnost při regulaci pevných částic ve výfukových plynech. Opět je založen na wall-flow technologii. [35]



Obr. 16 MK-Systém; Fuel supply - přívod paliva; glow plug- žhavicí svíčka; air supply - přívod vzduchu; temperature control - teplotní čidlo; exhaust back pressure - tlak exhalátů. [34]

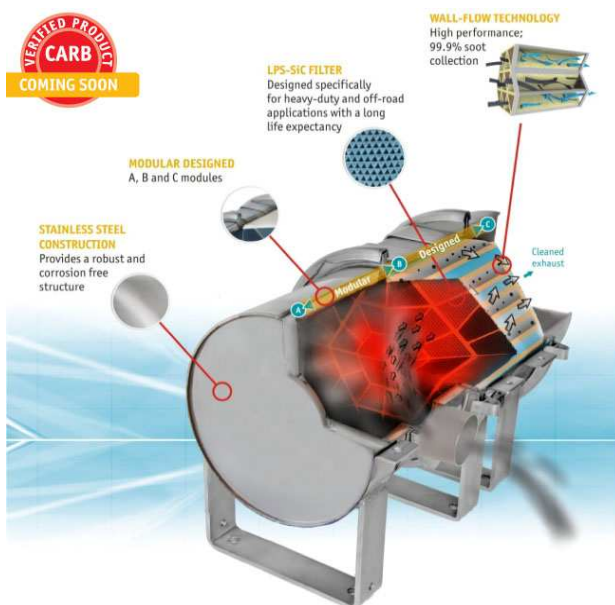


Obr. 17 MD-Systém; Diesel fuel injection - vstřikování nafty; temperature control - teplotní čidlo; exhaust back pressure - tlak exhalátů. [35]

### 6.3.2 FILTRY S PASIVNÍ REGENERACÍ

#### MC-systém

Výrobce uvádí, že filtr je možné použít u zařízení, kde je minimální teplota spalin 270°C. Regenerace se provádí průběžně, díky katalytickému povlaku uvnitř filtru. Účinnost filtru je 99,9%. [36]



Obr. 18 MC-Systém. [36]



## 6.4 PIRELLIFEELPURE DPF

Firma Pirelli se mimo jiné zabývá i výrobou a vývojem filtrů pevných částic. Nabízí tak jako většina výrobců filtry s aktivní nebo pasivní regenerací. Filtry jsou určeny převážně do nákladních automobilů, autobusů, lehkých užitkových vozidel, motorgenerátorů a off-road zařízení. Výrobce slibuje snížení pevných částic o více než 90% a snížení NO<sub>2</sub> o 50%. [40]

### 6.4.1 FILTRY S PASIVNÍ REGENERACÍ

#### FeelpurePlatinum

I tento filtr je vyroben z karbidu křemíku. Je odolný vůči teplotním šokům a vyznačuje se dlouhou životností. Vnitřek filtru má voštinovou strukturu potaženou platinou, která funguje jako katalyzátor, zvyšuje oxidační sílu a umožňuje regeneraci. Regenerace může probíhat už od teploty 250°C. Čištění filtru je třeba přibližně každých 200.000km. Výrobce zaručuje snížení pevných částic o více než 95%. Systém je vhodný zejména pro autobusy a nákladní dopravu. [38]

#### Feelpure FBC

Jedná se o pasivní systém s přídatným aditivem. Filtr může regenerovat při nízkých teplotách výfukových plynů, a to 280°C. Je vyroben z karbidu křemíku.

### 6.4.2 FILTRY S AKTIVNÍ REGENERACÍ

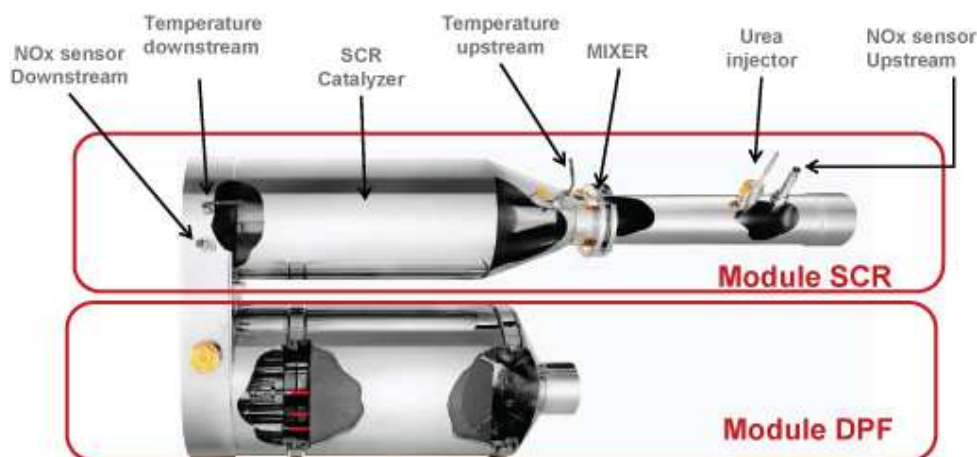
#### Feelpure FBC AR

Jedná se o stejný typ jako FBC, jen v přední části filtru je přidáno několik žhavicích svíček. Díky nim může regenerace probíhat při extrémně nízkých teplotách, a to 160°C. [39]

#### Feelpure DOWNOX

Feelpure DOWNOX je systém, jenž obsahuje klasický filtr pevných částic se žhavicí svíčkou, nebo bez ní. Společně s DPF je k systému připojen SCR modul, který eliminuje oxidy dusíku NO<sub>x</sub>, uhlovodíků a oxidu uhelnatého. [45]





