



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

**ADITIVA PRO PALIVA MODERNÍCH SPALOVACÍCH
MOTORŮ**

FUEL ADDITIVES FOR MODERN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Mach

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Petr Mach**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.**
Akademický rok: 2019/20

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:

Aditiva pro paliva moderních spalovacích motorů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě analýzy dostupných podkladů soustředit poznatky o aditivech pro paliva moderních spalovacích motorů a jejich účinku.

Cíle bakalářské práce:

Soustředit informace o aditivech pro paliva moderních zážehových a vznětových motorů.

Zhodnotit vliv aditiv na vznik usazenin v systémech pro vstřikování paliva.

Zhodnotit vliv aditiv na opotřebení a životnost komponent spalovacích motorů.

Zhodnotit vliv aditiv na spotřebu paliva.

Seznam doporučené literatury:

STONE, Richard. Introduction to internal combustion engines. 3rd edition. Warrendale, Pa.: Society of Automotive Engineers, 1999. 641 s. ISBN 0768004950.

HEISLER, Heinz. Advanced engine technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1995. 794 s. ISBN 1-56091-734-2.

KÖHLER, Eduard. Verbrennungsmotoren: Motormechanik, Berechnung und Auslegung des Hubkolbenmotors. 3. verb. Aufl. Braunschweig [u.a.]: Vieweg, 2002. 548 s. ISBN 3-528-23108-4.

SKOTSKY, Alexander. Automotive engines: control, estimation, statistical detection. Berlin: Springer Verlag, 2009. 215 s. ISBN 978-3-642-00163-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je poskytnutí podrobné rešerše o palivových aditivech, zejména jejich vlivu na usazeniny ve spalovacích motorech, opotřebení a životnost motorů a s tím i spjatý vliv na spotřebu paliva. První kapitola má za úkol stručně informovat o automobilových palivech a vysvětlit pojmy, které se v práci nadále objevují. Další kapitola informuje o typech palivových aditiv a jejich použití. Třetí kapitola práce již pojednává o usazeninách ve spalovacích motorech a jejich redukci pomocí detergentních aditiv. Čtvrtá kapitola se zaměřuje na druhy opotřebení a místa, kde k opotřebení dochází. Zároveň má za cíl ukázat pozitivní vliv aditiv na životnost komponent motorů. Poslední kapitola se věnuje spotřebě paliva v návaznosti na předchozí dvě kapitoly s poukázáním na důležitost aditiv i ve světové spotřebě paliva.

KLÍČOVÁ SLOVA

palivová aditiva, paliva, spalovací motor, usazeniny, opotřebení, životnost, spotřeba paliva

ABSTRACT

This bachelor thesis is devoted to thorough research of fuel additives, especially their effect on deposits in internal combustion engines, wear and service life of the engines and their effect on fuel consumption. The first chapter briefly informs about automotive fuels and explains the used terms in this work. The next chapter describes the types of fuel additives and their use. The third chapter deals with the deposits in the internal combustion engines and their reduction using detergent additives. The fourth chapter focuses on the types of wear and places where arise. This chapter also aims to prove the positive effect of additives on the engine components service life. The last chapter focuses on the fuel consumption and importance of additives in world fuel consumption.

KEYWORDS

fuel additives, fuels, combustion engine, deposits, wear, service life, fuel consumption

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MACH, Petr. *Aditiva pro paliva moderních spalovacích motorů*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/121613>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 61 s. Vedoucí práce Václav Píštěk.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením prof. Ing. Václava Píštěka, DrSc. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 25. června 2020

.....

Petr Mach

PODĚKOVÁNÍ

Tímto chci poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce, prof. Ing. Václavu Pištěkovi, DrSc., za jeho odborné rady, ochotu a pomoc při zpracování této práce.

