VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

FILTRY PEVNÝCH ČÁSTIC PRO VZNĚTOVÉ POHONNÉ JEDNOTKY
DIESEL PARTICULATE FILTERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Marek Haratek
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Radim Dundálek, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2019

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	**Marek Haratek**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	**Ing. Radim Dundálek, Ph.D.**
Akademický rok:	2018/19

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 pro vznětové pohonné jednotky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Osvojení základních pojmů zadané problematiky. Vysvětlení principu činnosti filtru pevných částic pro vznětové motory. Zamyšlení nad perspektivou budoucího vývoje přeplňovaných benzínových s ohledem na snižování škodlivin ve výfukových plynech.

Cíle bakalářské práce:

Uvedení přehledu filtrů pevných částic pro vznětové motory, popis jejich konstrukčního řešení. Výhody a nevýhody s ohledem na plnění emisních limitů. Specifické součásti – keramika, katalytická vrstva. Příklady řešení systému u konkrétních pohonných jednotek.

Seznam doporučené literatury:

STONE, Richard. Introduction to Internal Combustion Engines. 3rd edition. Hampshire: Palgrave, 1999. ISBN 0-333-74013-01999.

HEISLER, Heinz. Advanced Engine Technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 156091-734-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
ředitel ústavu	děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřená na vznik pevných částic při spalování ve vznětových motorech a jejich následnému zachytáváním v systémech DPF. První část se zabývá pevným částicím a také emisním normám uplatňovaným v Evropě a USA. V druhé části je popsán samotný princip filtrace, typy regenerace a jednotlivé druhy DPF. Poté je věnována pozornost konkrétním aplikacím systémů DPF u vybraných automobilových značek a dále je také uveden nabízený sortiment některých výrobců filtrů pevných částic včetně popisu konstrukčních variant a používaných regeneračních technologií.

KLÍČOVÁ SLOVA

pevné částice, emisní normy, DPF, Euro, Tier, oxidy dusíku

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on creation of particulate matter during combustion in diesel engines and their trapping in DPF systems. The first part deals with particulate matter and emission standards in Europe and USA. There is described filtration principle, types of regeneration and DPF variants in the second part. Afterwards the thesis is concentrated on particular DPF system applications used by representative car makers and there is also introduced range of products of some diesel particulate filter manufacturers, including description of construction variants and used regeneration technologies.

KEYWORDS

particulate matter, emission standards, DPF, Euro, Tier

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HARATEK, M. *Filtry pevných částic pro vznětové pohonné jednotky*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 47 s. Vedoucí bakalářské 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 2019 ……..……..

Marek Haratek

PODĚKOVÁNÍ

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

OBSAH

Úvod 11
1 Pevné částice 12
1.1 Původ a struktura pevných částic 12
1.2 Zdravotní rizika 13
1.3 Vliv na životní prostředí 13
2 Emisní limity 15
2.1 Zákony 15
2.1.1 Zákony o emisích 15
2.1.2 Zákony o znečištění 15
2.2 Emisní normy euro 15
2.3 Emisní norma stage 16
2.4 Americké emisní normy 17
2.4.1 Tier 1 17
2.4.2 Tier 2 17
2.4.3 Tier 3 18
2.4.4 Kalifornské emisní normy 18
3 Princip DPF 19
3.1 Principy regenerace 21
3.1.1 Pasivní regenerace 21
3.1.2 Aktivní regenerace 21
3.2 Druhy DPF 22
3.2.1 Filtr pevných částic s neřízeným systémem 22
3.2.2 Filtry pevných částic s aditivem 22
3.2.3 Filtr pevných částic bez aditiv 23
3.2.4 Filtr pevných částic s externím vstřikovačem 24
4 Aplikace DPF v automobilech 25
4.1 Ford 25
4.2 Hyundai a Kia 26
4.3 Mazda 26
4.4 Subaru 27
5 Výrobci systémů DPF 28
5.1 Johnson Matthey 28
5.1.1 Systémy s pasivní regenerací 28
CRT 28
CSF 29

DPFiS 29
5.1.2 Systémy s aktivní regenerací 30
DPFi 30
DPF-C 31
DPF-BU 31
DPF-RID 32
5.2 Nett Technoligies 32
5.2.1 Filtry s pasivní regenerací 33
Řada S 33
Řada GreenTRAP™ 33
Řada GreenTRAP™ d 34
5.2.2 Filtry s aktivní regenerací 34
Řada VorTEQ™ 34
Řada GreenTRAP™ VOLT 35
Řada GreenTRAP™ NOVA 36
5.3 Baumot 37
5.3.1 Filtry využívající pasivní regeneraci 38
DPF-BA 38
DPF-BAB 38
DPF KIT 39
NFZ KIT 40
5.3.2 Filtry využívající aktivní regeneraci 40
DFP-BAH 40
DPF-FLAME 41
Závěr 42
Seznam použitých zkratek a symbolů 47

ÚVOD

Vznětové motory mají ze všech spalovacích motorů nejvyšší účinnost. Jsou hojně využívány ve stavebních strojích, zemědělské technice, ale také v automobilovém průmyslu. Za posledních několik desetiletí se jejich význam pro použití v osobních vozech výrazně zvýšil. S tím ale souvisí také zvýšená produkce emisí a v případě vznětových motorů zejména pevných částic. Tyto látky mají neblahý vliv na lidské zdraví, proto je jejich maximální množství regulováno celou řadou emisních norem. Těmito normami se mimo jiné musí řídit společnosti, které vyrábí zařízení používající pro svůj pohon vznětové motory.

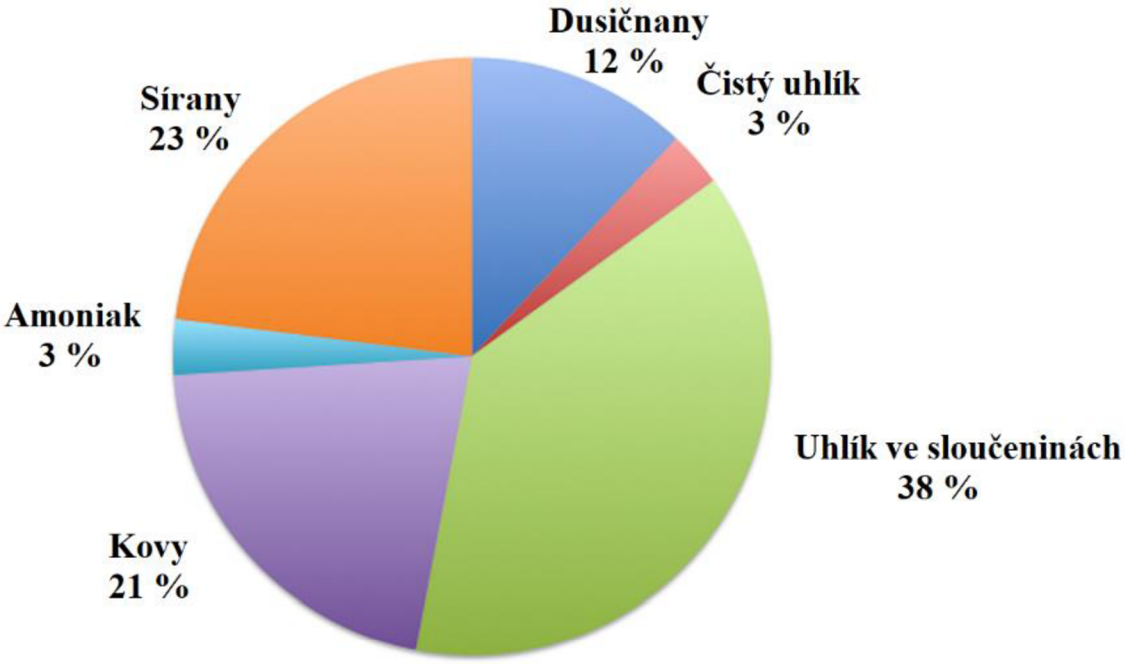
Nejrozšířenějším prvkem snižující koncentraci sazí v ovzduší jsou filtry pevných částic. Ty se začaly do automobilů ve velké míře instalovat až na přelomu tohoto tisíciletí. Jelikož postupně dochází k zavádění stále novějších a přísnějších emisních norem, musejí výrobci používat stálé účinnější a spolehlivější filtry pevných částic. Tato opatření navíc jdou ruku v ruce s příchodem systémů snižujících množství dalších škodlivých látek, jakými jsou například oxidy dusíku NO_X u systémů SCR.

V bakalářské práci budou popsány pevné částice a jednotlivé emisní normy. Dále pak bude věnována pozornost filtru pevných částic, jeho konstrukčním variantám a ukázkám jeho použití v praxi.

1 PEVNÉ ČÁSTICE

1.1 PŮVOD A STRUKTURA PEVNÝCH ČÁSTIC

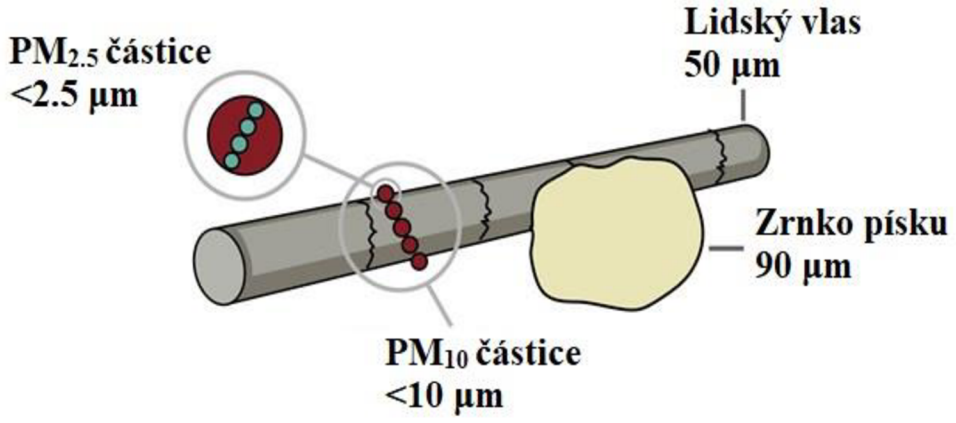
Pevné částice jsou výsledkem nedokonalého spalování motorové nafty ve válci motoru. Tato hmota se skládá z uhlíku a ze sloučenin obsahujících vodu, oxidy síry, uhlíku a dále z toxických aromatických uhlovodíků. Přesné složení je však závislé na složení použitého paliva, na kvalitě a množství nasávaného vzduchu do spalovací ho prostoru a také na opotřebení motoru. Velký vliv má také samotná technologie spalování. [1]



Obr. 1.1 Graf znázorňující složení pevných částic [2]

Pevné částice jsou definovány jako částice o velikosti menší než 10 μm (PM10) nebo menší než 2,5 μm (PM2.5). Podoba pevných částic je závislá na jejich aktuální poloze ve výfukovém systému, kterým postupně putují. Prvotní podobou pevných částic vypouštěných z motoru jsou jemné částice o rozměru 5-20 nm. Tyto částice mají tendenci se shlukovat do částic měřících okolo 50-150 nm. Při opouštění výfukového potrubí se pevné částice znovu mění. Pokud jsou jejich rozměry menší než 100 nm, pak se často vysráží na vzdušné vlhkosti a kondenzují v zemské atmosféře. [1]

Tyto částice o velikosti do 0,1 μm tvoří pouze malý podíl na absolutním objemovém množství vypouštěných částic, ale i přesto je nelze zanedbat, jelikož jejich absolutní počet dosahuje asi 73 %. Nejhorší situace je v oblastech lidských obydlí, kde je životní prostředí značně ovlivněno emisemi ze vznětových motorů. Jemné částice jsou pro zdraví člověka nejrizikovější, protože menší částečky poletují ve vzduchu déle než ty velké a také se mnohem dále dostanou do průdušinek plic. Z těchto rizikových důvodů je absolutní množství vypouštěných jemných částeček regulováno emisní normou Euro 5. [1]



Obr. 1.2 Velikost pevné částice a její porovnání s velikostí zrnka písku a lidského vlasu [3]

1.2 ZDRAVOTNÍ RIZIKA

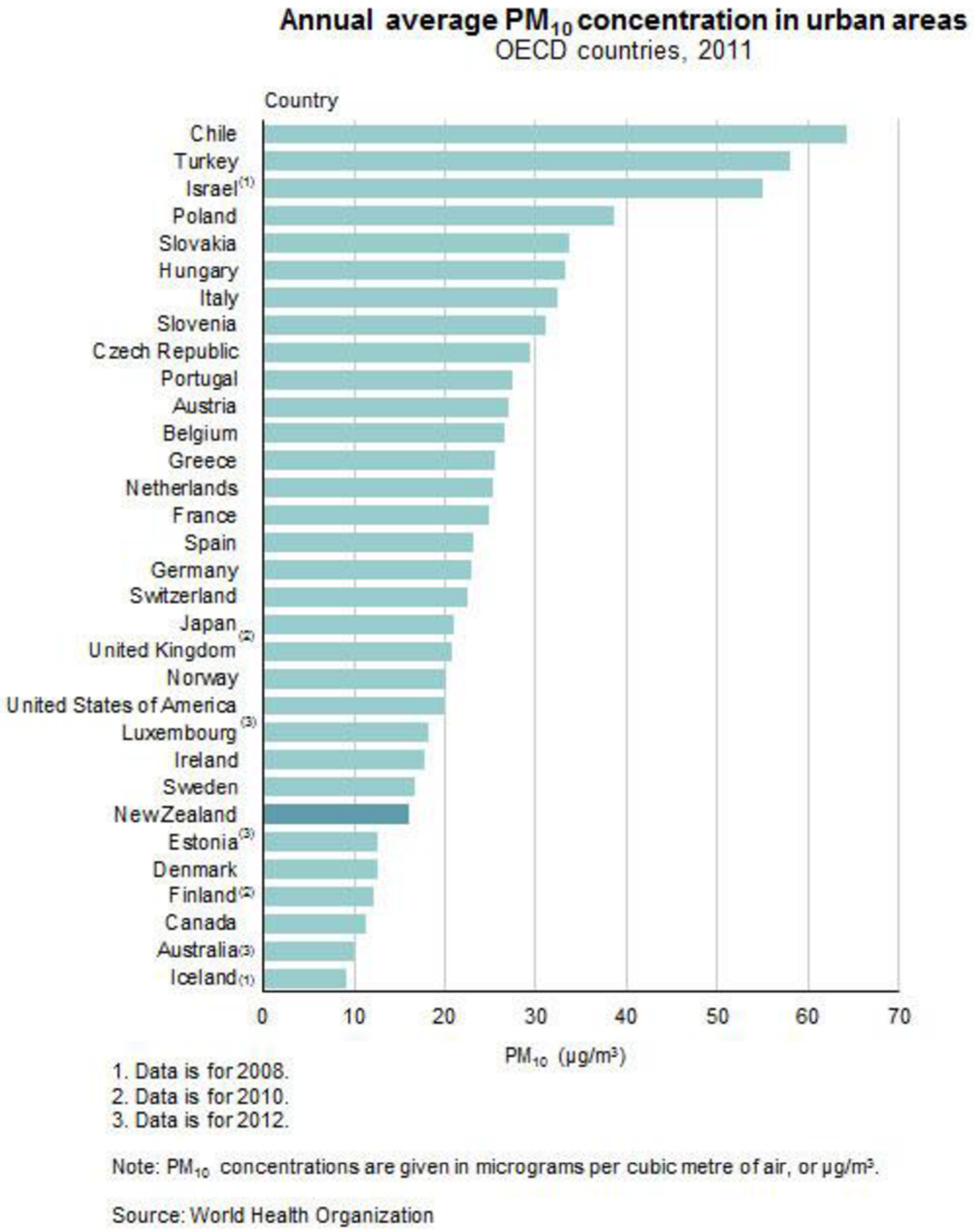
Vliv pevných částic na lidské zdraví bylo a dodnes je velmi kontroverzním tématem. Mnohé studie potvrzují, že existuje souvislost mezi vzrůstajícím množstvím vypouštěných částic PM10 a negativními dopady na lidské zdraví. Významnou roli také hrají vysoce toxické a karcinogenní aerosoly vznikající při spalování paliva. [1]

Podle zdravotních průzkumů a měření podíl pevných částic na celkovém znečištění stále roste. Tento jev má navíc čím dál větší vliv na zdraví a úmrtnost především v industrializovaných zemích. [1] Jedná se zejména o onkologická onemocnění a onemocnění dýchacích cest. V poslední letech je však také pozorována souvislost mezi vzrůstající koncentrací nanočástic v ovzduší a nárůstem vzniku Parkinsonovy a Alzheimerovy choroby.