Obr. 19 DOWNOX; NOx Sensor upstream / downstream- senzor NOx horní/dolní; temperature downstream/upstream- teplotní senzor dolní/horní; SCR catalyzer - SCR modul; urea injector- vstřikovač močoviny. [45]

## 6.5 EMITEC

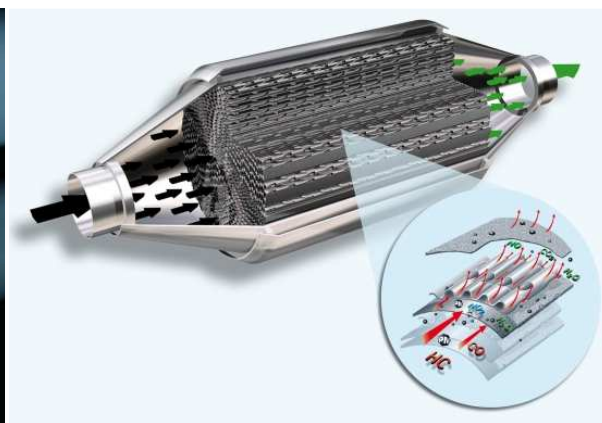
Emitec je americká firma, jež se zabývá vývojem a výrobou filtrů pevných částic a jiných systémů pro snižování emisí. Soustředí se převážně na výzkum a vývoj nových kovových povrchů pro filtry pevných částic a katalyzátorů. [41]

### 6.5.1 SYSTÉM S PASIVNÍ REGENERACÍ

Emitec zatím vyrábí jen filtry pevných částic s pasivní regenerací. Na rozdíl od jiných systémů Emitec vytvořil vlastní způsob zachycování pevných částí. Částice projdou zprvu skrz oxidační katalyzátor a poté se vedou přes samotný filtr pevných částic. Hlavní rozdíl je v tom, že ve filtru pevných částic se samotná separace provádí ve dvou krocích. V prvním kroku jsou větší částice odvedeny do kanálků díky turbulentnímu proudění. V druhém kroku se zbytek filtruje přes kanálky a mikročástice se usazují ve struktuře. Ve filtru probíhá stále pasivní regenerace, a to při teplotě okolo 200°C. Výhodami jsou nízká spotřeba, velká účinnost (až o 30% oproti konkurenčním zařízením) a filtry je možné přidat do stávajících oxidačních katalyzátorů v automobilech. [42][43]



Obr. 20 Filtrační vložka a kovový systém kanálků od firmy Emitec. [42]



Obr. 21 Filtr pevných částic firmy Emitec. [43]



## 6.6 ENGINECONTROL SYSTEMS

Jedná se o firmu zabývající se snižováním emisí pro naftové a benzínové motory. Zajímavostí je, že firma věnuje nemalou pozornost motorům spalujícím alternativní paliva, včetně propanu a zemního plynu. Výrobce udává zaručené snížení pevných částic o 85%, za ideálních podmínek slibuje téměř 100% účinnost.

### 6.6.1 SYSTÉM S PASIVNÍ REGENERACÍ

#### Purifilter

Filtr dosahuje 90% účinnosti pro snížení emisí pevných částic. Je vyroben z karbidu křemíku a vnitřek je potažen drahými kovy, které se starají o pasivní oxidaci nahromaděných částic.

#### CATTRAP

Jedná se o speciálně navržený systém pro hornictví a další těžké průmyslové aplikace. Účinnost filtru je více než 85%.

### 6.6.2 SYSTÉM S AKTIVNÍ REGENERACÍ

#### Combifilter

Jedná se o systém snižující pevné částice ve výfukových plynech o více než 90%. Zároveň se filtr stará o snižování  $\text{NO}_2$  emisí. Filtr je vybaven také tlumičem a ovládacím panelem pro nastavení regenerace. Combifilter se vyrábí ve dvou variantách a to:

**Combifilter typu K-** systém, u kterého lze regeneraci vyvolat například přes noc, nebo když zařízení nebo vozidlo není využíváno. Pokud není dostatek času pro tuto regeneraci, je možné filtr jednoduše během pár minut vyměnit a střídat tak několik filtrů na jednom vozidle.

**Combifilter typu S-** systém, u kterého regenerace proběhne samovolně v rozmezí 60-90 minut, a to i při vypnutém motoru za pomoci připojení filtru do sítě.



Obr. 22 Combifilter typu K. [44]



Obr. 23 Combifilter typu S. [44]



### Purifilter plus

Purifilter plus je jakousi sloučeninou combifilteru a purifilteru. Jedná se o skloubení pasivního systému s aktivní regenerací. Během provozu se filtr regeneruje pasivně, pokud však není pasivní regenerace dostatečná a nelze ji provést z důvodu nízké teploty výfukových plynů, systém spustí regeneraci aktivní. Tento typ filtru je velmi často využíván jako prostředek pro redukci pevných částí u lodí, v přístavech a u aplikací, kde není zaručen stálý běh motoru. [44]



Obr. 24 Combifilter plus. [44]

## 6.7 OSTATNÍ VÝROBCI

Na dnešním trhu najdeme řadu dalších výrobců filtrů pevných částic.