OBSAH

Úvod.....	10
1 Paliva.....	11
1.1 Automobilový benzín.....	11
1.2 Motorová nafta	12
2 Aditiva a jejich typy.....	16
2.1 Aditiva pro automobilový benzín i motorovou naftu	17
2.2 Aditiva pro automobilový benzín	21
2.3 Aditiva pro motorovou naftu.....	22
3 Usazeniny ve spalovacích motorech	26
3.1 Co způsobuje usazeniny	27
3.2 Usazeniny na vstřikovačích.....	29
3.3 Usazeniny na sacích ventilech (IVD)	30
3.4 Usazeniny ve spalovací komoře (CCD).....	30
3.5 Vliv DD aditiv na vznik usazenin (účinnost aditiv)	31
4 Opotřebení a životnost komponent motorů	36
4.1 Opotřebení a jeho příčiny	36
4.2 Druhy opotřebení.....	36
4.3 Opotřebení v palivovém systému	39
4.4 Opotřebení vstřikovačů	40
4.5 Opotřebení mezi pístními kroužky a stěnami válců	41
4.6 Vliv mazivostních aditiv na opotřebení a životnost	41
4.7 Vliv inhibitorů koroze na opotřebení a životnost	43
4.8 Vliv dalších aditiv na opotřebení a životnost	44
5 Aditiva a spotřeba paliva	46
5.1 Vliv aditiv zvyšující oktanové číslo na spotřebu paliva	46
5.2 Vliv mazivostních aditiv na spotřebu paliva.....	48
5.3 Vliv DD aditiv na spotřebu paliva.....	49
5.4 Spotřeba paliv celosvětově.....	50
Závěr	51
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	61

ÚVOD

Aditiva do paliv se za účelem vylepšení pohonných hmot používají již od roku 1930. Tyto přísady se používají především v případech, kdy nestačí technologické procesy na dosažení požadovaných vlastností paliva či pro ekonomicky efektivnější úpravu paliva.

Nároky na kvalitu automobilového benzínu či motorové nafty se neustále zvyšují. Mezi největší problémy patří stále přísnější environmentální předpisy a také snaha o větší efektivitu spalovacího motoru. Na to samozřejmě navazuje nepřetržitý vývoj v oblasti konstrukce motorů. Snaha o zvyšování měrného výkonu motoru má ale za následek zvyšování tlaků a teplot ve spalovacím prostoru. Zároveň se automobilky snaží o snížení spotřeby paliva a kvůli předpisům i o nižší emise výfukových plynů.

Snižování emisí motorových vozidel vyžaduje komplexní eliminaci některých škodlivých látek v palivu. V 80. letech 20. století byla zjištěna velká škodlivost emisí, které obsahují sloučeniny olova v palivu. Později se do středu pozornosti postavily sloučeniny síry, jež mají velmi škodlivý dopad na životní prostředí a zároveň i na palivovou soustavu v podobě zvýšené koroze. Za účelem eliminace těchto nevhodných látek byl v rafineriích přijat proces hydrodesulfurizace. To má za následek nejenom odstranění síry, ale i dalších důležitých látek v palivu. Hydrodesulfurizace tak sice vedla ke snížení škodlivých emisí pro životní prostředí, ale bohužel i k poklesu kvality pohonných hmot, jelikož odstraněné látky zajišťovaly dobrou mazivost a lepší spalování paliva.

Technologie v konstrukci motorů jde stále dopředu a novější vstřikovací systémy, jako je například systém Common-Rail, snižují množství škodlivých emisí a dokáží pracovat s větší účinností. Na druhou stranu tyto přesné systémy při nedostatečně kvalitním palivu častěji selhávají. Častými tématy jsou například usazeniny na vstřikovačích, které bezpochyby vedou k nesprávnému chodu motoru nebo dokonce k jeho selhání. Kvůli nedostatečně kvalitnímu palivu dochází i k většímu opotřebení komponent motorů vlivem vyššího tření u pohybujiících se částí. Tím se samozřejmě zkracuje i životnost celého motoru. Vzhledem ke stále narůstajícímu počtu automobilů v celém světě nelze opomenout i zvyšující se světovou spotřebu paliva, což představuje spolu s ubývajícím množstvím ropy stále kritičtější problém.

Požadavky na potřebnou kvalitu paliva musí rafinerie přijmout a pohonné hmoty vhodně upravovat. To je ovšem bez používání palivových aditiv a jejich dalšího výzkumu téměř nemožné. Aditiva nabízejí zlepšení manipulačních vlastností a stability paliva, zajišťují ochranu a čistotu motoru vozidla, rozvíjí výkonové vlastnosti paliva a jeho ekonomické využití.

Předpokládám, že trend ve snižování emisí, zvyšování účinnosti motorů a snižování spotřeby paliva bude i v dalších letech pokračovat. Moje práce se tedy zaměřuje na soustředění informací ohledně palivových aditiv s důrazem na jejich účinky, a to především ve spojitosti s tvorbou usazenin, opotřebením a životností komponent motoru a spotřebou paliva.