1.3 VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Zplodiny opouštějící výfukový systém způsobují zvýšení koncentrace polétavého prachu v ovzduší a tím často zapříčiňují smogovou situaci v centrech měst. Navíc saze produkované vznětovými motory mají 2000krát větší vliv na skleníkový efekt než oxid uhličitý, což jistou měrou přispívá ke globálnímu oteplování.

Během spalování nafty dále vznikají oxidy dusíku NO_X. Tyto sloučeniny způsobují oxidaci atmosféry a přispívají ke vzniku kyselých dešťů. Navíc tyto látky připívají ke vzniku dýchacích a kardiovaskulárních obtíží. Vnitřními zásahy do motoru se dá snížit množství vypouštěných nanočástic, to vše ale za cenu zvýšení již výše zmíněných oxidů dusíku NO_X (tato závislost je označována jako PM-NO_X trade-off). Z tohoto důvodu se stanovují limity vypouštěných pevných částic společně s limity vypouštěných oxidů dusíku. [1]



Obr. 1.3 Průměrná roční koncentrace pevných částic PM10 v městských částech [3]

2 EMISNÍ LIMITY

S postupem času dochází ke stále se zvyšujícím nárokům na množství vypouštěných škodlivých látek do okolního prostředí. Tím je samozřejmě zasažen automobilový průmysl, jelikož individuální doprava je významným zdrojem znečištění ovzduší, zejména v centrech velkých měst. Maximální hodnoty vypouštěných emisí jsou stanoveny širokou škálou norem a právních předpisů. [1]

2.1 ZÁKONY

Množství vypouštěných zplodin je regulováno zákony o emisích a zákony o znečištění. Je tedy nutné umět rozlišovat mezi těmito dvěma typy zákonů. [1]

2.1.1 ZÁKONY O EMISÍCH

Zákony o emisích jsou zaměřené na množství vypouštěných zplodin například ze vznětových motorů. Těmito omezeními je postihnut jak výrobce, tak i částečně koncový uživatel. Výhoda je, že u těchto norem lze snadno změřit množství emisí a porovnat, zda daná pohonná jednotka splňuje povolený limit či nikoli. Tato metoda ale bývá často terčem kritiky, jelikož měření emisí probíhá zcela výlučně v laboratorních podmínkách. To má za následek, že v reálném provozu jsou hodnoty vypouštěných emisí a také hodnoty spotřeby paliva daleko vyšší, než je oficiálně uváděno. [1]

2.1.2 ZÁKONY O ZNEČIŠTĚNÍ

Zákony o znečištění stanovují limity koncentrace škodlivých látek v ovzduší. Jednotlivé státy mají za úkol monitorovat stav jejich ovzduší a také dohlížet na dodržování těchto zákonů. Hodnoty znečištění vzduchu jsou závislé na daném místě měření, zda se jedná o městkou nebo venkovskou oblast nebo zda se blízko nenacházejí lokální zdroje znečištění. [1]

2.2 EMISNÍ NORMY EURO

V Evropě jsou maximální přípustné limity vypouštěných exhalací stanoveny emisními normami EURO, které platí pro všechny členské země Evropské unie. Tato norma stanovuje maximální hodnoty vypouštěného oxidu uhelnatého (CO), oxidů dusíku (NO_X), uhlovodíků (HC) a také pevných částic (PM). Důležité je ovšem uvést, že tyto látky nejsou jediné, které během spalování benzínu nebo motorové nafty vznikají. Norma například nestanovuje maximální množství vypouštěného oxidu uhličitého (CO_2), který je sice zdraví neškodný, ale jedná se o skleníkový plyn, tudíž přispívá ke globálnímu oteplování. K dalším nebezpečným sloučeninám patří sulfidy a sírany, které se často vážou se vzdušnou vlhkostí. To vše může vést ke vzniku kyselých dešťů. [1]

Tab. 1 Přehled jednotlivých emisních norem Euro pro zážehové pohonné jednotky [4]

Rok	Norma	CO (g/km)	NO_X (g/km)	HC (g/km)	HC + NO_X (g/km)
1992	EURO I	3,16	-	-	1,13
1996	EURO II	2,20	-	-	0,5
2000	EURO III	2,30	0,15	0,20	-
2005	EURO IV	1,00	0,08	0,10	-
2009	EURO V	1,00	0,06	0,10	-
2014	EURO VI	1,00	0,06	0,10	-

Tab. 2 Přehled jednotlivých emisních norem Euro pro vznětové pohonné jednotky [4]

Rok	Norma	CO (g/km)	NO_X (g/km)	HC + NO_X (g/km)	PM (g/km)
1992	EURO I	3,16	-	1,13	0,18
1996	EURO II	1,00	-	0,70	0,08
2000	EURO III	0,64	0,50	0,56	0,05
2005	EURO IV	0,50	0,25	0,30	0,025
2009	EURO V	0,50	0,18	0,23	0,005
2014	EURO VI	0,50	0,08	0,17	0,005

Z tabulky si lze všimnout, jak se postupem času měnily limity pevných částic vypouštěných vznětovými motory. Zatímco norma Euro IV snížila maximální množství vůči normě Euro III na polovinu, při obměně z normy Euro IV na Euro V tento limit klesl na pouhou pětinu.

2.3 EMISNÍ NORMA STAGE

Norma Stage je evropská emisní norma, která stanovuje maximální limity vypouštěných exhalací pro mimosilniční vozidla. Mezi tato vozidla patří zemědělská technika, stavební technika, lodě a lokomotivy. První norma určující emisní limity pro vznětové motory s názvem Stage I, která vstoupila v platnost v roce 1999. Tato norma byla postupem času novelizována. Mezi nejnovější normu patří Stage V, která platí od roku 2019. Limity vypouštěných emisí jsou u těchto norem škálovány podle výrobcem uvedeného výkonu motoru. [5]

Tab. 3 Limit hodnoty stanovené emisní normou Stage V [5]

Typ motoru	Výkon (kW)	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO_X (g/kWh)	PM (g/kWh)	PN (1/kWh)
Vznětový	P<8	8,00	7,50		0,40	-
Vznětový	8≤P<19	6,60	7,50		0,40	-
Vznětový	19≤P<37	5,00	4,70		0,015	1×10^{12}
Vznětový	37≤P<56	5,00	4,70		0,015	1×10^{12}
Všechny	56≤P<130	5,00	0,19	0,40	0,015	1×10^{12}
Všechny	130≤P≤560	3,50	0,19	0,40	0,015	1×10^{12}
Všechny	P>560	3,50	0,19	3,50	0,045	-
PN (particle number) – absolutní množství pevných částic						

2.4 AMERICKÉ EMISNÍ NORMY

Emisní normy pro Spojené státy americké jsou stanoveny Agenturou pro ochranu životního prostředí (EPA), která spadá pod Federální vládu USA. Nejnovější platnou normou je norma Tier 3, která nahradila předchozí normy Tier 2 a Tier 1. Některé státy americké federace ovšem přijali Kalifornské emisní normy představené institucí California air resources board (CARB), které jsou přísnější než federální emisní normy Tier. Všechny tyto normy stanovují maximální množství vypouštěných pevných částic pouze pro vznětové motory. [6]

2.4.1 TIER 1

Emisní norma Tier 1 vstupovala v platnost mezi lety 1994 až 1997. Tato norma je aplikována na nová lehká užitková vozidla, sportovní užitková vozidla (SUV), dodávky a pick-upy s hmotností do 3856 kg (8500 liber). Emise osobních automobilů a lehkých nákladních vozidel byly v rámci této normy měřeny procedurou FTP (Federal test procedure). Výsledné hodnoty jsou zahrnuty v emisních normách FTP (FTP emission standards). Dále byly mezi lety 2000 až 2004 zaváděny emisní limity SFTP, které byly stanoveny reálných testovacích cyklech, jako je jízda po dálnici nebo jízda po městě se zapnutou klimatizační jednotkou. [7]

2.4.2 TIER 2

Norma Tier 2 vstupovala v platnost mezi lety 2004 až 2009. Zároveň byla aplikována na stejné kategorie vozidel jako norma Tier 1, požadované hodnoty byly ale přísnější. Zároveň byly definovány maximální přípustné hodnoty pro kategorii středně těžkých osobních vozidel, jako jsou větší vozy SUV a dodávky s hmotností od 3856 do 4536 kg (8500-10000 liber). Norma Tier 2 nerozlišuje mezi typem používaného paliva, tudíž pro jakýkoli motor, ať už je zážehový, vznětový nebo je pohon zajištěn hybridním systémem, platí jedny a ty stejné emisní limity, zatímco u normy Tier 1 platily u vznětových motorů mírnější limity vypouštěných oxidů dusíku NO_X než u zážehových jednotek. [8]

2.4.3 TIER 3

Norma Tier 3 je naplánována na rozmezí let 2017-2025. Oproti normě Tier 2 přináší přísnější pravidla pro množství vypouštěné síry. Během měření emisí se u zážehových motorů musí přidávat do paliva 10 % ethanolu. Limitní hodnoty nejsou stanoveny pouze na konkrétní vozidlo, ale také na celou modelovou řadu výrobce. [9]

2.4.4 KALIFORNSKÉ EMISNÍ NORMY

Kalifornské emisní normy jsou přísnější než normy Tier zavedené Agenturou pro ochranu životního prostředí a společně s Kalifornií je přijalo dalších 14 států USA. Tyto normy obsahují stupně LEV I, LEV II a nejnovější stupeň LEV III. Postupné zavádění stupně LEV III je naplánováno v rozmezí let 2015 až 2025. [10]

Tab. 4 Limit vypouštěných pevných částic (PM) stanovených normou LEV III [10]

Typ vozidla	PM limit (mg/míle)	Zavedeno
PCs, LDTs, MDPVs	3	2017-2021
	1	2025-2028
MDVs (3856-4536 kg)	8	2017-2021
MDVs (4536-6350 kg)	10	2017-2021
PCs - osobní vozidla LDTs – lehká užitková vozidla MDPVs – středně těžká osobní vozidla MDVs – středně těžká užitková vozidla		

3 PRINCIP DPF

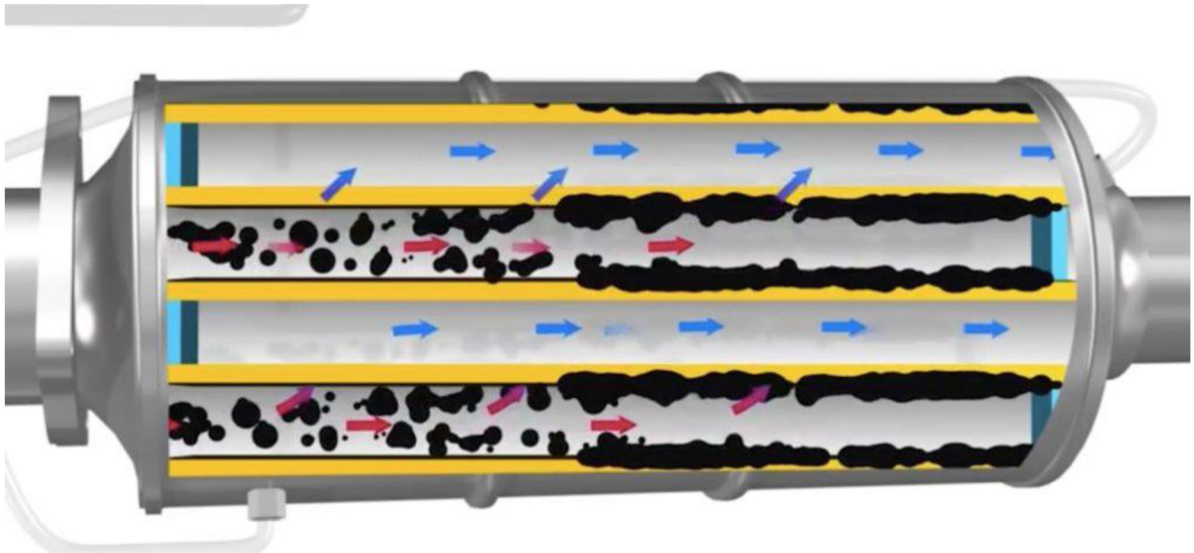
Filtr pevných částic DPF (z anglického Diesel Particulate Filter) je zařízení sloužící k zachytávání pevných částic vyskytujících se ve výfukových plynech. Jako první začala do osobních vozů montovat filtr pevných částic automobilka Mercedes-Benz. Jednalo se o model 300 SD/SDL určený na vývoz do Kanady a USA mezi lety 1985 až 1987. Tento systém byl však poruchový a měl nízkou životnost. V roce 2000 začal koncern PSA sériově instalovat do svých vozů se vznětovými motory filtr pevných částic. Jako první ho dostal model 607 s motorem 2.2 HDi. Tento filtr je označený zkratkou FAP (z francouzského filtre à particules). PSA se dodnes jako jediná automobilka drží řešení, které vyžaduje údržbu onoho filtru. [11][17]