**Cleaire** je firma zabývající se dodatečnou montáží do vozidel.

**Eminox** má aditivní systém FBC. Do filtrů se přidává aditivum na bázi stroncia a železa.

**LanYu** - jedná se o čínskou firmu zabývající se snižováním emisí a redukcí pevných částic ve výfukových plynech. Dále vyrábějí palivové filtry. Výrobky jsou určeny pro hornictví, tunelování, konstrukci a manipulaci s materiály do malých užitkových motorů a generátorů elektrické energie. Produkt s označením ACME p-DPF je schopen zredukovat pevné částice o 50%, CO o 90% a HC o 90%. Druhý produkt s označením Muffler je určen do těžkých stavebních strojů. Účinnost je stejná. [50]

**Sunny-Metal** je firma, která vyrábí kovová vlákna, brzdové obložení a některé komponenty automobilů. Mimo jiné se věnuje i výrobě filtrů pevných částic. V nabídce mají dva systémy a to Wall-flow s účinností až 95% a Partial-Flows účinností 40-75%. [51]

**Miratech** - firma vyrábí filtry pevných částic pro stacionární dieselové motory. Filtry mají účinnost okolo 85%. Často jsou užívány jako filtry pro zařízení k výrobě elektrické energie, pro čerpadla, lokomotivy, námořní aplikace pro zařízení od 150kW až 7MW. [52]



Obr. 25 Filtry pevných částic firmy Miratech. [52]



Obr. 26 Filtr pevných částic firmy Sunny-Metal s technologií wall-flow. [51]



Obr. 27 Filtr pevných částic firmy Sunny-Metal s technologií partial-flow. [51]

Valná většina výrobců postavila svou technologii na téměř stejných principech fungování a obdobných materiálech komponentů filtrů. Zmínil jsem zde jen firmy, které se zabývají dodatečnou montáží do strojů, které filtry pevných částic zprvu nevyžadovaly, nebo společnosti, které nevlastní svou vývojovou linku. Jednotlivé světové koncerny využívají vlastních poznatků pro výzkum a výrobu filtrů pevných částic. Zajímavostí je, že řada lidí si filtr pevných částic spojuje jen s osobními automobily, avšak jak bylo několikrát zmíněno, filtry našly využití nejen u osobních automobilů, ale také stavebních strojů, důlní techniky, generátorů, čerpadel a pod.



## 7 FILTRY PEVNÝCH ČÁSTIC A BENZÍNOVÉ MOTORY

Palivo benzínových motorů je stejně jako nafta vyráběno ze sloučenin uhlovodíků. Benzín je obohacen o řadu aditiv a jiných komponent pro jeho co nejlepší vlastnosti. Při dokonalém spalování se přesné množství paliva smísí s určitým množstvím plynu tak, aby došlo k ideální oxidaci kyslíkem. Během dokonalého hoření dojde k vytvoření pouze vodní páry a oxidu uhličitého. Ideální cyklus však u reálného motoru nikdy neproběhne, neboť je v motoru obsaženo mnoho dalších nečistot a oleje. Vstřikování paliva do spalovacího prostoru reaguje s mírným zpožděním nebo předstihu, a tak se v motoru začnou vytvářet i jiné složky než jen oxid uhličitý a vodní pára. V reálném případě dojde k vytvoření dusíku ( $N_2$ ), vodní páry ( $H_2O$ ), oxidu uhličitého ( $CO_2$ ). Vlivem nedokonalého spalování dojde k vytvoření oxidu uhelnatého ( $CO$ ), nespálených uhlovodíků ( $HC$ ), oxidů dusíku ( $NO_x$ ), oxidu siřičitého ( $SO_2$ ) a sazí, nebo-li pevných částic ( $PM$ ). Všechny uvedené škodlivé látky vzniklé nedokonalým spalováním jsou ve výfukových plynech benzínových motorů obsaženy jen jedním procentem, ale i přes tuto skutečnost, jsou velkým problémem pro životní prostředí. Obdobný problém, jak už bylo zmíněno, nastává u dieselových motorů, u něhož vlivem nedokonalého hoření vznikají pevné částice. Jejich počet značně kolísá, neboť je závislý na zatěžování motoru. [48]

Pokud srovnáme dieselový a benzínový motor z hlediska ekologičnosti a úspor, ocitáme se uprostřed poměrně diskutovaného sporu. V případě skleníkového plynu ( $CO_2$ ) vedou v jeho produkci dieselové motory.  $CO_2$  je závislý čistě na množství spáleného paliva. Při spalování 1l nafty vytvoříme 2,7kg  $CO_2$ , v případě 1l benzínu se jedná o 2,3kg  $CO_2$ . Dieselové motory se sice vyznačují nižší spotřebou než motory benzínové, ale rozdíl v množství  $CO_2$  tolik neovlivní, neboť rozdílná spotřeba je velmi malá. Dieselové motory proto při spalování produkují více  $CO_2$  než motory benzínové. V produkci jedovatého oxidu uhelnatého  $CO$  je ovšem dieselový motor ekologičtější.

Nejrozdílnější je tvorba sazí a  $NO_x$ . Jak bylo uvedeno v práci, saze jsou největším problémem dieselových motorů. Bez speciálních zařízení, jako jsou filtry pevných částic, by vozidla vybavena dieselovým motorem nemohla jezdit. Díky novým technologiím jsme schopni škodliviny u dieselových motorů značně eliminovat, a tak se dieselové motory tváří jako ekologičtější, avšak pokud vezmeme v úvahu složitý systém zařízení pro redukci, samotný spalovací motor z tohoto sporu vychází podstatně lépe. Díky přesnému spalování u benzínových motorů nezávislému na poměru paliva a vzduchu můžeme zbytek nespáleného paliva, nečistot a škodlivin zredukovat pomocí třicestného katalyzátoru. U dieselových motorů toto nelze, neboť poměr škodlivých látek není konstantní a mění se vlivem zatížení motoru. Dieselové motory proto potřebují daleko složitější systém pro redukci výfukových plynů.