1 PALIVA

Nejrozšířenější paliva, která se vyrábí z ropy, jsou kapalná uhlovodíková paliva. Rozdělují se podle bodu varu na dva základní druhy, a to na automobilový benzín s bodem varu 35–210 °C a motorovou naftu s bodem varu 150–360 °C. Jedná se o sloučeniny uhlíku a vodíku, v nichž uhlík vystupuje jako čtyřmocný prvek, který na sebe váže jiný atom uhlíku či vodíku. Dle uspořádání řetězce atomů uhlíku se rozlišují uhlovodíky s řetězovou vazbou uhlíku a uhlovodíky s cyklickou vazbou uhlíku [1].

Všechny uhlovodíky, co ropa obsahuje, se však nehodí na výrobu motorové nafty či benzínu. Velká část se musí upravit různými chemickými postupy v rafinériích. Výroba paliv se skládá ze dvou základních technologií:

- oddělování různých uhlovodíkových složek (filtrace, destilace)
- přeměna uhlovodíkových složek (krakování, reformování) [1]

1.1 AUTOMOBILOVÝ BENZÍN

Benzín tvoří směs různých kapalných uhlovodíků [2]. Obsahuje převážně uhlovodíky s 4–10 atomy uhlíku. Vyšší uhlovodíky, až do třinácti uhlíků, se vyskytují jen zřídka. Benzín může obsahovat také kyslíkaté látky, ale ty se přidávají do uhlovodíkové směsi až při mísení finálního produktu. V omezeném množství lze přidat některé alkoholy a ethery, nicméně celkový obsah kyslíku v benzínu omezují aktuální normy na nejvyšší hodnotu 2,7 %. Benzín také může obsahovat i malé množství přísad, například do 0,2 %, ke zlepšení některých vlastností. Většina států podle svých právních předpisů již nedovoluje, aby benzín obsahoval jakýkoliv kov. V České republice je dočasně povoleno přidávat do druhu Special přípravek typu AVSRA (*Anti Valve Recession Seat Additive*) [1, 2]. Jedná se o přípravek proti zatlukání výfukových ventilů obsahující sloučeninu kovu draslíku [3].

1.1.1 OKTANOVÉ ČÍSLO BENZÍNU

Oktanové číslo benzínu je přímý jakostní parametr benzínu. Vyjadřuje jeho antidetonační schopnosti, to znamená odolnost benzínu proti detonačnímu spalování, tzv. klepání motoru, které bude popsáno později. Čím vyšší je oktanové číslo, tím lepší je odolnost benzínu vůči detonačnímu spalování [1, 2].

Po destilaci a odsíření následují při výrobě automobilových benzínů další technologické procesy, jejichž účelem je vyrobit složky s velkým oktanovým číslem. Konečný produkt vzniká mísením vhodných složek ve správných poměrech. Výrobní kapacita vysokooktanových složek a jejich skutečná oktanová hladina vytváří tzv. „oktanový pool“ rafinerie, který vyjadřuje, jaké množství jednotlivých druhů vysokooktanových benzínů je rafinerie schopná vyrobit. Tato charakteristika byla sledována hlavně v období 80. a 90. let, kdy musely rafinerie postupně snižovat obsah olova v benzínu. Aby udržely oktanovou hladinu, musely po každém snížení obsahu olova vyrobit více složek s velkým oktanovým číslem, nebo zvyšovat oktanové číslo těchto složek [3].



Obr. 1 Tankování prémiového paliva Verva 100 čerpací stanice Benzina s oktanovým číslem 100

1.1.2 TĚKAVOST BENZÍNU

Těkavost benzínu má jak spodní, tak i horní limity. Na jednu stranu musí benzín obsahovat adekvátní množství vysoce těkavé látky k zajištění spolehlivého nastartování motoru za studena. Zároveň ale nesmí být těkavost moc velká, neboť může dojít k problémům se startováním nebo výkonem za vysokých teplot. Další z faktorů je ochrana prostředí, kdy by měla být míra odpařování co nejnižší. Těkavost se definuje různými charakteristikami. Jde například o evropskou normu EN 228, která definuje úroveň těkavosti v závislosti na „boiling curve“, tlaku páry a VLI (*Vapor Lock Index*). Různé hodnoty se také liší pro zimní a letní období [4].

1.1.3 HUSTOTA BENZÍNU

Evropská norma EN 228 omezuje hustotu benzínu na 720–775 kg/m³. Jelikož prémiová paliva obsahují obecně vyšší podíl aromatických sloučenin, jejich hustota je oproti běžným benzínům vyšší a také mají nepatrně vyšší výhřevnost [4].