Obr. 3.1 Peugeot 607 2.2 HDi [16]

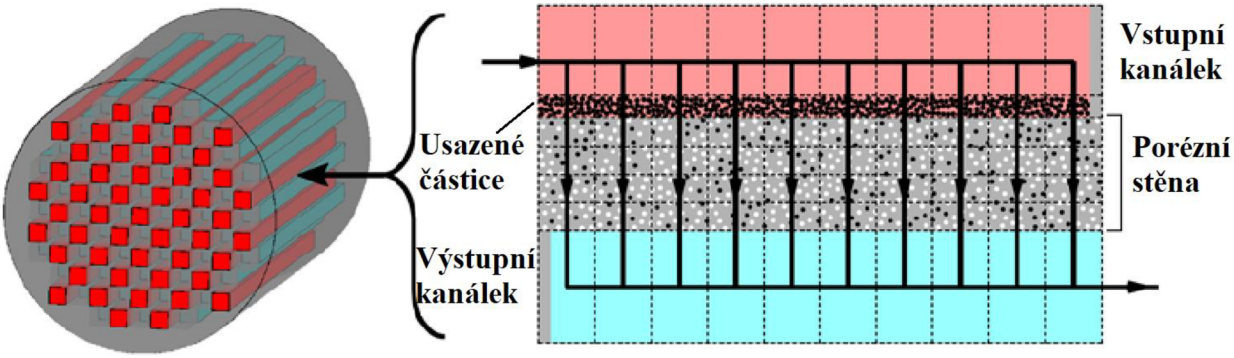
Ke správné funkci filtru pevných částic je nutné, aby byl umístěn hned za oxidačně-redukčním katalyzátorem. V takovém případě s ním tvoří jedno těleso. Účelem katalyzátoru je měnit jedovatý oxid uhelnatý (CO) a nespálené rakovinotvorné uhlovodíky na oxid uhličitý (CO_2) a vodu. Při tomto procesu je nutné dosáhnout určité provozní teploty katalyzátoru, která se pohybuje okolo 140 °C. Samotný katalyzátor je složen z jádra, které tvoří keramická mřížka. Tato mřížka bývá často potažená ušlechtilými kovy jako je platina nebo paládium. Vše je uloženo v plechovém obalu z nerezové oceli. Pod tímto obalem se nachází tepelná izolace, aby bylo zabráněno úniku tepla do okolí. [17]

Během chemických procesů v katalyzátoru, mezi které patří přeměna uhlovodíků a katalytická konverze, dochází ke zvyšování teploty. Z tohoto důvodu je výfukové potrubí vybaveno minimálně 2 teplotními čidly. Jedno z nich se nachází před vstupem do katalyzátoru, v případě přeplňovaného motoru hned za turbodmychadlem. Druhé čidlo se nachází za katalyzátorem. [17]

Filtr pevných částic se skládá ze vstupního a výstupního nátrubku a dále z filtrační vložky. Ta má za úkol nepropustit částice, které jsou obvykle větší než 0,1 μm. Pokud je funkce filtru správná, tak těchto částic dokáže zachytit až 99 %. Samotná filtrační vložka je nejčastěji vyrobena buď z karbidu křemíku SiC nebo z keramiky. Toto keramické těleso má voštinovou strukturu. To znamená, že je tvořené sítí úzkých trubičkovitých kanálků připomínající včelí plástve. Tyto kanálky jsou střídavě na začátku a na konci uzavřené. Díky tomu výfukové plyny vtečou do profilu a na jeho zaslepeném konci se usadí. Existují 3 mechanismy usazování a to zaklínění, zachycení, nebo difúze. To způsobí, že se plyn začne hromadit a vzroste jeho tlak. Z důvodu rozdílných tlaků ve vedlejších komůrkách dojde k protlačení plynu přes porézní stěnu do sousedního profilu. Tento profil je orientován naopak, tedy na začátku je uzavřený a na konci je otevřený. Tento proces se několikrát opakuje. Z výfuku poté vychází od sazí očištěné výfukové plyny. [12][13][14][18]



Obr. 3.2 Schéma funkce DPF [14]



Obr. 3.3 Princip filtrace výfukového plynu a zachytávání sazí pomocí DPF [15]

3.1 PRINCIPY REGENERACE

Během protlačování exhalátu přes pórovitou stěnu dochází k zachycování pevných částic ve filtru, které se postupně hromadí a ukládají ve formě tyčinek. Těch je nutno se zbavit, aby nedošlo k ucpání filtru. To umožňuje proces zvaný regenerace. [14]

3.1.1 PASIVNÍ REGENERACE

Pasivní regenerace probíhá tehdy, pokud motor pracuje v režimu vyššího zatížení a toto zatížení probíhá delší dobu. Typickým příkladem je delší jízda po dálnici. V tomto případě produkuje agregát výfukové plyny o teplotě vyšší, než je teplota vznícení pevných částic. Tato teplota se pohybuje okolo 600 °C. Pokud takto horké plyny procházejí filtrem pevných částic, přítomné saze samovolně vzplanou a vzniklý plyn začne opouštět výfukovou soustavu. Pevné částice však můžou hořet i při teplotách lehce nad 240 °C, a to v prostředí, kde se nachází kyslík nevázaný v molekule. Tento jednoatomový kyslík vzniká rozkladem oxidu dusičitého NO_2 vzniklého z ostatních oxidů dusíku vyskytujících se v exhalátech na speciálním oxidačním katalyzátoru. Tento princip se nazývá CRT (z anglického continuous regeneration trap) a byl vyvinut britskou společností Johnson–Matthey. Tato metoda spočívá v dosažení určité rovnovážné teploty, při které se spaluje takové množství sazí, jaké je produkováno agregátem. Jedná se tedy o kontinuální spalování pevných částic v DPF a vozy s tímto speciálním katalyzátorem nepotřebují klasický oxidační katalyzátor. Tento proces ovšem vyžaduje palivo s velmi nízkým obsahem síry. Dále pak je obtížné dosáhnout rovnovážné teploty během různých jízdních podmínek. Navíc během tohoto děje dochází k nebezpečnému zvýšení vypouštění NO_2. [1]

3.1.2 AKTIVNÍ REGENERACE

Aktivní regenerace probíhá, pokud během provozu nenastanou vhodné podmínky pro proběhnutí pasivní regenerace. Většinou se jedná o krátké trasy ve městě, kdy je motor málo zatěžován a produkované exhaláty nemají dostatečně vysokou teplotou pro sežehnutí sazí v DPF. To, kdy aktivní regenerace nastane, určuje řídící jednotka bez vědomí řidiče. Vhodná doba pro její začátek je vyvozena z několika parametrů. Mezi ně patří teplota spalin a hodnota diferenčního tlaku získaného ze senzorů před filtrem a za filtrem. Tento tlakový rozdíl je způsoben příliš velkým zacpáním filtrační vložky pevnými částicemi. Dále se vyhodnocují údaje o historii a charakteru předešlých jízdních cyklů uložené v elektronice automobilu. Během průběhu aktivní regenerace se uzavře systém EGR (systém recirkulace výfukových plynů) a omezí se množství nasávaného vzduchu. Poté těsně před koncem komprese ve válci motoru dojde ke vstřiku většího množství nafty, než je běžné při normálním chodu motoru. To způsobí, že palivo nestihne celé vyhořet ve spalovacím prostoru a následně se dostává výfukového systému, kde dohořívá. Tím se dosáhne dostatečné teploty na to, aby došlo ke spálení sazí v DPF podobně jako v případě pasivní regenerace. Dále se k aktivní regeneraci filtru dají použít různé strojní součásti v podobě topných spirál nebo hořáků spalujících motorem používané palivo. [20]

3.2 DRUHY DPF

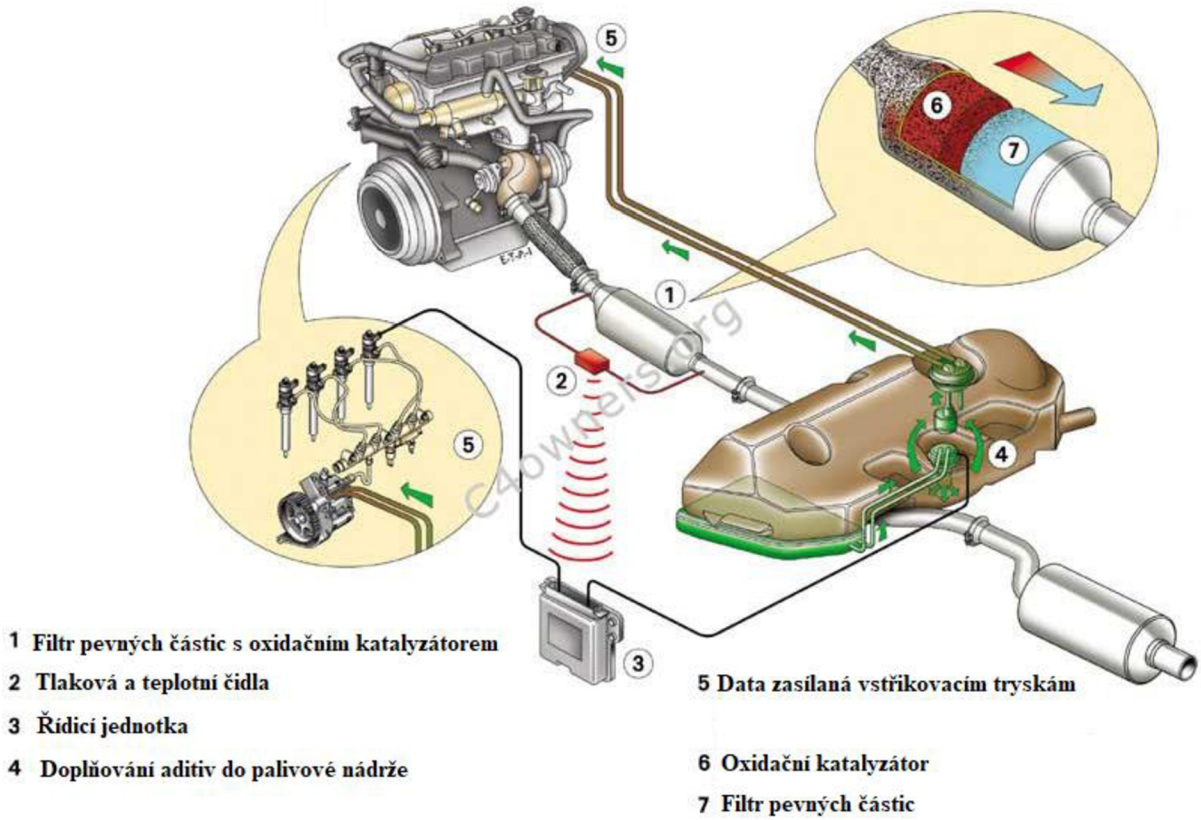
Pokud neuvažujeme různé uzavřené systémy DPF s katalyzátory SCR, které vystřikují do filtru roztok syntetické močoviny s obchodím názvem AdBlue ke snížení obsahu oxidů dusíku NO_X, pak rozlišujeme 4 základní typy filtrů pevných částic. [11]

3.2.1 FILTR PEVNÝCH ČÁSTIC S NEŘÍZENÝM SYSTÉMEM

Jedná se o nejjednodušší typ DPF a také nejméně rozšířený. Jeden čas ho montovala automobilka Subaru do svého modelu Legacy 2.0 D, ale jinak své uplatnění nachází v dodatečné montáži do starších automobilů bez DPF, aby jejich majitelé mohli v určitých regionech čerpat daňové výhody. Jedná se o zařízení, které dokáže zachytit jen část vypouštěných sazí. Účinnost se pohybuje od 30 do 70 % v závislosti na jízdních podmínkách. Při krátkých trasách je účinnost téměř nulová. Průběh regenerace není nijak řízen a probíhá pouze v úzkém zátěžovém spektru. Jedná se tedy o systém využívající pouze pasivní regeneraci, takže ani nedochází k dodatečným vstřikům paliva přímo do filtru. Z tohoto důvodu je vyvinutí vysoké teploty v DPF velmi obtížné a regenerace často ani nikdy neprobíhá. V tomto případě dochází k úniku veškerých spalin do ovzduší. Další nevýhodou je zvýšený obsah kouře vystupující z výfuku. Předností systému je vysoká spolehlivost a nízká cena, jelikož není potřeba instalace tlakových a teplotních čidel. Dále tento filtr nesnižuje výkon motoru a nezvyšuje spotřebu paliva. [11] [14] [19]

3.2.2 FILTRY PEVNÝCH ČÁSTIC S ADITIVEM

Některé katalyticky aktivní látky dokážou teplotu vznícení pevných částic snížit až na hodnoty 300–400 °C. Tyto látky, označovány zkratkou FBCs (fuel-borne catalysts), jsou vyráběny ve formě aditiv obsahujících kovy, mezi které patří železo, cer nebo měď. Aditiva se nacházejí ve speciální nádrži a po natankování se přimíchávají do paliva. V některých případech se dopravují přímo do filtru. V prvním z uvedených případů dochází k dodatečnému vstřiku nafty na konci expanzní doby. Palivo se tudíž vznítí buď na oxidačním katalyzátoru, nebo výjimečně rovnou uvnitř filtru. Po spálení odchází kovové části obsažené aditivech ve formě oxidů nebo sulfidů. Tyto látky jsou spolu s pevnými částicemi usazeny ve filtru. Pevné částice jsou tedy obklopeny ze všech stran touto oxidicko-sulfidickou směsí, která uvolňuje kyslík, a tak funguje jako katalyzátor. Proto výsledná oxidace probíhá efektivněji a při nižší teplotě, než kdyby byly na povrchu stěn filtru nalepeny pouze saze. Výhodu je krátká doba regenerace a snížení teploty katalyzátoru, čímž je šetřen motor a jeho další systémy. Nevýhodou této technologie je zanášení DPF popílkem na bázi nespálených zbytků prvků obsažených v aditivech. Dále je nutnost přítomnosti a doplňování aditiv, které přímo ke svému chodu motor nepotřebuje. Také je prokázáno, že některá aditiva špatně reagují s biosložkami obsaženými v palivu. Průkopníkem této technologie je koncern PSA. [1] [11] [14] [21]