Benzínové motory při spalování nevyužívají takto vysokých tlaků a teplot jako motory dieselové. Při spalování je směs více obohacena o kyslík a tak spalování probíhá bez nedokonalé oxidace a za téměř nulového vzniku sazí. Ve spalínách benzínových motorů jsou saze skutečně zastoupeny, ale ve velmi malém množství. Zdrojem sazí mohou být například nečistoty ve směsi, olej přítomný ve spalovací komoře, či různé pevné pozůstatky (rez, nečistoty apod.). Tvorba sazí u benzínových motorů je závislá na homogenitě směsi a přesnosti vstřikování. Dieselové motory tvoří saze proměnlivě, v závislosti na zatěžování, oproti tomu benzínové motory tvoří pevné částice neproměnlivě a většinou se hodnota pevných částic po zahřátí motoru ustálí. Benzínový motor nejvíce vytváří pevné částice,





pokud se zahřívá. Díky studeným startům motoru není palivo dokonale spalováno, a tak se přebytek přeměňuje v pevné částice. [47]

Od zavedení emisní normy Euro 5 už nejsou pevné částice problémem jen dieselových motorů. Emisní norma, jež kontroluje pevné částice v exhalátech, už je natolik přísná, že se benzínové motory dostávají na samotný okraj přípustného množství pevných částic. Do budoucna je třeba zabývat se vývojem motorů, nebo jiných zařízení, které se postarají o nižší hodnotu pevných částic i u benzínových motorů. Například motor MPFI (Multi-Port Fuel Injection), jenž je instalován do řady vozidel, je už pod hodnotou do budoucna navrhované normy Euro 6. Motor GDi (gasoline direct injection) už vůbec normu nesplňuje. Možným způsobem, jak eliminovat pevné částice u benzínových motorů, je možnost úpravy vstřikování paliva, přípravě samotné směsi a její homogenity nebo změnou teploty motoru. Například motory s přímým vstřikováním se vyznačují daleko vyšším počtem pevných částic, než motory bez přímého vstřikování.

Pro použití filtru pevných částic je třeba vysokých teplot exhalátů na výstupu kvůli regeneracím (zpravidla vyšší než 500°C). Spaliny benzínových motorů nemají dostatečnou teplotu pro použití filtrů s pasivní regenerací. Jejich teplota se pohybuje zpravidla v intervalu 250-400°C. Je možné teplotu hoření částic snížit pomocí aditiv nebo do vozu nainstalovat filtr s aktivní regenerací. Ale ne vždy může být výhodné instalovat do vozů toto zařízení. Díky použití filtru pevných částic (ať s pasivní nebo aktivní regenerací) dojde ke zvýšení odporu ve výfukovém potrubí, což bude mít za následek snížení výkonu motoru. Pokud budeme do vozidel instalovat filtry s přídavným vstřikem paliva, razantně se zvýší spotřeba paliva a celkově se zvýší i cena motoru vybaveného filtrem (navíc se jedná o další součást ve výfukovém potrubí, kterou je třeba sledovat a servisovat, což má na cenu další dopad). Přímé vstřikování paliva je u benzínových motorů účinné a motory pracují velmi efektivně, takže lze předpokládat, že se jednotlivé automobilky této technologie nevzdají. Limit pevných částic lze i s těmito motory stále plnit, a to právě díky úpravě vstřikování. Předpokládá se, že se zavedením normy Euro 6 budou stále benzínové motory v mezích emisních limitů i bez použití částicových filtrů. Takto upravovat a optimalizovat chod motoru ovšem nelze do nekonečna a lze říci, že s postupem času dojde i na samotné filtry. [49]

Tab.7 Emisní limity Euro pro benzínové a dieselové motory; \* GDi motory; \*\* všechny benzínové motory. [49]

|        |       | Gasoline  |            |            |            | Diesel    |            |            |            |
|--------|-------|-----------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|
|        |       | EURO4     | EURO 5a    | EURO 5b    | EURO 6     | EURO4     | EURO 5a    | EURO 5b    | EURO 6     |
|        |       | Jan. 2005 | Sept. 2009 | Sept. 2011 | Sept. 2014 | Jan. 2005 | Sept. 2009 | Sept. 2011 | Sept. 2014 |
| THC    | mg/km | 100       | 100        | 100        | 100        | -         | -          | -          | -          |
| NMHC   | mg/km | -         | 68         | 68         | 68         | -         | -          | -          | -          |
| HC+NOx |       | -         | -          | -          | -          | 300       | 230        | 230        | 170        |
| NOx    | mg/km | 80        | 60         | 60         | 60         | 250       | 180        | 180        | 80         |
| CO     | mg/km | 1000      | 1000       | 1000       | 1000       | 500       | 500        | 500        | 500        |
| PM     | mg/km | -         | 5*         | 4.5*       | 4.5*       | 25        | 5          | 4.5        | 4.5        |
| PN#    | #/km  | -         | -          | -          | TBD**      | -         | -          | 6.0E+11    | 6.0E+11    |

Status: September 2010



## ZÁVĚR

Filtry pevných částic jsou velice diskutabilním zařízením. Řada odpůrců kritizuje vysokou cenu těchto zařízení, jiní patří mezi jejich zastánce a souhlasí se zvyšováním emisních limitů a s nimi spojenou ochranou životního prostředí. Otázkou stále zůstává, zda-li náklady pro zavedení těchto nových norem, výroba filtrů, jejich vývoj a produkce, popřípadě recyklace, čištění a demolice jsou v závěru méně ekologicky nákladné a zda se filtry v provozu opravdu stanou užitečnými prvky výfukového systému a převýší tak pozitiva nad negativy.