1.2 MOTOROVÁ NAFTA

Naftu tvoří směs kapalných uhlovodíků, které mají, jak již bylo psáno výše, vyšší bod varu. K výrobě dochází míšením petroleje s těžšími destilačními produkty, tj. plynové oleje. Obsah lehkých podílů je omezen kvůli požadavkům na bod vzplanutí a obsah těžkých podílů je omezen kvůli vzniku úsad ve spalovacím prostoru [1].

1.2.1 BOD VZPLANUTÍ

Bod vzplanutí je nejnižší teplota, při které se nad zahříváním vzorkem paliva v uzavřené nádobě vytvoří takové množství par, že po přiblížení plamene vzplanou a dále nehoří. Hodnota této teploty se u diesellového paliva pohybuje v rozmezí 55–100 °C podle druhu nafty [2].

1.2.2 BOD VARU

Rozmezí teplot, ve kterém se palivo vypařuje, záleží na složení paliva. Nízký počáteční bod varu paliva je vhodný pro chladné počasí, zároveň ale klesají mazací schopnosti a cetanové číslo. Tím se zvyšuje riziko opotřebení součástí vstřikovacího systému. Naopak, když je nejvyšší teplota bodu varu na měřítku teplot hodně vysoko, dochází často k vyšším emisím a k uhlíkovým usazeninám na vstřikovacích tryskách [4].

1.2.3 REAKTIVITA MOTOROVÉ NAFTY

Reaktivita patří mezi kvalitativní znaky a vyjadřuje, jak se dokáže nafta po vstříknutí vstřikovačem do spalovacího prostoru lehce vznítit [2]. Toto samovznícení je způsobeno vstříknutím paliva do horkého stlačeného vzduchu ve spalovací komoře [4]. Málo reaktivní palivo se projevuje obtížným startováním motoru, pomalým zahříváním motoru a tvrdým chodem, jelikož prodleva vznícení takového paliva je příliš dlouhá. Navíc také dochází k větší tvorbě úsad, což má za následek zhoršení kvality motorového oleje a větší emise výfukových plynů. Pokud je naopak motorová nafta reaktivní, teplota rychle stoupá, a to usnadňuje spalování těžších podílů. Reaktivitu diesellového paliva vyjadřujeme cetanovým číslem [2].

1.2.4 CETANOVÉ ČÍSLO MOTOROVÉ NAFTY

Na rozdíl od automobilového benzínu, kde je hlavním parametrem oktanové číslo, má motorová nafta číslo cetanové.

Cetan je nerozvětvená molekula alkanů s 16 atomy uhlíku, na kterou připadá cetanové číslo 100, zatímco alfa-methylnaftalenu připadlo cetanové číslo 0. Jedná se o indexové číslo vlastností samovznícení složek nafty a motorové nafty. Vzhledem k tomu, že je v motorové naftě velké množství chemických sloučenin, z nichž každá má jiné cetanové číslo, je celkovým cetanovým číslem nafty průměrné cetanové hodnocení všech složek paliva. Cetanové číslo udává, jak rychle se po vstříknutí do spalovacího prostoru palivo začne spalovat [5]. Čím je toto číslo vyšší, tím má palivo větší tendenci se vznítit. Pro optimální fungování je žádoucí cetanové číslo přes 50, aby bylo možné snadno nastartovat i studený motor [4]. U běžných paliv se tato hodnota pohybuje v rozmezí od 46 do 56 [2].

Postupný vývoj dieselových motorů směřuje k zmenšování závislosti na cetanovém čísle. Tvrdému chodu motoru vývojáři zabráňují například většími vstřikovacími tlaky, umožňující lepší rozstřík nafty. Jak již bylo psáno výše, cetanové číslo ovlivňuje i startování motoru v chladném počasí, ale i zde přichází na řadu mechanické zásahy, jako je úprava dávky paliva, změna úhlu předvstříku a hlavně předehřívání spalovacího prostoru žhavicími svíčkami [2].



Obr. 2 Tankování motorové nafty Efecta Diesel čerpací stanice Benzina, jež má zlepšit „studené“ starty díky většímu cetanovému číslu

1.2.5 CHLADOVÉ VLASTNOSTI MOTOROVÉ NAFTY

Motorová nafta je kvůli svému složení velmi závislá na okolní teplotě a přechod na zimní provoz způsobuje problémy. Proto se její chladové vlastnosti řadí mezi nejdůležitější parametry. V zimě nastává zhoršení tečení kapaliny, jelikož složky nafty mají tendenci v nízkých teplotách krystalizovat a vytvářet krystalickou mříž, která znemožní proudění. Chladové vlastnosti nafty popisujeme zejména teplotou filtrovatelnosti CFPP (*Cold Filter Plugging Point*) [2].