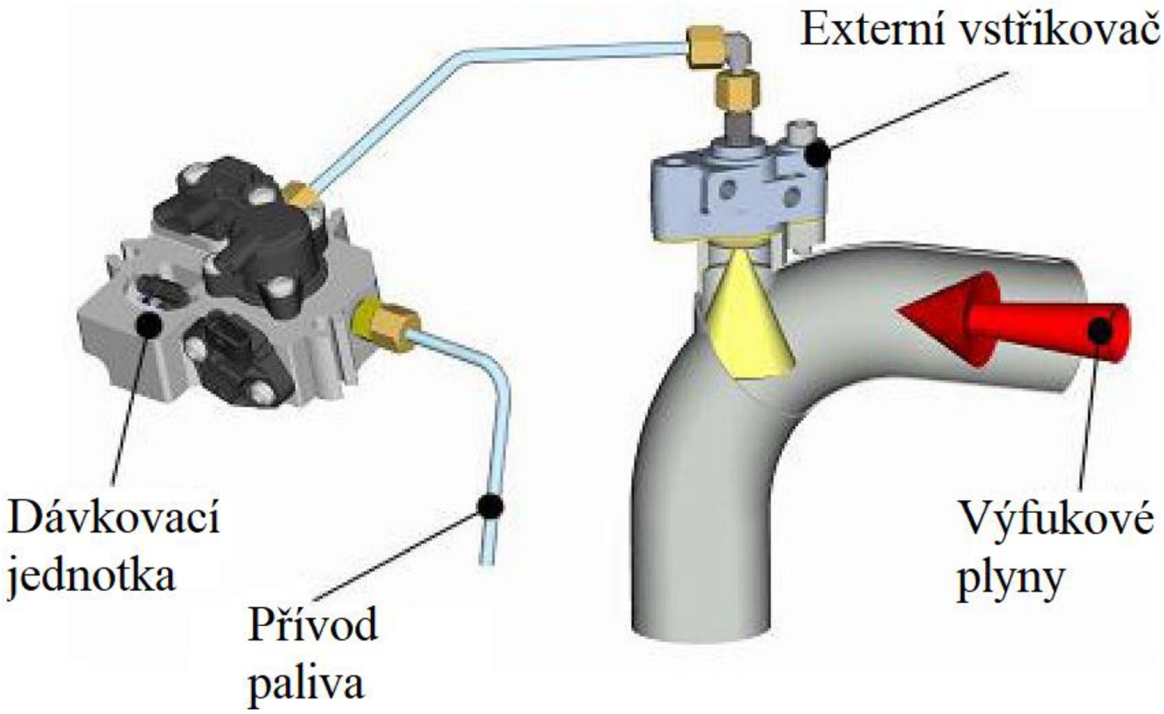
Obr. 3.4 Princip aditivního systému používaný koncernem PSA [14]

3.2.3 FILTR PEVNÝCH ČÁSTIC BEZ ADITIV

Tento typ je mezi výrobci nejpoužívanější, avšak také nejvíce zatěžuje motor. Princip je téměř totožný jako u DPF s aditivem. Rozdíl spočívá v absenci aditiva snižující zápalnou teplotu sazí, tudíž regenerace je náročnější, protože je nutné do výfukového potrubí dopravit více paliva. Regenerace také probíhá déle a při vyšších teplotách než u systému s aditivy. Teploty ve filtru můžou dosahovat až 700 °C, tudíž materiál, ze kterého je DPF vyroben, tyto teploty musí vydržet. Navíc se stává, že část dodatečně vstřikované nafty určené pro hoření ve filtru se usazuje na stěnách válců, kde je následně stírána do motorového oleje. Tím dochází k jeho ředění a znehodnocování. Tento typ DPF není vhodný pro vozy, kde je filtr umístěn daleko od motoru, protože exhaláty během toku výfukovým systémem chladnou a dosažení regenerační teploty v DPF vyžaduje velké množství dodatečného paliva. Výhodou je to, že není nutné pořizovat aditiva. Dále pak je filtr vyroben z materiálů schopné vydržet až 1000 °C. Proto má také delší životnost než filtr a aditivním systémem. V neposlední řadě je z důvodu hojnosti jeho používání, a tedy jeho masivní produkce, výrobně levnější. [11] [14] [19]

3.2.4 FILTR PEVNÝCH ČÁSTIC S EXTERNÍM VSTŘIKOVAČEM

Tento typ je pro motor nejvhodnější, bohužel ale také nejsložitější a nejdražší. Vozy s tímto systém nabízely automobilky Toyota, Ford nebo Renault. Princip spočívá v tom, že je nafta dopravována do výfukového potrubí externím vstřikovačem, někdy též označovaným jako pátý vstřikovač, zplynovač, vaporizér nebo HC-doser. Dodatečné palivo tedy neprochází přes válce, tudíž nedochází k žádnému ředění motorového oleje s naftou. Regenerace filtru je navíc snadná a rychlá. Tato technologie je vhodná pro vozy, kde je filtr pevných částic umístěn daleko od motoru, ke kterému je navíc velmi šetrná. Nevýhodou je složitost systému, který čítá extérní vstřikovač, separátní palivové čerpadlo a potřebnou kabeláž k řízení celého procesu. S tím jsou spojené možné investice do oprav těchto komponent. [11] [14] [19]



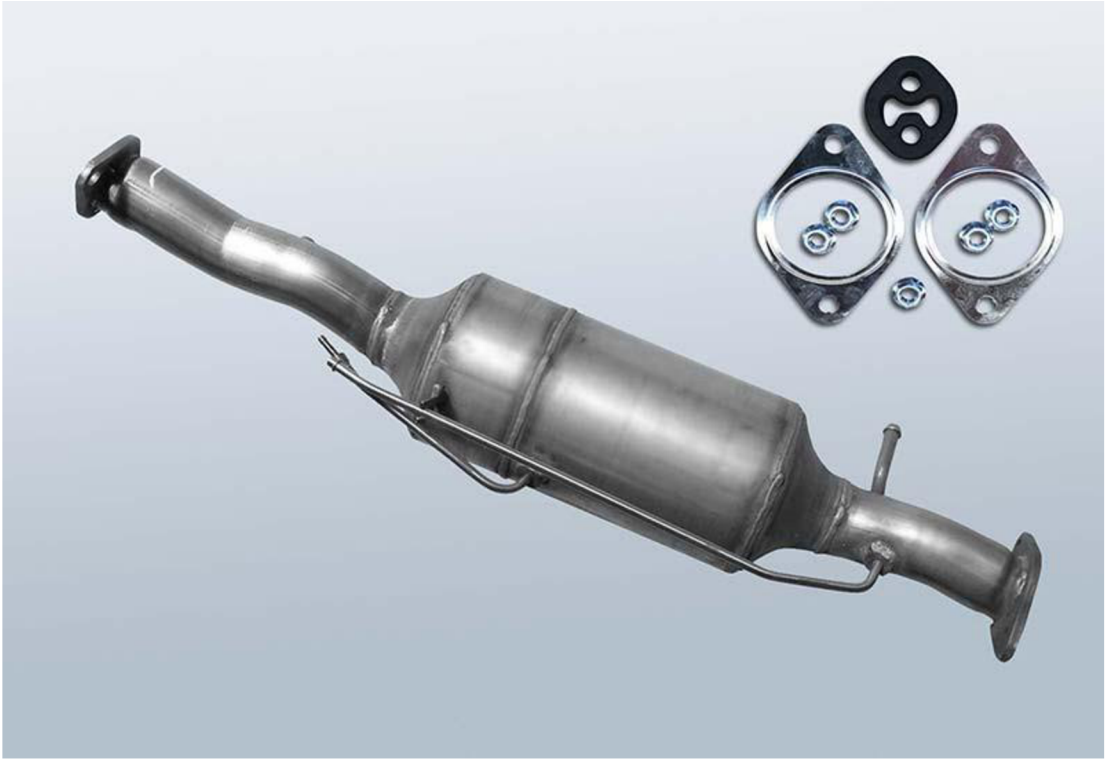
Obr. 3.5 Schéma systému využívající externí vstřikovač [35]

4 APLIKACE DPF V AUTOMOBILECH

Filtry pevných částic se dlouhou dobu do automobilů se vznětovými agregáty vůbec nepřidávaly. Řada výrobců totiž dokázala plnit dosavadní emisní normy bez jejich použití. Příkladem může být automobilka Audi se svým přeplňovaným vznětovým šestiválcem 3.0 TDI. To vše ale bylo možné pouze do roku 2009, kdy vstoupila v platnost norma EURO V, která zredukovala maximální množství vypouštěných pevných částic o 80 %. Od té doby je nutné do všech nových automobilů sériově montovat systémy DPF. Navíc s příchodem normy EURO VI roku 2014 jsou DPF často kombinovány s technologií SCR, jelikož došlo k výraznému snížení množství vypouštěných oxidů dusíku NO_X z hodnoty 0,18 g/km na hodnotu 0,08 g/km. [4] [23]

4.1 FORD

Automobilka Ford nabízí své modely s různými typy DPF. První z nich nese označení cDPF. Jedná se o filtr s aktivním povrchem, který nevyužívá aditiva. Lze ho nalézt v modelech Mondeo, Fiesta, K, Kuga nebo S-Max. Dále výrobce používá typ s obchodním označením aDPF používající aditiva. Ten se objevuje v modelech Focus a C-max. Třetí typ se nazývá vDPF. Jedná se o bezaditivní systém obsahující aktivní povrch a trysku dopravující odpařené palivo do výfukového potrubí. Tento DPF je využíván v užitkových modelech Connect a Transit. Životnost filtru výrobce udává pouze u aditivního systému aDPF, a to na 120 000 km. Doplňování aditiv většinou probíhá při servisní kontrole při 60 000 km, pokud není vyžadováno dříve rozsvícenou kontrolkou. [23]



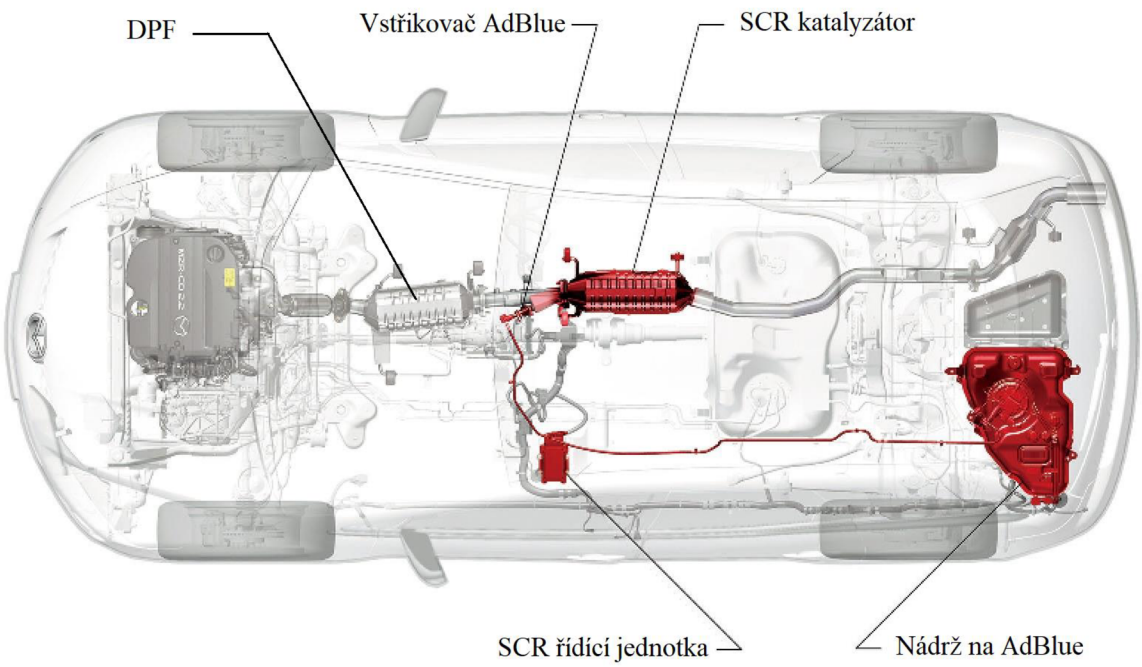
Obr. 4.1. Filtr pevných částic cDPF pro model Kuga [37]

4.2 HYUNDAI A KIA

Hyundai používá výhradně bezaditivní systém. Udávaná životnost je totožná s životností vozidla. Co se týče regenerace, výrobce upřednostňuje aktivní regeneraci s dopravováním motorové nafty přímo do DPF prováděnou během běžného jízdního režimu. Automobilka Kia, který patří spolu s Hyundaiem do jednoho koncernu, udává stejné informace. Jeho filtry nepoužívají žádná aditiva a měly by vydržet celý životní cyklus vozidla. [23]

4.3 MAZDA

Automobilka Mazda využívá jak aditivní systémy DPF, tak také filtry bez aditiv. Prvně zmíněný typ lze nalézt v modelu Mazda 3 s motorem 1.6 D. Tento motor pochází z koncernu PSA, který má dlouholeté zkušenosti s filtry pevných částic s aditivy. Výrobce udává stejně jako Ford životnost těchto filtrů na hodnotu 120 000 ujetých kilometrů a doplňování aditiv by mělo stačit pouze při prohlídce v servisním intervalu 60 000 ujetých kilometrů. Bezaditivní systém se uplatňuje v modelech Mazda 5 a Mazda 6. Regenerace filtru probíhá bez vědomí řidiče. Pokud však nenastanou vhodné podmínky k regeneraci, je řidič upozorněn svítící kontrolkou na palubním počítači. V tomto případě musí vozidlo jet po dobu 10-ti až 15-ti minut rychlostí větší než 40 km/h, aby došlo k vypálení sazí z DPF. Provozní otáčky motoru musejí při tomto procesu dosáhnout alespoň hodnoty 2000 ot./min. Automobilka také využívá systém SCR, kde ho poprvé začala montovat do svého SUV CX-7 s motorem 2.2 D. Roztok AdBlue je nutné doplňovat každých cca 20 000 km. [23]



Obr. 4.2 Schéma výfukového systému Mazdy CX-7 včetně DPF a technologie SCR [38]

4.4 SUBARU

Jak už bylo výše zmíněno, automobilka Subaru jednu dobu (konkrétně v letech 2008-2009) používala ve svém modelu Legacy s motorem 2.0 D filtr pevných částic s neřízeným systémem. U všech svých ostatních modelů se vznětovými motory, jako jsou např. modely Forester, Impreza nebo Outback, používá standardní typ DPF bez aditiv. Regenerace probíhá pomocí vstříknutí většího množství paliva, které projde spalovacím prostorem a dohoří spolu s usazenými částicemi přímo ve filtru. Tento proces aktivní regenerace však nemusí být zcela dokončen, pokud je vůz používán na velmi krátké trasy. Pokud se tento jev několikrát za sebou opakuje, řídící jednotka vyzve řidiče k tzv. „jízdnímu režimu“ rozsvícenou kontrolkou na palubním počítači. Jestliže řidič výzvu neuposlechne a neumožní vyčištění filtru například dlouhou jízdou po dálnici, je nutno navštívit servis, kde dochází ke spuštění regeneračního procesu pomocí diagnostiky. Pokud řidič ani v tomto případě nezareaguje, tak potom dojde k softwarovému snížení výkonu motoru, následně se do řídící jednotky uloží chybové hlášení o překročení kritické hodnoty usazení pevných částic v DPF a filtr je nutno vyměnit. Výrobce neuvádí životnost svých filtrů v případě, že je s nimi správně zacházeno. [23]

Obr. 4.3 Poloha DPF u vznětového motoru typu boxer automobilky Subaru [36]

5 VÝROBCI SYSTÉMŮ DPF

Na trhu působí celá řada výrobců DPF. V této kapitole jsou uvedení pouze někteří z nich.