V dnešní spotřební době, kdy téměř každý člověk vlastní automobil, kdy silniční dopravní technika stále roste, kdy neupadající těžký průmysl stále zamořuje okolí sazemí, jsou filtry opravdu užitečnými pomocníky. Prašnost vzduchu, který dýcháme, se s dobou stále zvyšuje a pokud nenalezneme vhodný prostředek pro redukci pevných částic v ovzduší, pravděpodobně se budeme potýkat s velkými zdravotními problémy.

Většina společností garantuje téměř 100% účinnost filtrů v redukci pevných částic, navíc je řada filtrů dokáže snížit i emisi NOx. Na dnešním trhu je mnoho filtrů pro jakékoliv použití. Pro vozidla, která se pohybují v městském provozu, máme filtry s aditivu a aktivní regenerací. Pro nákladní automobily, které jezdí na delší cesty, máme jednodušší filtry s pasivní regenerací. Byly vyvinuty i filtry pro stacionární zařízení a důlní techniku. Tyto stroje rovněž přispívají ke zhoršování životního prostředí. Pro každou aplikaci je možné použít filtr přesně na míru. Dle mého názoru jsou filtry pevných částic velmi užitečným pomocníkem v boji s prašností ve světě, ať už pro jejich kompaktnost, tak i účinnost. Právě tato technologie může zlepšit životní prostředí. Řada lidí patří mezi odpůrce filtrů, neboť pořízení filtrů je dalším finančně náročným výdajem. Pokud se budeme o filtry v našich vozidlech dobře starat, stejně jako o vizuální vzhled vozů, můžeme se spolehnout na to, že filtry budou mít velmi dlouhou životnost a svůj účel budou dostatečně plnit. Dle pokynu výrobců je třeba dodržet určité zásady u používání filtrů pevných částic, jako je pravidelné doplňování aditiv, způsob jízdy během regenerace apod. Lze předpokládat, že jedním z důvodů kritiky filtrů, je skutečnost, že řada lidí tyto zásady nerespektuje a potýká se s problémy s nimi spojenými.

Je třeba si také uvědomit, že filtry jsou poměrně novou záležitostí a řada technologií není ještě dotažená do konce. Do budoucna se budou vyvíjet lepší materiály a aditiva. Určitě bude kladen důraz na cenu a spolehlivost. Ze zákona se dle emisních norem musíme řídit a jen díky filtrům pevných částic mohou nová vozidla vybavena dieselovými motory jezdit po našich cestách. V poslední době se velice často diskutuje i o redukci pevných částic u benzínových motorů. Norma už natolik omezuje pevné částice ve výfukových plynech, že se úzce dotýká hraničních hodnot benzínových motorů, a to se benzínové motory pokládaly za motory s téměř zanedbatelnou emisivitou PM.



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Exhaust Systems for Motor Vehicles : Catalytic Convertersfor Otto Cycle Engines. Landsberg/Lech : Verlag Moderne Industrie, 2001. 70 s.
- [2] Polétavý prach (PM10). *Integrovaný registr znečišťování* [online]. 2010 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/85>
- [3] Spaliny a škodlivé látky. NGK [online]. © 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.ngk.de/cz/technicke-detaily/lambda-sondy/zakladni-vedomosti-o-emisich/spaliny-a-skodlive-latky/>
- [4] ROŽNOVSKÝ, J., T. LITSCHMANN. Znečištění ovzduší – Metody měření a hodnocení vlivu: Morfologie pevných částic. Mikulov, 2008. Dostupné z: [http://www.cbks.cz/sbornik08a/Licbinsky\\_Adamec\\_Huzlik.pdf](http://www.cbks.cz/sbornik08a/Licbinsky_Adamec_Huzlik.pdf)
- [5] Filtr pevných částic. *Vítejte na Zemi* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: [http://www.cittadella.cz/cenia/index.php?p=filtr\\_pevnych\\_castic&site=doprava](http://www.cittadella.cz/cenia/index.php?p=filtr_pevnych_castic&site=doprava)
- [6] Prašné částice. *Vítejte na Zemi* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: [http://www.cittadella.cz/cenia/index.php?p=prasne\\_castice&site=doprava](http://www.cittadella.cz/cenia/index.php?p=prasne_castice&site=doprava)
- [7] EURO-normy. NGK [online]. ©2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.ngk.de/cz/technicke-detaily/lambda-sondy/zakladni-vedomosti-o-emisich/euro-normy/>
- [8] Regulace emisí. BEL [online]. 2009-2012 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.ngk.de/cz/technicke-detaily/lambda-sondy/zakladni-vedomosti-o-emisich/euro-normy/>
- [9] Nová emisní norma EURO 6 pro automobily. *Live cars* [online]. 2010 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: : <http://www.livecars.cz/aktuality/zajimavosti/emisni-norma-euro6.aspx>
- [10] HÁJEK, O. Emisní norma Tier 4i: jak fungují nové motory v zemních strojích a na co si dát pozor. *Bagry* [online]. 2011 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: [http://bagry.cz/clanky/technika/emisni\\_norma\\_tier\\_4i\\_jak\\_funguji\\_nove\\_motory\\_v\\_zemnich\\_strojich\\_a\\_na\\_co\\_si\\_dat\\_pozor](http://bagry.cz/clanky/technika/emisni_norma_tier_4i_jak_funguji_nove_motory_v_zemnich_strojich_a_na_co_si_dat_pozor)
- [11] Ekologická daň na auto. *Nejlevnější ručení* [online]. © 2012 - 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.nejlevnejsiruceni.cz/ekologicka-dan-auta/>
- [12] Filtr pevných částic DPF, FAP. *Autokontakty* [online]. 2011 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.autokontakty.cz/clanky/filtr-pevnych-castic-dpf-fap>
- [13] Training Zone: diesel particulate filter (DPF). *AA-Academy* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: [http://www.aa-academy.com/Training/Learning%20Zone/Diesel%20Particulate%20Filter%20\(DPF\).asp](http://www.aa-academy.com/Training/Learning%20Zone/Diesel%20Particulate%20Filter%20(DPF).asp)