TEPLOTA VYLUČOVÁNÍ PARAFINŮ CP MOTOROVÉ NAFTY (BOD ZÁKALU)

Jedná se o teplotu, při které se motorová nafta začíná kalit vyloučenými krystalky parafinu. Tato hodnota se také označuje jako bod zákalu CP (*cloud point*), ale ještě nezpůsobuje problémy se startováním motoru, jelikož je motorová nafta při této hodnotě pořád dostatečně tekutá. Problém nastává při dalším ochlazení prostředí, kdy se množství vyloučených parafinů zvyšuje a dochází například k ucpání palivového filtru [1, 2].

TEPLOTA FILTROVATELNOSTI CFPP MOTOROVÉ NAFTY

U této teploty dochází již k velkému pokrytí palivového filtru parafinem a nastává jeho ucpání. Při této teplotě je však nafta stále tekutá, nicméně kvůli nánosům parafinu neprojde palivo dále a motor se zastaví. Tato teplota se považuje za nejdůležitější, a proto se používá členění nafty podle CFPP [2].

Motorová nafta se podle svých chladových vlastností rozděluje do několika tříd. V našem klimatu se používají třídy A až F, z nichž třída F se řadí mezi arktické nafty [2].

BOD TUHNUTÍ PP MOTOROVÉ NAFTY

Další teplotou, která se týká problému s prouděním nafty, je bod tuhnutí PP (*pour point*). U této hodnoty má palivo tak velkou viskozitu, že přestane téci. Bod tuhnutí je tedy důležitý, jak z hlediska startování motoru, tak i z hlediska transportu tohoto paliva [2].

2 ADITIVA A JEJICH TYPY

Nároky na kvalitu pohonných hmot se pořád zvyšují. Jde například o co nejnižší zdravotní závadnost či nejmenší tvorbu zdraví škodlivých látek (sloučeniny síry), co nejnižší agresivitu vůči palivovému systému a také o schopnost odstraňování úsad v palivovém systému či palivu. U motorové nafty jsou i požadavky na vhodné složení paliva v zimních měsících [1, 3]. Všech těchto požadavků pomocí rafinace nelze dosáhnout, a proto jsou tu palivová aditiva.

Aditiva lze rozdělit do dvou kategorií, a to *finished fuel additives* a *performance fuel additives*. První kategorie se používá k tomu, aby bylo palivo vhodné ke konkrétnímu účelu. Příkladem může být nafta pro zimní období, do které se přidávají aditiva zlepšující vlastnosti paliv za studena, aby se neucpala palivová soustava. Dalším důvodem je, aby bylo palivo v souladu s místními normami. Druhá kategorie aditiv přispívá ke zlepšení funkcí motoru a typickým znakem těchto přísad je jejich použití značkovými prodejci ve svých palivech k odlišení svého produktu od ostatních. Pro různé pohonné hmoty jsou vhodná různá aditiva a také složení těchto přísad je ovlivněno druhem paliva, do kterého se přidávají [6]. Hlavní důvody, proč se aditiva do paliv přidávají, jsou:

- zlepšení manipulačních vlastností (*handling properties*) a stability paliva
- zajištění ochrany a čistoty motoru vozidla, ale i ropných nádrží a potrubí
- zlepšení a rozvoj spalovacích (*combustion properties*) a výkonových vlastností paliva
- snížení škodlivých emisí ze spalování paliva
- zvýšení ekonomického využití paliva
- vytvoření nebo zvýšení „*image*“ značky paliva [5, 7]

Některá aditiva se přidávají do automobilových paliv již v průběhu výroby. Přísady, které jsou míchány do paliva ve vysokých koncentracích (běžně více než 1 %) jsou označovány jako *blending components*. Na druhou stranu sloučeniny, které jsou přidávány v koncentracích nízkých (méně než 1 %) jsou nazývány *refinery (functional) additives* [5]. Další aditiva jsou použita v průběhu distribuce, nebo i těsně před použitím paliva, tzn. před natankováním pohonných hmot do nádrže automobilu. V takovém případě se jedná o povýrobní aktivaci. Tato aditiva jsou balena například v plechovkách a obsahují několik druhů přísad. Firmy, které je vyrábí, slibují nižší spotřebu paliva, čistý palivový systém, zvýšení živostnosti motoru, nižší náklady na údržbu vozidla a podobně [3, 5].