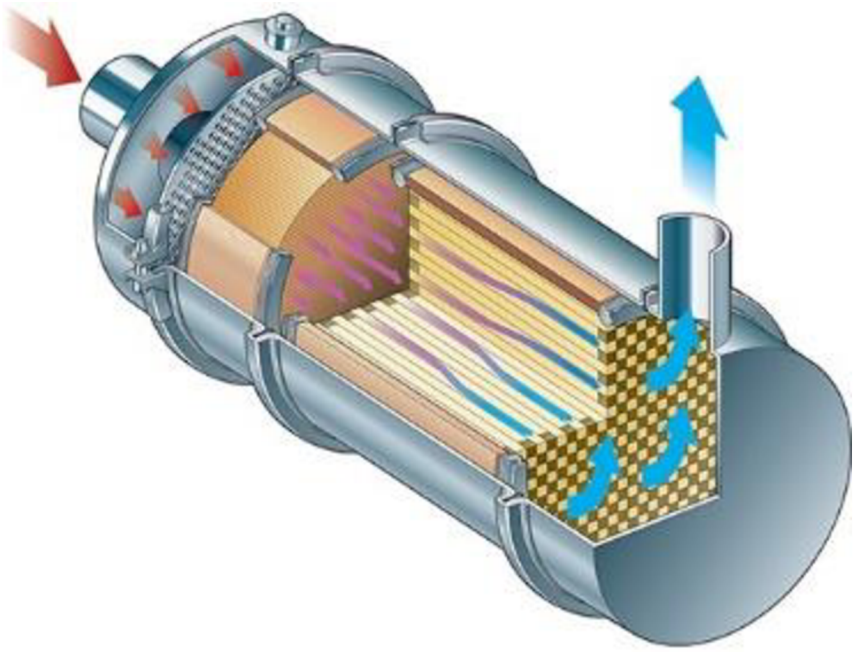
5.1 JOHNSON MATTHEY

Johnson Matthey je britská společnost založena před více než dvěma sty lety, která působí na poli chemického, farmaceutického, elektrotechnického, ale také automobilového průmyslu. Dále se zabývá výrobou filtrů pevných částic a jejich dodatečnou montáží do silničních i mimosilničních vozidel. Tato firma nabízí systémy využívající jak pasivní, tak i aktivní regeneraci. [24] [25]

5.1.1 SYSTÉMY S PASIVNÍ REGENERACÍ

CRT

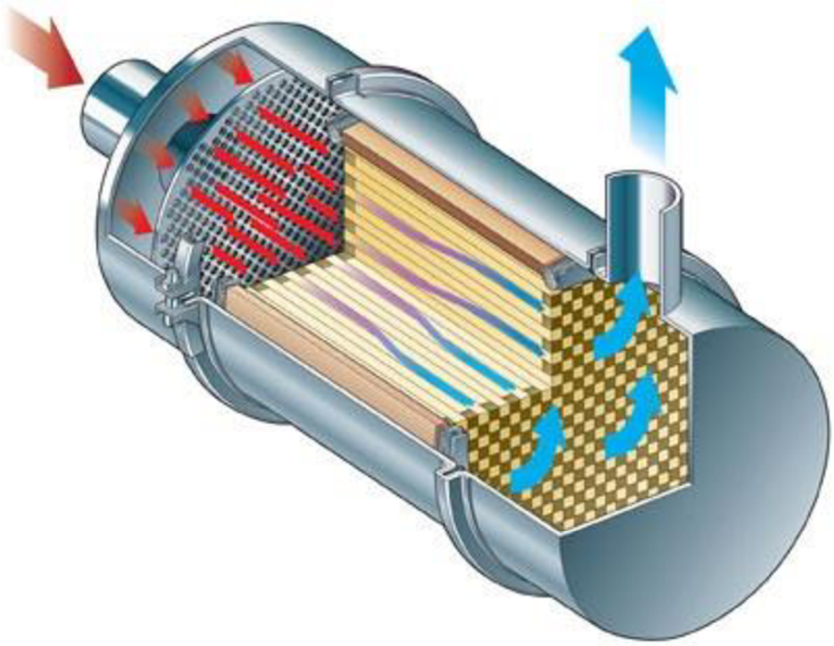
Systém CRT (z anglického Continuously Regeneration Trap) nachází uplatnění pro mimosilniční vozidla. DPF je vybaven speciálním oxidačním katalyzátorem na přední části filtru. Tato katalytická vrstva umožňuje pasivní regeneraci během nižších teplot. Oxidační katalyzátor odstraňuje nespálené uhlovodíky HC a oxid uhelnatý CO, avšak dochází k oxidaci NO na NO_2. Tento vzniklý oxid dusičitý reaguje s pevnými částicemi zachycenými ve filtru, to vede k další produkci NO a saze v přítomnosti jednoatomového kyslíku shoří na CO_2. Určitá část oxidu dusnatého NO oxiduje zpět na NO_2, poté znovu dochází k jeho reakci s ještě usazenějšími částicemi a celý proces se opakuje. Tento systém tedy umožňuje efektivní regeneraci při relativně nízkých teplotách pohybujících se nad 240 °C. Nevýhodou zůstává zvýšení emisí oxidů dusíku NO_X a tedy k vysokému poměru NO_X-PM ve prospěch NO_X. Výrobce uvádí, že pro správnou a spolehlivou regeneraci musí teplota výfukových plynů dosáhnout určité minimální hodnoty a tento stav je nutné udržet minimálně po dobu poloviny provozní doby motoru. [1] [26]



Obr. 5.1 Filtr pevných částic se systémem CRT [26]

CSF

Filtry se systémem CSF (z anglického Catalysed Soot Filter) fungují do jisté míry jako alternativa filtrů s CRT. Na rozdíl od systému CRT zde není použit oxidační katalyzátor na přední části filtru, funkci katalyzátoru plní přímo povrch filtru. Nevýhodou celého provedení je, že ke správné regeneraci musí teplota exhalátů dosáhnout vyšší teploty, než je nutné v případě filtrů se systémem CRT. Výrobce uvádí, že teplota exhalátů musí přesáhnout 280 °C a musí se na ní vydržet minimálně polovinu času, kdy je agregát v provozu. Samotný proces redukce emisí je však u CSF a CRT totožný. Z důvodu absence oxidačního katalyzátoru se jedná o kompaktnější řešení. Proto se technologie CSF používá v těch případech, kdy není v DPF dostatek prostoru pro montáž systému CRT. [27]



Obr. 5.2 Filtr pevných částic se systémem CSF [27]

DPFiS

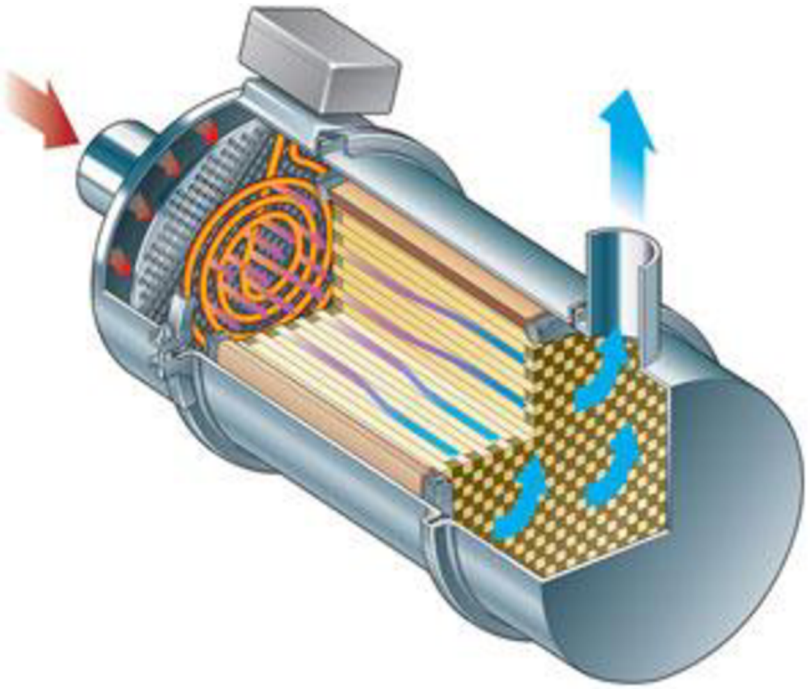
Jedná se o aditivní systém využívající technologii FBC (Fuel Borne Catalyst). Firma Johnson Matthey používá automatický dávkovací systém s názvem PIO-CAN-DOSY. Aditiva jsou shromažďována ve vlastní nádrži. Po každém startu motoru řídící jednotka vyhodnotí, zda bylo natankováno palivo a jestli je nutné dodat část aditivní směsi do palivové nádrže. Tomuto systému neškodí používání paliva s vyšším obsahem síry. Vhodné podmínky k regeneraci jsou zajištěny teplotou výfukových plynů, jejichž hodnota musí přesáhnout 380 °C. Doba výdrže regenerační teploty musí přesáhnout polovinu času, kdy je motor v chodu. DPFiS používá aditiva s obchodním označením EOLYS^{TM} obsahující rhodium. [28]

5.1.2 SYSTÉMY S AKTIVNÍ REGENERACÍ

Ve případech, kdy nelze vždy zajistit vhodné podmínky pro uskutečnění pasivní regenerace, je nutné použít systémy s aktivní regenerací. Nicméně je žádoucí, aby zde probíhala také pasivní generace, protože u té není nutné přivádět žádnou dodatečnou energii. Téměř ve všech procesech využívající aktivní regeneraci je dosahováno teplot okolo 600 °C, při kterých pevné částice velmi rychle shoří. [29]

DPFi

Jedná se o systém využívající elektrickou energii ze spotřební sítě. Celá regenerační procedura je spuštěna v případě, pokud dojde k předčasnému vypnutí motoru a filtr není dostatečně zregenerován. Do filtru je vháněn čerpadlem vzduch, který prochází prostorem, kde je umístěno topné těleso. Tento vzduch, který je ohřátý na teplotu přesahující 600 °C, následně prochází filtrem a vypaluje usazené pevné částice. Regenerační jednotka může být namontována přímo na stěně DPF. Samotná regenerace probíhá v časovém rozmezí 30 minut až 2 hodin. Tato technologie je vhodná pro motory používající různé typy paliv. Výfukové plyny zároveň nemusí dosahovat žádných extrémně vysokých teplot. [30]



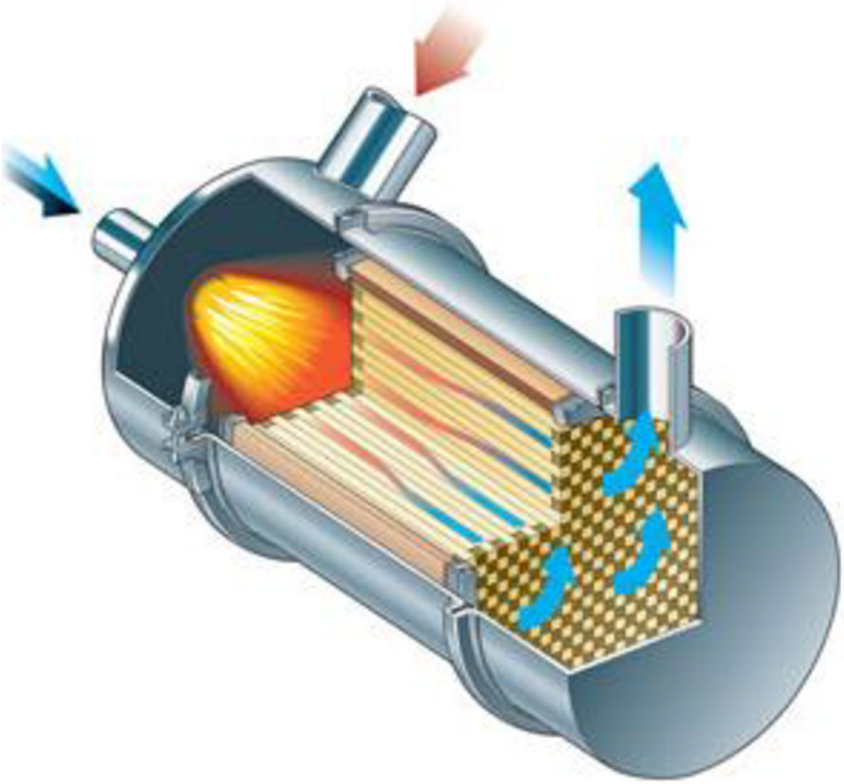
Obr. 5.3 Filtr pevných částic se systémem DPFi [30]

DPF-C

Tento systém pracuje na stejném principu jako DPFi. Jediným rozdílem je, že se topné těleso nenachází v těle filtru, ale je umístěno ve speciální regenerační stanici. Pokud tedy nastane zanesení DPF, musí být filtrační součást rozmontována a poté připojena na regenerační stanici. Na té dochází k ohřátí filtru a následnému vypálení sazí. [31]