- [14] Koncern PSA prodal již milion vozů vybavených filtrem pevných částic (FAP). *Autorevue* [online]. 2005 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: [http://www.autorevue.cz/koncern-psa-prodal-jiz-milion-vozu-vybavenych-filtrem-pevnnych-castic-fap\\_2](http://www.autorevue.cz/koncern-psa-prodal-jiz-milion-vozu-vybavenych-filtrem-pevnnych-castic-fap_2)
- [15] Filtr pevných částic – DPF. *Ford-Club* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.ford-club.cz/2010/03/filtr-pevnnych-castic-dpf/>
- [16] ŠIKL, P. Filtry pevných částic jsou časovanou bombou. *TipCars* [online]. 2010 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.tipcars.com/magazin-filtry-pevnnych-castic-jsou-casovanou-bombou-4645.html>
- [17] Regenerace filtru pevných částic. *Odstranění DPF* [online]. © 2008 - 2012 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.odstranidpf.cz/clanky/regenerace-filtru-pevnnych-castic>
- [18] Dieselová Pro a Proti, část IV: Kolik stojí nový filtr pevných částic?. *VEVERKA, L. Auto* [online]. 2012 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/dieselova-pro-a-proti-cast-iv-kolik-stoji-novy-filtr-65656>
- [19] SLOVÁČEK, P.,ŘEZÁČ, Z. Pozor, napadeno kutilem!.*Svět Motorů*. 2010, roč. 64, čís. 19, s. 8-11. ISSN 0039-7016
- [20] Nízkoemisní zóny. Filtry pevných částic [online]. 2011 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.filtrypevnnychcastic.cz/cz/nizkoemisni-zony>
- [21] HEISLER, H. *Advanced Engine technology*. Butterworth-Heinemann, second published, Oxford, 2002. ISBN 1-56091-734-2
- [22] HÁJEK, O. Kolový nakladač Liebherr L 566 T 2plus2 využijete na stavbách tunelů. *Bagry* [online]. 2008 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: [http://bagry.cz/clanky/recenze/kolovy-nakladac-liebherr\\_l\\_566\\_t\\_2plus2\\_vyuzijete\\_na\\_stavbach\\_tunelu](http://bagry.cz/clanky/recenze/kolovy-nakladac-liebherr_l_566_t_2plus2_vyuzijete_na_stavbach_tunelu)
- [23] Závady FAP/DPF. *FAPOFF* [online]. 2010 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.fapoff.cz/zavady-fap-dpf>
- [24] Co signalizuje rozsvícená kontrolka filtru pevných částic?. *Odstranění DPF* [online]. © 2008 - 2012 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.odstranidpf.cz/clanky/co-signalizuje-rozsvicena-kontrolka-filtru-pevnnych-castic>
- [25] Produkty. *BAUMOT* [online]. 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.baumot.cz/produkty>
- [26] Passive systeme BA. *BAUMOT* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.baumot.ch/index.cfm?s=TmpStandard&hmID=9&um1ID=39&um2ID=16&contentID=64&action=hm9&content=um139&content2=um216&z=3>
- [27] Passive systeme BA-B. *BAUMOT* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.baumot.ch/index.cfm?s=TmpStandard&hmID=9&um1ID=39&um2ID=17&contentID=65&action=hm9&content=um139&content2=um217&z=3>