Obr. 3 Aditiva od firmy VIF určená pro benzínové motory – tzv. povýrobní aktivace

Jak již bylo uvedeno, aditiva do paliv se používají již 90 let. Na začátku se používaly přísady pro zvýšení oktanového či cetanového čísla, antioxidanty a barviva. Později se k nim přidaly inhibitory koroze, modifikátory usazenin nebo třeba deaktivátory kovů. Další aditiva vznikala podle požadavků a technologie konkrétního období. Důležité je také zmínit, že přísady pro automobilový benzín a motorovou naftu se svým složením a strukturou odlišují [3, 5].

Do benzínu se v minulosti přidávaly hlavně sloučeniny olova, které výrazným způsobem zvyšovaly jeho oktanové číslo. Dnes se přidávají antioxidanty k zajištění stability paliva při uskladnění, deaktivátory kovů a protikorozní přísady vyžadované normou v případě, kdy může docházet k oddělení vody (ČSN EN 228, čl. 5.6.1) [3]. V některých rafinériích se přidává hned při výrobě paliva detergentní aditivum, mající za úkol držet palivový systém čistý tzn. bez usazenin, za účelem udržení správného stechiometrického poměru spalovací směsi a také minimalizování výfukových emisí [4]. Nicméně hlavní podíl detergentních aditiv je přidáván až na začátku distribuční etapy, kdy si jednotlivé firmy přidávají do paliv své formulace detergentních přísad [3].

Do nafty se obvykle přidávají modifikátory krystalické struktury parafinů, které zlepšují nízkoteplotní vlastnosti. Pokud je obsah olefinů v naftě větší, používají se antioxidanty a přísady proti tvorbě úsad v palivu při skladování [5]. Dále se užívají také přísady ke zvýšení cetanového čísla, hlavně z důvodu lepšího nastartování studeného motoru a ke snížení jeho hlučnosti [4]. Do zimních a arktických naft se obvykle přidává aditivum na zlepšení mazivosti [5]. V současnosti se také přidávají aditiva ke zlepšení elektrické vodivosti, a to z bezpečnostních důvodů. Může totiž nastat elektrostatický výboj při přepravě paliva [3].

V následující části práce jsou jednotlivé typy aditiv detailněji rozebrány.

2.1 ADITIVA PRO AUTOMOBILOVÝ BENZÍN I MOTOROVOU NAFTU

2.1.1 ANTIOXIDANTY (STABILIZÁTORY)

Paliva musí čas od času čelit delší době skladování. Může se jednat o dobu až 3 roky, někdy i více [5]. Problém je ten, že palivo po určité době degraduje. Vytváří se různé pryskyřice a usazeniny, což může vést při jejich pozdějším použití k tvorbě nánosů na citlivých součástech palivového systému. To poté způsobuje špatný běh motoru [6]. Antioxidanty jsou účinnými aditivy, které fungují jako prevence před degradací paliv. Je nutné podotknout, že degradace benzínu a nafty je odlišná.

Automobilový benzín je náchylný na oxidaci, a to zejména na světle. Vzniklé pryskyřice se usazují v sacím systému a na sacích ventilech [3]. Může docházet například ke zvyšování emisí nebo zalepení ventilů do takové míry, že zůstávají otevřené [3, 6]. Oxidaci paliva, která je hlavním důvodem nestability benzínu [6, 8, 9], je možné zabránit přidáním antioxidantů [5, 10]. Přidávají se aminové i fenolické typy, například alkyl-p-fenylendiamin. Tato aditiva rozkládají peroxidové radikály, což jsou původci oxidace [8, 3]. Antioxidanty jsou účinné již v množství 10–20 ppm a měly by být přidávány do benzínu hned po jeho vyrobení [5].

Motorová nafta degraduje odlišnými procesy, než je oxidace. Hluboké odsíření nafty nebo hydro-proces eliminuje většinu reaktivních látek, které můžeme nalézt v naftě s vyšším množstvím síry. Hydro-proces produkuje velmi stabilní naftu, která nepotřebuje skoro žádná stabilizační aditiva [6, 10]. Paliva vznikající těmito procesy mají zlepšenou stabilitu v důsledku

saturace olefinických a aromatických molekul. Faktem je, že náklady na lepší stabilitu paliva jsou nižší při aditivaci. Obvykle se tedy jedná o střední cestu, kdy kombinace těchto úprav nabízí nákladově efektivní řešení [5]. Pokud je motorová nafta delší dobu uskladněna nebo obsahuje olefiny (nestálá složka paliva), používají se stejné druhy látek jako u benzínu [3].