DPF-BU

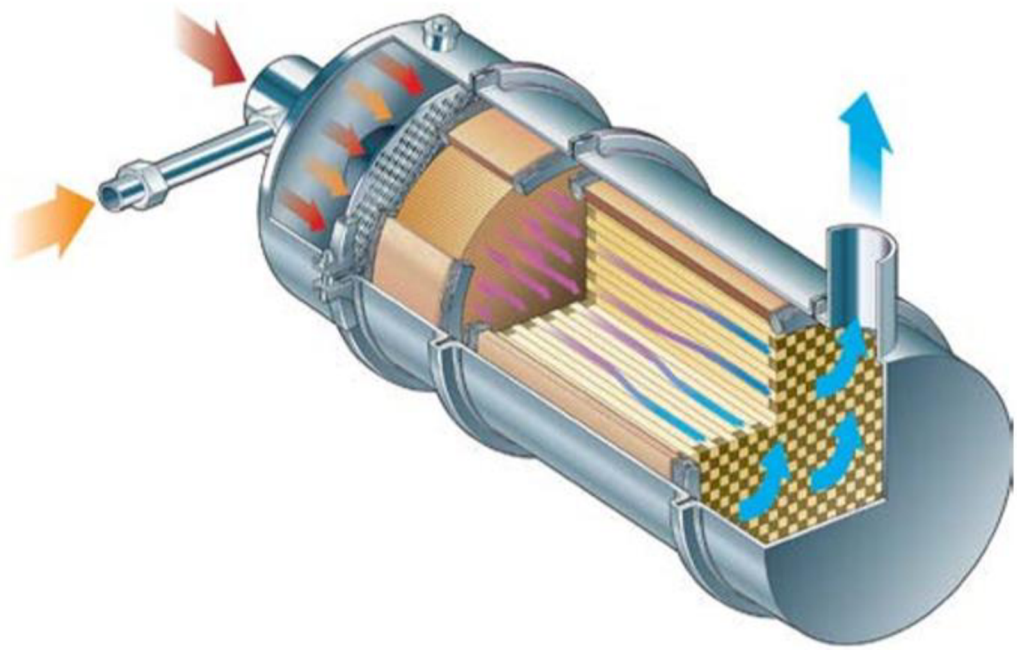
Jedná se o systém využívající hořák připevněný přímo na těle filtru. Tato technologie je vhodná pro agregáty pracující pod nízkou zátěží. Pokud snímače zjistí, že tlak ve filtru dosáhl určité hodnoty, systém upozorní obsluhu. Poté musí být motor zastaven, aby mohla proběhnou regenerace. Hořák, který spaluje motorovou naftu, ohřívá čerpadlem přivedený vzduch na teplotu přesahující 600 °C. Celý regenerační proces trvá 20 až 25 minut. Po celé proceduře může být agregát znovu nastartován. Tento sytém tedy využívá palivo, které používá motor, proto může regenerace proběhnout kdekoli bez přívodu dodatečné elektrické energie. [32] [33]



Obr. 5.4 Filtr pevných částic se systémem DPF-BU [32]

DPF-RID

Tato technologie využívá elektricky zahřívaný palivový vaporizér. Součástí systému je také katalyzátor výfukových plynů. Celý regenerační proces probíhá automaticky bez vědomí obsluhy a trvá průměrně 20 až 25 minut. Vaporizér vhání vypařenou motorovou naftu do proudu výfukových plynů, které předtím prošly turbodmychadlem. Nespálené uhlovodíky obsažené v exhalátech následně procházejí katalyzátorem a oxidují, čímž dochází ke zvýšení teploty v oblasti před filtrem. Tato teplota přesahující 600 °C je udržována do té doby, než dojde k poklesu tlaku v DPF. Po úspěšné regeneraci kontrolní systém celý proces sám ukončí. [22] [34]



Obr. 5.5 Filtr pevných částic se systémem DPF-RID [22]

5.2 NETT TECHNOLIGIES

Nett Technologies je společnost sídlící v kanadském Torontu. Zabývá se vývojem a výrobou komponentů snižujících emise u zážehových i vznětových motorů. Jedná se především o oxidační katalyzátory, filtry pevných částic a systémy SCR. Jejich produkty nacházejí uplatnění ve stavebnictví, těžebním průmyslu, kamionové, vlakové i námořní dopravě. Společnost funguje nejen jako subdodavatel jiných firem, ale nabízí také dodatečné montáže svých produktů. Jejich vyráběné DPF systémy využívají pasivní i aktivní regeneraci. [40]

5.2.1 FILTRY S PASIVNÍ REGENERACÍ

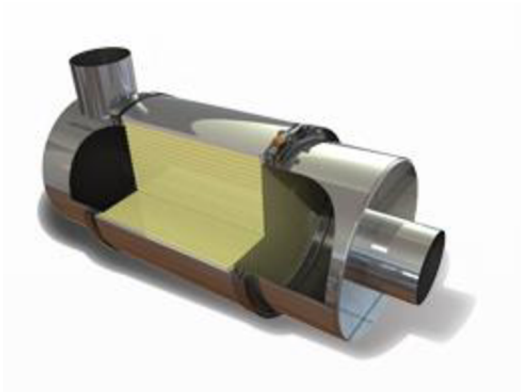
ŘADA S

Řada těchto filtrů se dodává buď s kordieritovou mřížkou nebo s mřížkou z karbidu křemíku SiC. Filtry s kordieritem jsou postačující ve většině aplikací. Kordieritové filtry jsou však náchylnější na poškození při vyšších teplotách, jelikož tento materiál na bázi křemíku a hliníku má tepelnou odolnost do 1430 °C. Při dosažení této teploty muže dojít k jeho tavení. Naproti tomu karbid křemíku SiC je odolný až do 2200 °C. Proto mohou být tyto DPF namontovány u motorů pracujících pod větším zatížením, kdy produkující exhaláty dosahují extrémně vysokých teplot. Nevýhodou filtrů z SiC je jejich vyšší hmotnost a také vyšší cena. Tento typ DPF se často používá pro těžební zařízení pracující v hlubinných dolech, pro které je ideální pasivní regenerace. [39] [41]

Obr. 5.6 Filtr pevných částic řady S [41]

ŘADA GREENTRAP™

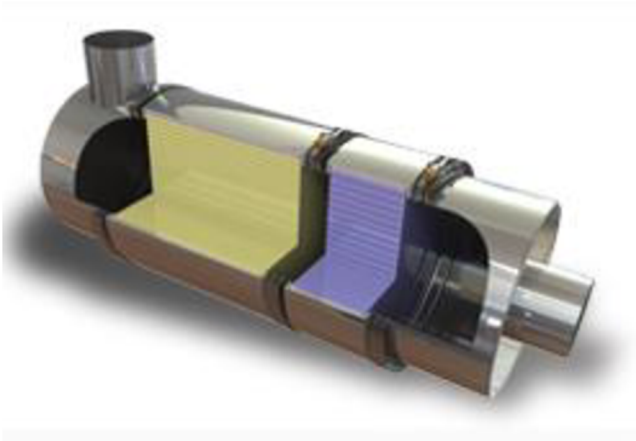
Filtry řady GreenTRAP™ rovněž využívají mřížky z kordieritu nebo z karbidu křemíku. Tyto DPF, splňující přísné kalifornské emisní normy CARB, nacházejí uplatnění u mimosilničních vozidel a také u stavební techniky. Samotný filtrační monolit je spolu s tepelnou izolací uložen v kompaktním těle z nerezové oceli. Výrobce uvádí servisní interval v rozmezí 2000 až 6000 pracovních hodin. [42]



Obr. 5.7 Filtr pevných částic řady GreenTRAP™ [42]

ŘADA GREENTRAP™ D

Řada těchto filtrů je vybavena na rozdíl od standardní řady GreenTRAP™ oxidačním katalyzátorem, který snižuje zápalnou teplotu sazí a také pomáhá přeměňovat škodlivé látky jako je CO nebo nespálené uhlovodíky na CO_2 a vodní páru. Z tohoto důvodu je dosažení pasivní regenerace velice snadné a motor může během tohoto procesu běžet při normálním zatížení, jelikož teplota exhalátů nemusí dosahovat zvlášť vysokých hodnot. Výrobce uvádí, že za příznivých podmínek dokáže tento typ DPF snížit produkci pevných částic až o 98 %. Přitom dochází k redukci emisí CO až o 98 % a nespálených uhlovodíků o 82 %. Filtry této řady nacházejí uplatnění v silničních i mimosilničních vozidlech. [43]



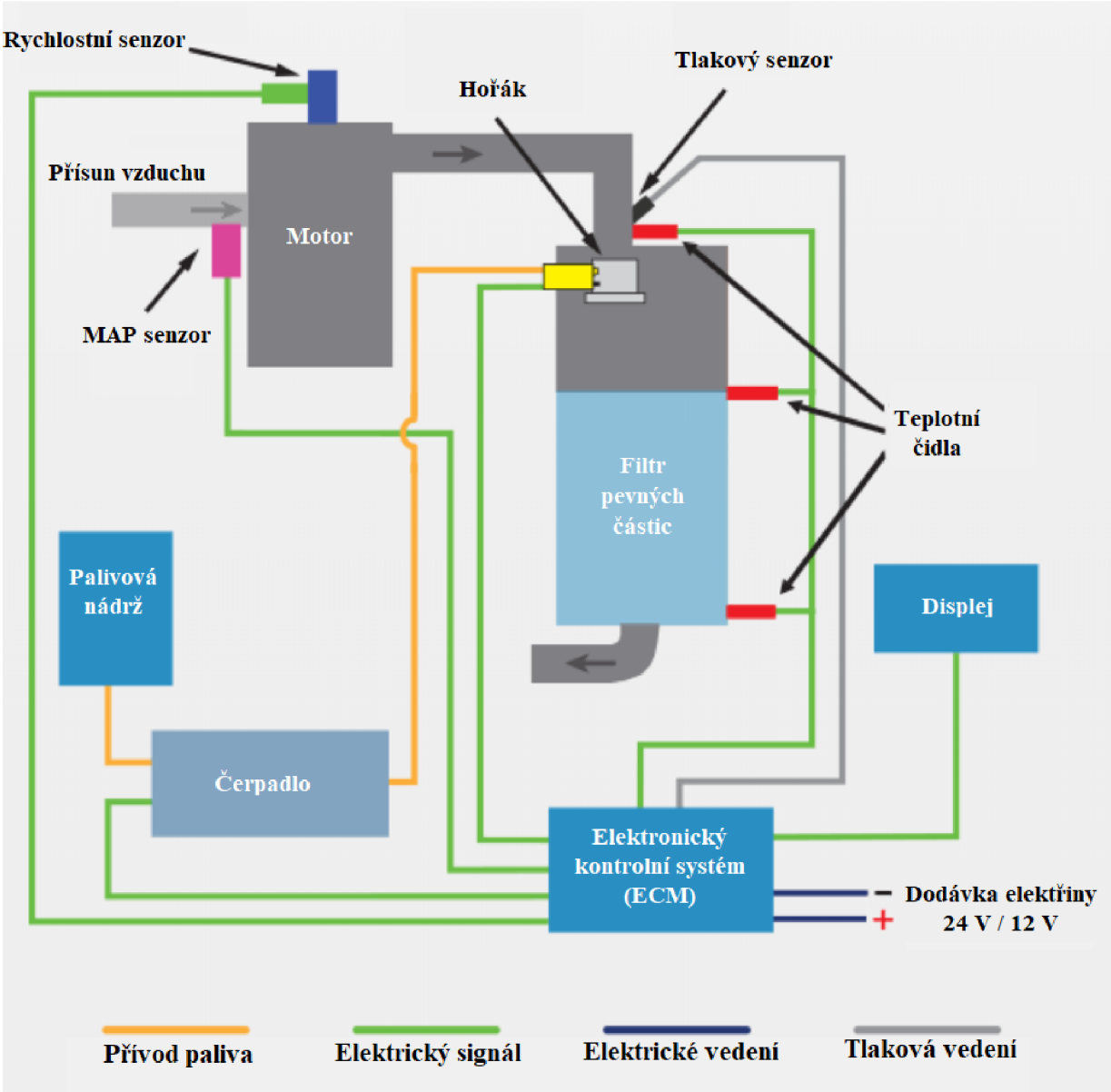
Obr. 5.8 Filtr pevných částic řady GreenTRAP™ d [43]

5.2.2 FILTRY S AKTIVNÍ REGENERACÍ

ŘADA VORTEQ™

Filtry této řady využívají k aktivní regeneraci hořák spalující motorovou naftu. Tím dochází k ohřátí a následné oxidaci sazí zachycené na voštinové struktuře z karbidu SiC. Regenerační proces může být spuštěn automaticky řídící jednotkou, ale také manuálně prostřednictvím obsluhy. V obou případech probíhá celá probíhá při zapnutém agregátu. [44]

Obr. 5.9 Filtr pevných částic řady VorTEQ™ [44]



Obr. 5.10 Standardní konfigurace systému VorTEQ™ [44]

ŘADA GREENTRAP™ VOLT

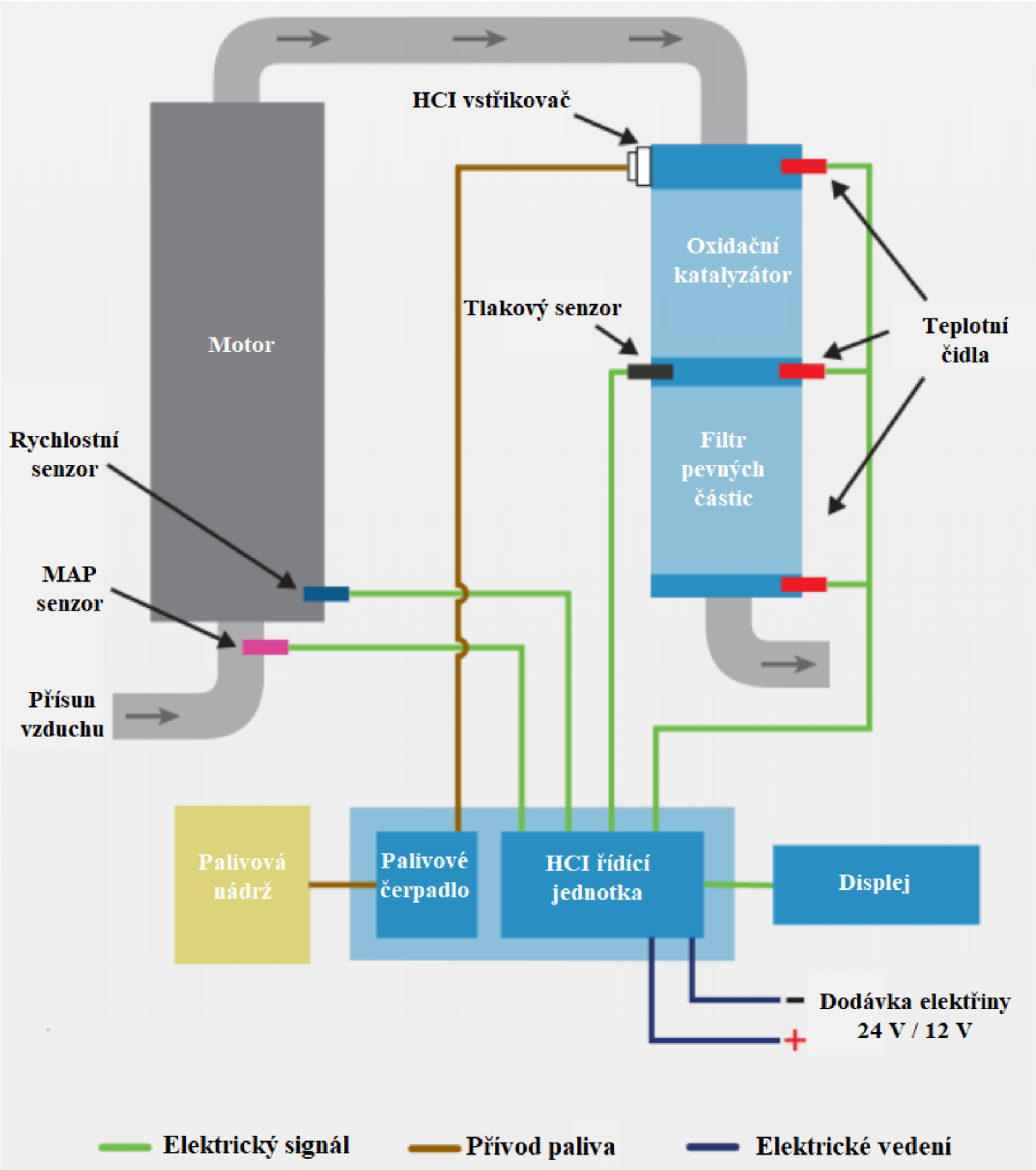
K aktivní regeneraci je se využívaná sada topných těles. Vnitřní část filtračních stěn je potažena katalytickou vrstvou, která snižuje regenerační teplotu. Proto může pasivní regeneraci probíhat i při nižším zatížení agregátu. Výhodou je, že aktivní regenerace nemusí probíhat velmi často. Při ní totiž musí být dodávaná elektrická energie z externích zdrojů potřebná k rozžhavení topných těles. Hodnoty tlaků, teplot a průtokového množství výfukových plynů vyhodnocuje elektronická kontrolní jednotka (ECU), která předpovídá a v případě potřeby spouští regenerační cyklus. Tato jednotka také kontroluje funkčnost všech snímačů. Pokud dojde k jejich poškození, upozorní tím obsluhu prostřednictvím zprávy na displeji. Výrobce uvádí, že tento typ DPF snižuje množství vypouštěných pevných částic o 95-98 %. Emise CO jsou redukovány až o 90 % a emise nespálených uhlovodíků dokonce o 95 %. Tyto DPF jsou vhodné pro velké vznětové motory používané například ve stavební technice. [45]