- [28] Baumot DPF BA-A. *BAUMOT* [online]. 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.baumot.ch/index.cfm?s=TmpStandard&hmID=9&um1ID=40&um2ID=19&contentID=68&action=hm9&content=um140&content2=um219&z=3>
- [29] Baumot DPF BA-H. *BAUMOT* [online]. 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.baumot.ch/index.cfm?s=TmpStandard&hmID=9&um1ID=40&um2ID=21&contentID=67&action=hm9&content=um140&content2=um221&z=3>
- [30] Baumot DPF BA-F. *BAUMOT* [online]. 2013 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.baumot.ch/index.cfm?s=TmpStandard&hmID=9&um1ID=40&um2ID=20&contentID=70&action=hm9&content=um140&content2=um220&z=3>
- [31] About HJS. *HJS Emission Technology* [online]. 2006 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: [http://www.hjs.com/en/65/0/seite\\_1/Company/About\\_HJS/about\\_hjs.html](http://www.hjs.com/en/65/0/seite_1/Company/About_HJS/about_hjs.html)
- [32] Diesel particulate filters for public transport buses. *HJS Emission Technology* [online]. 2006 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: [http://www.hjs.com/en/79/0/seite\\_1/Fahrzeuge\\_&\\_Anwendungen/Busse/Diesel-Partikelfilter/diesel\\_partikelfilter.html](http://www.hjs.com/en/79/0/seite_1/Fahrzeuge_&_Anwendungen/Busse/Diesel-Partikelfilter/diesel_partikelfilter.html)
- [33] SMF® – 100% soot-free. *HJS Emission Technology* [online]. 2006 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: [http://www.hjs.com/en/77/0/seite\\_1/Fahrzeuge\\_&\\_Anwendungen/Lkw/Diesel-Partikelfilter/diesel\\_partikelfilter.html](http://www.hjs.com/en/77/0/seite_1/Fahrzeuge_&_Anwendungen/Lkw/Diesel-Partikelfilter/diesel_partikelfilter.html)
- [34] CARB 3+ verified active particulate filter. *HUSS* [online]. 2010 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: [http://www.hussgroup.com/huss-umwelt/us/products/diesel\\_burner\\_dpf.php](http://www.hussgroup.com/huss-umwelt/us/products/diesel_burner_dpf.php)
- [35] Diesel Post-injection technology. *HUSS* [online]. 2010 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: [http://www.hussgroup.com/huss-umwelt/us/products/post-injection\\_dpf.php](http://www.hussgroup.com/huss-umwelt/us/products/post-injection_dpf.php)
- [36] Catalytic Coating particulate filter. *HUSS* [online]. 2010 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: [http://www.hussgroup.com/huss-umwelt/us/products/catalytic\\_coating\\_dpf.php](http://www.hussgroup.com/huss-umwelt/us/products/catalytic_coating_dpf.php)
- [37] DPF for construction machines. *HUSS* [online]. 2010 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: [http://www.hussgroup.com/huss-umwelt/us/products/dpf\\_construction\\_machine.php](http://www.hussgroup.com/huss-umwelt/us/products/dpf_construction_machine.php)
- [38] Feelpure platinum. *Pirelli* [online]. 2012 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.pirelli.com/environment/en/feelpure/feelpure-filter/retrofit/feelpure-platinum.html>
- [39] Feelpure FBC / FBC AR. *Pirelli* [online]. 2012 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.pirelli.com/environment/en/feelpure/feelpure-filter/retrofit/feelpure-fbc-ar.html>
- [40] Feelpure DPF. *Filtry pevných částic* [online]. 2011 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.filtrypevnýchcastic.cz/cz/feelpure>
- [41] Homepage. *EMITEC* [online]. [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.emitec.com/en/home.html>



- [42] Emitec introduction. *EMITEC* [online]. [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.emitec.com/en/emitec.html>
- [43] PM Metalit® – the partial-flow deep-bed filter for diesel particulates. *EMITEC* [online]. [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.emitec.com/en/technology/catalyst-substrates/pm-metalit.html#c221>
- [44] Diesel Particulate Filters. *Engine control systems*[online]. [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.enginecontrolsyste.ms.com/prod-dpf.aspx>
- [45] Feelpure DOWNOX. Pirelli [online]. 2012 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.pirelli.com/environment/en/feelpure/feelpure-filter/retrofit/feelpure-downox-dpf-scr.html>
- [46] Partial-Flow DPF. *ECVV* [online]. © 2003-2013 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.ecvv.com/product/1437522.html>
- [47] STÝBLO, S. Je ekologičtější diesel nebo benzínový motor?. *TipCars* [online]. 2010 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.tipcars.com/magazin-je-ekologictejsi-diesel-nebo-benzinovy-motor-4432.html>
- [48] PETRÁS, Z., RŮŽIČKA, A. Měření Emisí. Praha:Robert Bosch, 1997.62s
- [49] PIOCK, W., G. HOFFMANN, A. BERNDORFER, P. SALEMI a B. FUSSHOELLER. *Strategies Towards Meeting Future Particulate Matter Emission Requirements in Homogeneous Gasoline Direct Injection Engines* [online]. Luxembourg, 2011 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://delphi.com/pdf/techpapers/2011-01-1212.pdf>
- [50] Lanyu technologies. *ECVV* [online]. 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: [http://www.ecvv.com/company/colin\\_liang/profile.html](http://www.ecvv.com/company/colin_liang/profile.html)
- [51] Sunny-Metal WALL-FLOW DPF. *Sunny Metal* [online]. 2009 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.sunny-metal.com/wall-flow%20dpf.html>
- [52] Diesel Particulate Filter (DPF). *Miratech* [online]. 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.miratechcorp.com/site/miratech/section/26>



## SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Obrázek 1</b> Celosvětová regulace emisí od roku 2011 [8].....                              | 17 |
| <b>Obrázek 2</b> Plán celosvětové regulace emisí od roku 2016 [8].....                         | 17 |
| <b>Obrázek 3</b> Schéma filtru pevných částic a průběh průchodu spalin[12].....                | 20 |
| <b>Obrázek 4</b> Schéma činnosti tlakového senzoru, šipky představují tok exhalátů[13].....    | 20 |
| <b>Obrázek 5</b> Umístění filtru ve výfukovém potrubí[12].....                                 | 21 |
| <b>Obrázek 6</b> Filtr pevných částic u nakladače Liebherr L 566 T 2plus2 [22].....            | 24 |
| <b>Obrázek 7</b> Filtr pevných částic firmy Baumot s označením BA.[27].....                    | 27 |
| <b>Obrázek 8</b> Filtr pevných částic firmy Baumot s označením BA-B s DOC[26].....             | 27 |
| <b>Obrázek 9</b> Filtr pevných částic firmy Baumot s označením BA-A [28].....                  | 28 |
| <b>Obrázek 10</b> Schémata zapojení jednotlivých prvků u systému BA-B[28].....                 | 28 |
| <b>Obrázek 11</b> Filtr pevných částic firmy Baumot s označením BA-H[29].....                  | 28 |
| <b>Obrázek 12</b> Filtr pevných částic firmy Baumot s označením BA-F[30].....                  | 28 |
| <b>Obrázek 13</b> Filtr pevných částic firmy HJS pro nákladní automobily[33].....              | 29 |
| <b>Obrázek 14</b> Filtrační vložka firmy HJS[32].....                                          | 29 |
| <b>Obrázek 15</b> Rozložený filtr pevných částic firmy HJS[32].....                            | 29 |
| <b>Obrázek 16</b> MK-Systém[34].....                                                           | 30 |
| <b>Obrázek 17</b> MD-Systém[35].....                                                           | 31 |
| <b>Obrázek 18</b> MC-Systém [36].....                                                          | 31 |
| <b>Obrázek 19</b> DOWNOX [45].....                                                             | 33 |
| <b>Obrázek 20</b> Filtrační vložka a kovový systém kanálků od firmy Emitec[42].....            | 33 |
| <b>Obrázek 21</b> Filtr pevných částic firmy Emitec [43].....                                  | 33 |
| <b>Obrázek 22</b> Combifilter typu K[44].....                                                  | 34 |
| <b>Obrázek 23</b> Combifilter typu S[44].....                                                  | 34 |
| <b>Obrázek 24</b> Combifilter plus[44].....                                                    | 35 |
| <b>Obrázek 25</b> Filtry pevných částic firmy Miratech [52].....                               | 36 |
| <b>Obrázek 26</b> Filtr pevných částic firmy Sunny-Metal s technologií wall-flow. [51].....    | 36 |
| <b>Obrázek 27</b> Filtr pevných částic firmy Sunny-Metal s technologií partial-flow. [51]..... | 36 |
| <br>                                                                                           |    |
| <b>Tabulka 1</b> Emisní limity Euro pro nová vozidla se vznětovým motorem[7].....              | 15 |
| <b>Tabulka 2</b> Emisní limity Euro pro nová vozidla s zážehovým motorem[7].....               | 15 |
| <b>Tabulka 3</b> Tabulka ekologických daní vozidel [11].....                                   | 16 |
| <b>Tabulka 4</b> Tabulka Evropských emisních limitů pro pracovní stroje [10].....              | 16 |
| <b>Tabulka 5</b> Tabulka doporučených cen nových dílů pro vybrané vozy [18].....               | 23 |
| <b>Tabulka 6</b> Emisní limity Euro pro benzínové a dieselové motory[49].....                  | 38 |
| <br>                                                                                           |    |
| <b>Graf 1</b> Rozložení emisí PM v dopravě v roce 2011 [%] [6].....                            | 13 |
| <b>Graf 2</b> Tabulka Redukce emisí pro motory o výkonu 130-560 kW [10].....                   | 18 |
| <b>Graf 3</b> Závislost výkonu motoru a typu filtru (BA)[26].....                              | 26 |



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

|                               |                                                                                                                                  |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PM                            | Particulate matter - pevná částice                                                                                               |
| C                             | Uhlík                                                                                                                            |
| H                             | Vodík                                                                                                                            |
| CO                            | Oxid uhelnatý                                                                                                                    |
| CO <sub>2</sub>               | Oxid uhličitý                                                                                                                    |
| HC                            | Uhlovodíky                                                                                                                       |
| H <sub>2</sub> O              | Voda nebo vodní pára                                                                                                             |
| NO <sub>x</sub>               | Oxidy dusíku                                                                                                                     |
| N <sub>2</sub> O              | Oxid dusný                                                                                                                       |
| NO                            | Oxid dusnatý                                                                                                                     |
| N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Oxid dusitý                                                                                                                      |
| NO <sub>2</sub>               | Oxid dusičitý                                                                                                                    |
| SO <sub>2</sub>               | Oxid siřičitý                                                                                                                    |
| SiC                           | Karbid křemíku                                                                                                                   |
| DOC                           | Diesel oxidation catalyst - dieselový oxidační katalyzátor                                                                       |
| DPF                           | Diesel particulate filter - filtr pevných částic                                                                                 |
| FAP                           | Filtre a particules - filtr pevných částic                                                                                       |
| EGR                           | Exhaust gas recirculation - Ventil recirkulace výfukových plynů                                                                  |
| SCR                           | Selective catalytic reduction - Selektivní katalytická redukce                                                                   |
| CEGR                          | The cooled exhaust gas recirculation - Systém recirkulace výfukových plynů s chlazením                                           |
| HDI                           | High - pressure direct injection - vznětový motor s vysokotlakým přímým vstřikováním                                             |
| GDI                           | Gasoline direct injection - přímé vstřikování benzínu                                                                            |
| MPFI                          | Multi-port fuel injection - vstřikování paliva se samostatným vstřikovacím ventilem na každý sací kanál (vícebodové vstřikování) |