Aditivace antioxidanty se hodně používá u MEŘO (methylester řepkového oleje) a smíšené nafty, jelikož se zde nachází estery nenasycených mastných kyselin [3]. Velice důležité je věnovat pozornost skladování bionafty, poněvadž jsou tyto estery velmi nestabilní vůči působení světla. Kvalita bionafty se zhoršuje působením vzduchu a dochází k jinému obsahu kyselin a peroxidů, zároveň se mění i kinematická viskozita [11]. Účinnou přísadou na estery nenasycených mastných kyselin jsou aditiva na bázi chinonů. Jejich nevýhodou je vyšší cena a zhoršená rozpustnost. Při delším skladování vznikají pryskyřice podobně jako u benzínu, hlavně při přítomnosti olefinů. Stabilita nafty se dá zlepšit mnoha přísadami, z nichž jednou z nejlepších sloučenin je N,N-dimethylcyklohexylamin. Dále jsou účinné i jiné terciální aminy [3].

Důležité je zmínit, že použitím antioxidantů se nedá zcela zabránit oxidaci a hlavní účel je minimalizovat rychlost zhoršení paliva při jeho uskladnění [8]. Velkou nevýhodou antioxidantů je jejich výrazný vliv na snižování výkonu a zvýšení emisí [10].

2.1.2 DEAKTIVÁTORY KOVŮ

Paliva bývají občas kontaminována kovy, například mědí, železem, niklem, kobaltem a dalšími [5]. Kovy mohou katalyzovat proces oxidace a degradace paliva. Tím se vytváří usazeniny a produkty koroze, které mohou způsobit poškození palivového systému motoru [6, 12]. Obsah kovů v palivu je tedy zcela nežádoucí. Dále dochází ke znečištění ovzduší při spalování onoho paliva [12]. Deaktivátory kovů jsou typem aditiv, která mají funkci vázat na sebe kovy. Tím eliminují katalyzující účinky kovů. Takovou přísadou je například sloučenina N, N'-disalicyliden-1,2-propandiamin, jenž se dává v množství 2–10 ppm [3].

Z výzkumů vyplývá, že deaktivátory kovů můžeme rapidně zmenšit náklady na antioxidanty, které jsou přidávány k zajištění stability paliva. Ukázalo se, že i velmi malé množství kovů v palivu znamená značnou nestabilitu paliva. Přidá-li se do paliva obsahujícího kovy i malé množství deaktivátorů, výrazně se sníží náklady na antioxidanty. Množství stabilizátorů může být sníženo o zhruba 30–50 %, což je cenově velmi výhodné [13].

2.1.3 INHIBITORY KOROZE

Při přepravě paliva se můžeme setkat s korozi ocelového potrubí, nicméně riziko koroze se vyskytuje i ve skladovacích prostorách. Na tento problém se používají inhibitory koroze, které se přidávají do paliv a na stěně potrubí pak vytvoří ochranný film [6]. Za korozi stojí kontaminace paliva vodou, v případě směsi benzínu s kyslíkem to mohou být i kyselá nečistoty v okysličovadle [14]. Aditiva, která se používají jako inhibitory koroze jsou dimer, trimer a alkyl-jantarové kyseliny (*alkyl succinic acids*), dále pak i dusičnan sodný a hydroxid sodný [6].

Trend dnešní doby je však ustupovat od tohoto druhu aditiv a místo nich se bránit před korozi jak čistotou paliva, tak i celého distribučního systému. Toto bylo unáhleno problémy u

naftových vstřikovačů, kde se začaly vyskytovat usazeniny spojené s používáním některých inhibitorů kyseliny alkyl-jantarové a sodných sloučenin [6].

Mělo by se také podotknout, že stopovou kontaminaci vodou vyloučit nelze. Vlhkost s kyslíkem napadá kovy v potrubích, skladovacích prostorách, tankerech a také i v palivovém systému automobilu, kde koroze zanáší palivový filtr i vstřikovače [5].