Obr. 5.11 Filtr pevných částic řady GreenTRAP™ VOLT [45]

ŘADA GREENTRAP™ NOVA

Tyto filtry využívají k aktivní regeneraci externí vstřikovač. Řídící jednotka monitoruje celou řadu ukazatelů, aby zjistila, kdy má regenerační proces začít. Tuto proceduru zahajuje vstříknutí přesného množství motorové nafty do proudu výfukových plynů těsně před oxidačním katalyzátorem. Následná exotermická reakce umožní vypálení pevných částic ve filtru. Množství sazí zachycených ve filtru je určen na základě průtoku exhalátů, jejich teploty, tlakovém spádu před a za filtrem a také na zatížení motoru. Vestavěné bezpečnostní prvky mohou na základě faktorů jako je rychlost vozidla, regeneraci kdykoli zastavit. V případě poruchy vydá řídící jednotka varovný signál obsluze prostřednictvím zprávy na displeji. Tyto DPF jsou vhodné pro velké vznětové motory v mimosilničních vozidlech. [46]

Obr. 5.12 Filtr pevných částic řady GreenTRAP™ NOVA [46]



Obr. 5.13 Standardní konfigurace systému GreenTRAP™ NOVA [46]

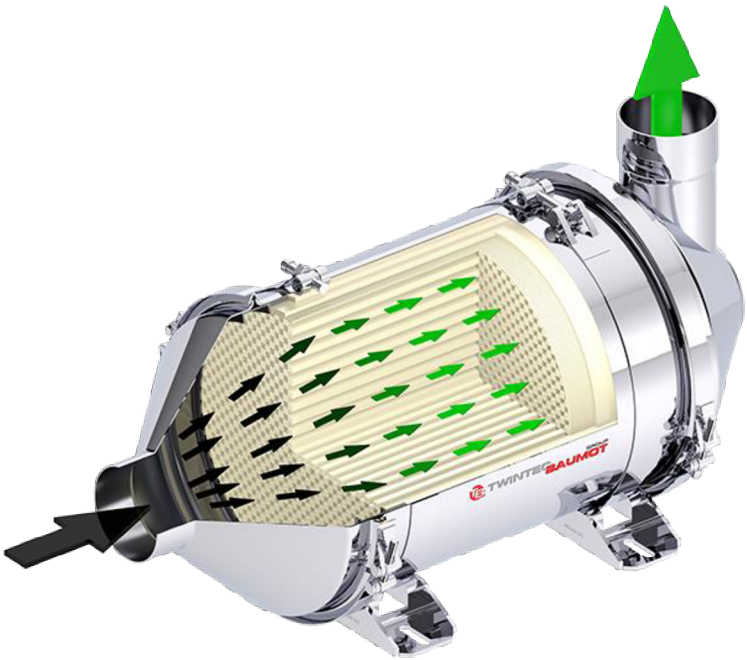
5.3 BAUMOT

Baumot AG je švýcarská skupina založená před více než 20 lety. Zabývá se technologiemi umožňující úpravu výfukových plynů. Na samotné DPF systémy je zaměřena její dceřiná společnost s názvem Twintec. Tyto filtry nacházejí uplatnění v automobilech, nákladních vozech, stavební i zemědělské technice. Společnost funguje nejen jako subdodavatel svého originálního příslušenství, ale nabízí také dodatečné montáže svých filtrů a jejich následný poprodejní servis. V nabízeném portfoliu lze nalézt systémy využívající pasivní i aktivní regeneraci. [47]

5.3.1 FILTRY VYUŽÍVAJÍCÍ PASIVNÍ REGENERACI

DPF-BA

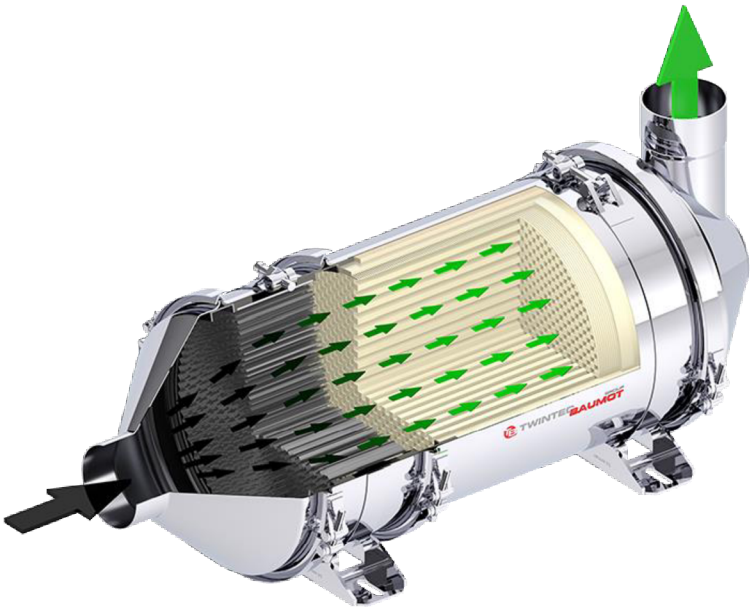
Tento typ filtru má kordieritový monolit potažený velmi tenkou katalytickou vrstvou vyrobenou ze vzácných kovů. Tato vrstva byla vyvinuta ve spolupráci s firmou Katalysatoren GmbH, která je další dceřinou společností Baumotu. Optimální složení této vrstvy se vyznačuje velmi vysokou regenerační schopností za velmi nízké teploty výfukových plynů. Proto je tento filtr vhodný pro aplikace, kde exhaláty dosahují poměrně nízkých teplot. Výrobce uvádí, že pasivní regenerace může probíhat už za teploty 275 °C. Systém je vhodný pro silniční i mimosilniční vozidla. [48]



Obr. 5.14 Filtr pevných částic typu DPF-BA [48]

DPF-BAB

Jedná se o vylepšenou modifikaci systému DPF-BAB. Tento DPF kombinuje kordieritový monolit potažený katalytickou vrstvou s oxidačním katalyzátorem DOC (z anglického Diesel Oxidation Catalyst), který je umístěn před filtrační mřížkou. Úkolem tohoto katalyzátoru je lokálně zvýšit koncentraci molekul NO_2, aby pasivní regenerace probíhala při velmi nízké teplotě. Výrobce ji udává na hodnotě 220 °C. Zvýšená koncentrace NO_2 je redukována již zmíněným potaženým monolitem. Tento typ filtru se vyskytuje v nákladních vozech, autobusech, zemědělské a stavební technice. [49]



Obr. 5.15 Filtr pevných částic typu DPF-BAB [49]

DPF KIT

Tento filtr slouží k nahrazení originálního filtru v osobních a užitkových vozech, které splňují emisní normu EURO IV nebo vyšší. Jako materiál prvek je použita mřížka z SiC, která se vyznačuje vysokou tepelnou a mechanickou odolností. Speciální struktura umožňuje usazení velkého množství částic na rozlehlé ploše. Tento filtr je kompatibilní například s vozy Volkswagen Crafter, Mercedes-Benz Sprinter nebo Ford Focus. [52] [53]

Obr. 5.16 Filtr pevných částic DPF KIT [52]

NFZ KIT

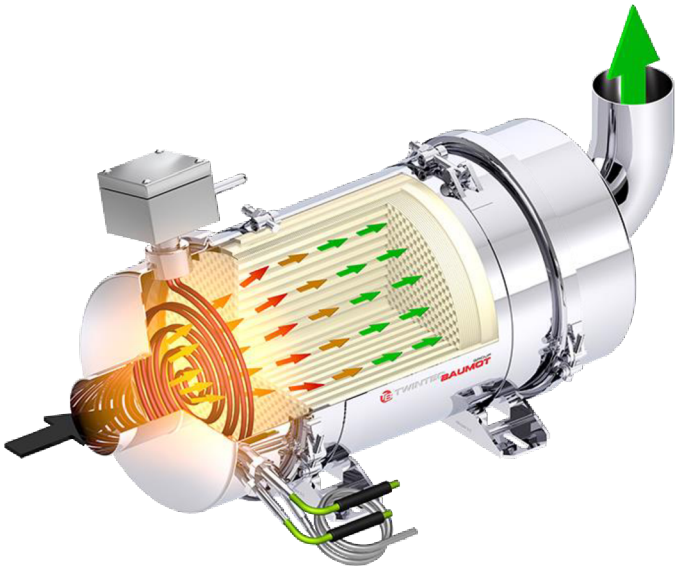
Tyto systémy se dodatečně montují do větších užitkových vozidlech splňujících minimálně emisní normu EURO II a autobusů splňujících minimálně emisní normu EURO I, které jsou provozovány především v městských podmínkách a na krátké vzdálenosti. DPF bývá namontován, kde se nachází výfukový tlumič. Filtr tedy slouží k filtraci a zároveň i jako tlumič výfuku. [54]

Obr. 5.17 Filtr pevných částic NFZ KIT [54]

5.3.2 FILTRY VYUŽÍVAJÍCÍ AKTIVNÍ REGENERACI

DFP-BAH

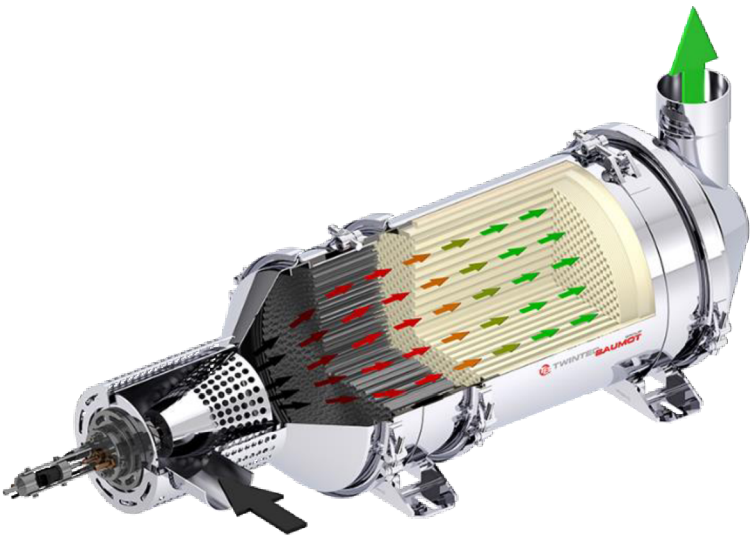
DPF tohoto typu pracující na stejném principu jako například filtry řady GreenTRAP™ VOLT od firmy Nett Technologies nebo jako DPFi společnosti Johnson Matthey. K aktivní regeneraci tedy slouží topná spirála, do které je přiváděn proud z vnější elektrické sítě při zapnutém motoru. Teplota produkovaných výfukových plynů může být při celém regeneračním procesu menší než 220 °C. Tento systém se používá výhradně pro stacionární zařízení jako jsou kupříkladu agregáty pro provoz generátorů elektrické energie. [50]



Obr. 5.18 Filtr pevných částic typu DPF-BAH [50]

DPF-FLAME

Jedná se o podobný systém jako filtry řady VorTEQ™ nebo DPF-BU přechozích výrobců. Integrovaný hořák dokáže zvýšit teplotu exhalátů z hodnot pod 220 °C až na teplotu 350 °C, pokud je motor vypnut nebo pracuje pod částečnou zátěží. To umožňuje kontinuální regeneraci CRT, kdy dochází oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků. U agregátů se zdvihovým objemem do 6 litrů dokáže hořák zvýšit teplotu ve filtru až na hodnoty 600 °C. V tomto případě probíhá regenerace kolem 20 minut. Tyto DPF nachází uplatnění u pracovních plošin, vysokozdvižných vozíků i stavební techniky. [51]



Obr. 5.19 Filtr pevných částic typu DPF-FLAME [51]

ZÁVĚR

Filtry pevných částic jsou velmi kontroverzní zařízení. Jejich zastánci argumentují tím, že vznětové motory jsou neekologické a použitím systémů DPF se tento jejich nedostatek výrazně eliminuje. Existuje ale i řada jejich odpůrců, kteří říkají, že tyto systémy jsou drahé, snižují výkon motoru a zvyšují poruchovost celého strojního zařízení. Někteří dokonce tvrdí, že použití filtru pevných částic ještě více poškozuje životní prostředí, jelikož se musí počítat s jeho výrobou a zejména s jeho následnou likvidací. Dále může být sporné, zda menší množství velkých částic není méně nebezpečné než větší množství malých částic, které vznikají při regeneračním procesu DPF systému.

Vlády mnoha zemí tlačí na limity vypouštěných škodlivých látek. Politické špičky a ekologové bohužel často ignorují odborná měření, podle kterých jsou moderní vznětové motory velmi šetrné k životnímu prostředí. Celkové situaci nijak nepřispěla ani aféra Dieselgate, která pravděpodobně napomohla k jistému honu na automobily se vznětovými agregáty. V některých případech dokonce došlo k zákazu vjezdu těchto automobilů do center měst, jako například do německého Hamburku. Filtry pevných částic se dokonce začínají montovat do nových vozů se zážehovými motory, u kterých je množství vypouštěných pevných částic mnohem nižší, než je tomu u vznětových pohonných jednotek. V důsledku toho musí automobiloví výrobci vynakládat nemalé finanční prostředky na vývoj a výrobu stále dokonalejších systémů snižujících emise. To se odráží na výsledné ceně jejich produktů. Paradoxně může docházet k tomu, že tyto výrobky jsou čím dál hůře dostupné a tím roste na významu trh s ojetými vozy, které jsou často výrazně méně ekologické. To může do jisté míry zlepšování kvality ovzduší brzdit.

Otázkou zůstává, zda se současná legislativa až příliš nesoustředí na automobilovou dopravu, zatímco bývají opomíjeny jiné dopravní prostředky, jejichž emise nejsou dostatečně regulovány. Jedná se zejména o velká dopravní letadla a lodě. Faktem však je, že dnes dokáží výrobci nabídnout čím dál kvalitnější a účinnější systémy DPF. Díky stále lepším konstrukčním materiálům a použití moderních technologií jsou navíc filtry pevných částic schopné regenerace v jakémkoli provozním cyklu, což výrazně napomáhá k jejich vyšší životnosti a spolehlivosti.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

[1] ADLER;PETASCH, Joerg. *Diesel Particulate Filters* [online]. 2013, , 585-606 [cit. 2019-01-27]. ISBN 978-0-12-385470-4.

[2] Liu Q, Babadjouni R, Radwanski R, Cheng H, et al. *Stroke Damage Is Exacerbated by Nano-Size Particulate Matter in a Mouse Model* [online]. 2016 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0153376

[3] *Particulate matter 10 micrometres or less in diameter (PM10)* [online]. 2014 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: http://www.mfe.govt.nz/more/environmental-reporting/air/air-domain-report-2014/state-new-zealands-air/pm10

[4] *Emission Standards: Europe: Cars and Light Trucks. DieselNet: Diesel Emissions Online* [online]. Copyright © 1997 [cit. 14.02.2019]. Dostupné z: https://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php

[5] *Emission Standards: Europe: Nonroad Engines. DieselNet: Diesel Emissions Online* [online]. Copyright © 1997 [cit. 28.01.2019]. Dostupné z: https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php

[6] *Emission Standards: USA: Cars and Light-Duty Trucks—Tier 1. DieselNet: Diesel Emissions Online* [online]. Copyright © 1997 [cit. 27.01.2019]. Dostupné z: https://www.dieselnet.com/standards/us/ld.php

[7] *Emission Standards: USA: Cars and Light-Duty Trucks—Tier 1. DieselNet: Diesel Emissions Online* [online]. Copyright © 1997 [cit. 27.01.2019]. Dostupné z: https://www.dieselnet.com/standards/us/ld_t1.php

[8] *Emission Standards: USA: Cars and Light-Duty Trucks—Tier 2. DieselNet: Diesel Emissions Online* [online]. Copyright © 1997 [cit. 27.01.2019]. Dostupné z: https://www.dieselnet.com/standards/us/ld_t2.php

[9] *Emission Standards: USA: Cars and Light-Duty Trucks—Tier 3. DieselNet: Diesel Emissions Online* [online]. Copyright © 1997 [cit. 27.01.2019]. Dostupné z: https://www.dieselnet.com/standards/us/ld_t3.php

[10] *Emission Standards: USA: Cars and Light-Duty Trucks—California. DieselNet: Diesel Emissions Online* [online]. Copyright © 1997 [cit. 27.01.2019]. Dostupné z: https://www.dieselnet.com/standards/us/ld_ca.php

[11] VELECKÝ, Martin. *Filtry pevných částic aneb DPF (1/4): Druhy DPF, jejich plusy a minusy* [online]. 2014 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: https://www.autorevue.cz/filtry-pevnych-castic-aneb-dpf-1/4-druhy-dpf-jejich-plusy-a-minusy

[12] SAJDL, Jan. *DPF (Diesel Particulate Filter)* [online]. [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: http://www.autolexicon.net/cs/articles/dpf-diesel-particulate-filter/

[13] POWERTEC. *Co je DPF - filtr pevných částic* [online]. [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: https://www.chiptuning.cz/clanek/seznam-clanku/technika/co-je-dpf-filtr-pevnych-castic

[14] ŽÁK, Dalibor. *Filtry pevných částic (DPF) v ojetinách: Kde se vzaly a jaké jsou jejich typy* [online]. 2018 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: https://autobible.euro.cz/filtry-pevnych-castic-dpf-ojetinach-se-vzaly-jake-jsou-typy/

[15] LAO, Chung ting;akroyd. *Modelling of secondary particulate emissions during the regeneration of Diesel Particulate Filters. Energy Procedia* [online]. Elsevier, 2017, 142, 3560-3565 [cit. 2019-02-02]. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.12.245. ISSN 1876-6102.

[16] *Peugeot 607 2.2 HDI specs* [online]. [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: https://www.cars-data.com/en/peugeot-607-2.2-hdi-specs/36499

[17] DUSIL, Tomáš. *Filtry pevných částic: Jak vlastně fungují? A regenerují? (1. díl)* [online]. 2016 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: http://www.auto.cz/technika-filtry-pevnych-castic-jak-vlastne-funguji-a-regeneruji-1-dil-9310620

[18] HEISLER, H. *Advanced Engine technology. Butterworth-Heinemann, second published,* Oxford, 2002. ISBN 1-56091-734-2

[19] *Jaké existují druhy DPF?* [online]. [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: https://dpf-druhy.cz/

[20] DUSIL, Tomáš. *Regenerace filtrů pevných částic: Jak jezdit, abychom neničili drahý filtr?* [online]. 2018 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: http://www.auto.cz/regenerace-filtru-pevnych-castic-jak-jezdit-abychom-nenicili-drahy-filtr-113369

[21] *Filters Using Fuel Borne Catalysts. DieselNet: Diesel Emissions Online* [online]. Copyright © Ecopoint Inc. Revision [cit. 09.02.2019]. Dostupné z: https://www.dieselnet.com/tech/dpf_fbc.php

[22] JOHNSON MATTHEY. *Product Information Diesel Particle Filter DPF-RID Active* [online]. 2007 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: http://www.jmdpf.com/pdfs-library/Diesel%20Particulate%20Filter%20DPF%20RID%20Active1.pdf

[23] ŠIKL, Petr. *Filtry pevných částic jsou časovanou bombou* [online]. 2010 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: https://www.tipcars.com/magazin/nase-tema/filtry-pevnych-castic-jsou-casovanou-bombou.html

[24] JOHNSON MATTHEY. About us [online]. 2019 [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: https://matthey.com/about-us

[25] JOHNSON MATTHEY. *General Information* [online]. 2016 [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: http://www.jmdpf.com/diesel-particulate-filter-dpf-exhaust-system-NRMM-johnson-matthey

[26] JOHNSON MATTHEY. *Continuously Regenerating Trap ((C)CRT®) Systems* [online]. 2007 [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: http://www.jmdpf.com/diesel-exhaust-filter-system-CRT-NRMM-johnson-matthey

[27] JOHNSON MATTHEY. *Catalysed Soot Filter (CSF)* [online]. 2012 [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: http://www.jmdpf.com/Diesel-exhaust-catalysed-filter-CSF-system-johnson-matthey

[28] JOHNSON MATTHEY. *Fuel Borne Catalyst (DPFiS)* [online]. 2012 [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: http://www.jmdpf.com/diesel-particulate-filter-catalyst-johnson-matthey

[29] JOHNSON MATTHEY. *Active Systems* [online]. 2016 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: http://www.jmdpf.com/diesel-particulate-filter-DPF-active-systems-johnson-matthey

[30] JOHNSON MATTHEY. *Electrical (DPFi)* [online]. 2012 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: http://www.jmdpf.com/diesel-particulate-filter-exhaust-system-electrical-johnson-matthey

[31] JOHNSON MATTHEY. *Exchangeable Filter System (DPF-C)* [online]. 2016 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: http://www.jmdpf.com/diesel-particulate-filter-exhaust-system-DPFC-johnson-matthey

[32] JOHNSON MATTHEY. *Burner (DPF-BU)* [online]. 2012 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: http://www.jmdpf.com/diesel-particulate-filter-exhaust-system-burner-johnson-matthey

[33] JOHNSON MATTHEY. *Product Information Diesel Particle Filter DPF-BU Active* [online]. 2012 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: http://www.jmdpf.com/pdfs-library/Diesel%20Particle%20Filter%20DPF%20BU%20Active.pdf

[34] JOHNSON MATTHEY. *Fuel Injection (DPF-RID)* [online]. 2012 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: http://www.jmdpf.com/diesel-particulate-filter-exhaust-system-fuel-injection-johnson-matthey

[35] DOU, Danan. *Fuel Injection (DPF-RID)Application of Diesel Oxidation Catalyst and Diesel Particulate Filter for Diesel Engine Powered Non-Road Machines* [online]. 2012 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: https://www.technology.matthey.com/article/56/3/144-154/

[36] *EE20 Engine Info* [online]. 2011 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: https://subdiesel.wordpress.com/boxer-diesel/ee20-engine-info/

[37] CONTRA AUTOMOTIVE GMBH. *Diesel Particulate Filter FORD Kuga I 2.0 TDCI (CBV)* [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: https://www.dpf-catalysts24.com/particle-filter/particle-filter-ford/diesel-particulate-filter-ford-kuga-i-2-0-tdci-cbv-sku-dpf-g1377.html

[38] SAJDL, Jan. *SCR (Selective Catalytic Reduction)* [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: http://www.autolexicon.net/cs/articles/scr-selective-catalytic-reduction/

[39] AUTODÍLY MJAUTO. *DPF FILTR KORDIERIT VS SILIKON KARBID (SIC)* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: http://www.mjauto.cz/dpf-filtr-kordierit-vs-silikon-karbid-sic

[40] NETT TECHNOLOGIES. *About Us* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://www.nettinc.com/about/company Ukončit editaci Zkopírovat citaci

[41] NETT TECHNOLOGIES. *S-Series (Passive DPF)* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://www.nettinc.com/products/diesel-particulate-filters-dpf/s-series-passive

[42] NETT TECHNOLOGIES. *GreenTRAP™-Series* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://www.nettinc.com/products/diesel-particulate-filters-dpf/greentrap-passive

[43] NETT TECHNOLOGIES. GreenTRAP™ d-Series [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://www.nettinc.com/products/diesel-particulate-filters-dpf/greentrap-d-passive-dpf-doc

[44] NETT TECHNOLOGIES. *VorTEQ™-Series* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://www.nettinc.com/products/diesel-particulate-filters-dpf/vorteq-active

[45] NETT TECHNOLOGIES. *GreenTRAP™ VOLT-Series* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://www.nettinc.com/products/diesel-particulate-filters-dpf/greentrap-volt-active-dpf

[46] NETT TECHNOLOGIES. *GreenTRAP™ NOVA-Series* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://www.nettinc.com/products/diesel-particulate-filters-dpf/greentrap-nova-active-dpf

[47] BAUMOT GROUP. *BRIEF PROFILE* [online]. [cit. 2019-04-5]. Dostupné z: https://ir.baumot.de/en/investor-relations/company/brief-profile/

[48] TWINTEC BAUMOT GROUP. *DPF-BA SYSTEM* [online]. [cit. 2019-04-5]. Dostupné z: https://solutions.baumot.de/en/products/dpf-ba-system/

[49] TWINTEC BAUMOT GROUP. *DPF-BAB SYSTEM* [online]. [cit. 2019-04-5]. Dostupné z: https://solutions.baumot.de/en/products/dpf-bab-system/

[50] TWINTEC BAUMOT GROUP. *DPF-BAH SYSTEM* [online]. [cit. 2019-04-5]. Dostupné z: https://solutions.baumot.de/en/products/dpf-bah-system/

[51] TWINTEC BAUMOT GROUP. *DPF-FLAME SYSTEM* [online]. [cit. 2019-04-5]. Dostupné z: https://solutions.baumot.de/en/products/dpf-flame-system/

[52] TWINTEC BAUMOT GROUP. *DPF KIT* [online]. [cit. 2019-04-5]. Dostupné z: https://solutions.baumot.de/en/products/dpf-kit/

[53] TWINTEC BAUMOT GROUP. *DPF KIT* [online]. [cit. 2019-04-5]. Dostupné z: https://solutions.baumot.de/wp-content/uploads/sites/2/2016/09/Factsheet_DPF-Kit_en_v1_web.pdf

[54] TWINTEC BAUMOT GROUP. *NFZ KIT* [online]. [cit. 2019-04-5]. Dostupné z: https://solutions.baumot.de/en/products/nfz-kit/

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

PM	Particulate matter – pevná částice
NO	Oxid dusnatý
NO_2	Oxid dusičitý
NO_x	Oxidy dusíku
HC	Uhlovodíky
CO	Oxid uhelnatý
CO_2	Oxid uhličitý
SiC	Karbid křemíku
EPA	Environmental Protection Agency – agentura pro ochranu životního prostředí
CARB	California Air Resources Board – Kalifornský úřad pro čistotu ovzduší
FTP	Federal Test Procedure – federální testovací procedura
SFTP	Supplemental Federal Test Procedure – dodatečná federální testovací procedura
SUV	Sport Utility Vehicle – sportovní užitkové vozidlo
LEV	Low Emission Vehicle – typ emisní normy
DPF	Diesel Particulate Filter – filtr pevných částic
FAP	Filtre à Particules – filtr pevných částic
EGR	Exhaust Gas Recirculation – systém recirkulace výfukových plynů
SCR	Selective Catalytic Reduction – selektivní katalytická redukce
DOC	Diesel Oxidation Catalyst – dieselový oxidační katalyzátor
CRT	Continuously Regeneration Trap – kontinuální zachytávání sazí
FBC	Fuel-Borne Catalysts – látky snižující teplotu vznícení pevných částic
HDI	High-pressure Direct Injection – vysokotlaké přímé vstřikování
CSF	Catalysed Soot Filter – povrch filtru potažený katalytickou vrstvou
ECU	Electronic Control Unit – elektronická řídící jednotka
ECM	Electronic Control Module – elektronický kontrolní systém