Klasický automobilový benzín korozi nezpůsobuje. Zároveň ale nedokáže chránit palivovou soustavu, která může být vystavena riziku koroze způsobené přítomností vody. Voda se může vyloučit při nižší venkovní teplotě, pokud jsou v benzínu obsaženy alkoholy. V současnosti je však nařízeno normou EN228, aby automobilový benzín obsahoval inhibitory koroze, pokud se venkovní teploty výrazněji sníží [3].

Motorová nafta odlučuje vodu daleko pomaleji, zvláště když je smíchána s MEŘO. Vlhkost tohoto paliva je tedy častější. Tak jako to bylo u benzínu, i zde palivo neochrání palivový systém před korozi, a tak se opět musí přidávat inhibitory koroze. Tato aditiva vyžadují hlavně vysokotlaké diesellové systémy, které jsou na korozi náchylné [3].



Obr. 4 Vstřikovače diesellových systémů [15]

Velmi účinná aditiva proti korozi jsou karboxylové, sulfonové a fosforečné kyseliny s vysokou molekulovou hmotností a aminy. Po rozpuštění v palivu vytváří na kovu ochranný film, který zabraňuje kontaktu vody s kovem [5].

Koroze se u bionafty vyskytuje více než u klasické nafty. Tento problém právě zaznamenávají motory CI, kde kvůli bionaftě korodují části palivového systému. Rychlost korodování závisí na teplotě, mikrobiálním růstu, obsahu vody a dalších vlivech. Doposud bylo zjištěno, že na zpomalení koroze v bionaftě platí přísady ethylendiamin či terc-butylamin [16].

Inhibitory koroze se musí používat v malém množství, aby se předešlo jejich negativním vlivům, jako je vytvoření pryskyřice či emulgace vody. V neposlední řadě jde také o co nejmenší náklady na úpravu paliva [14].

2.1.4 DETERGENTNÍ ADITIVA (DD)

Aditiva, co se přidávají do paliv za účelem redukce usazenin či jejich vzniku v motorech se nazývají detergentní aditiva, anglicky často psaná jako „*Detergent Dispersants*“ (DD) [5, 17]. Důležitost těchto aditiv je opravdu velká, neboť tato aditiva tvoří 40–50 % všech používaných palivových přísad [5]. Správná volba přísad je schopna eliminovat všechny typy usazenin [18]. Detergentní přísady bojují s usazeninami, které se u vznětových motorů vytváří hlavně na vstříkovačích. Úsady se tvoří i na sacích ventilech a také ve spalovací komoře, a to hlavně u zážehových motorů [5, 6]. Usazeniny v motorech jsou podrobněji popsány níže.

Detergentních přísad je pro paliva opravdu mnoho a prošla si spolu s vývojem a novými technologiemi dávkování paliva velkými změnami v jejich používání [5, 6]. Pro automobilový benzín jsou to například deriváty kyseliny jantarové, polyolefiny (PIB)-aminy a jejich deriváty, polyether-aminy, amidy mastných kyselin apod. [5].

Pro vznětové motory jsou DD aditiva podobné jako u zážehových motorů. Obvykle se používají deriváty kyseliny polyalkenyl-jantarové, sloučeniny na bázi Mannichovy reakce a také některé bezpopelové polymerní sloučeniny. Používají se často v dávkách 100–500 ppm ve směsi s dalšími aditivami, jako jsou například antioxidanty, inhibitory koroze atd. [5]. Problém u DD aditiv pro dieselové palivo je, že některé přísady nejsou kompatibilní s methylestery mastných kyselin a tvoří se sraženiny vylučující se jako usazeniny. To je samozřejmě důležité zvážit při aditivaci nafty, která obsahuje do 5 % MEŘO a užít tak jiné DD aditivum, které bude kompatibilní. Je nutné podotknout, že kompatibilita detergentních aditiv s přísadami v motorovém oleji je taktéž důležitá [3].

Účinku detergentních aditiv se bude věnovat kapitola o usazeninách ve spalovacích motorech.

2.1.5 MAZIVOSTNÍ ADITIVA A MODIFIKÁTORY TŘENÍ

Tření ve spalovacích motorech je velmi negativním jevem, jenž způsobuje ztrátu energie motoru a také způsobuje opotřebení jednotlivých komponent motoru. Proto je důležité tento problém řešit.

Části motoru, jako je palivové čerpadlo naftového agregátu, se často musí ze svého principu spoléhat na mazivost samotného paliva [5, 9]. Kvůli problémům se třením a nedostatečným mazáním jednotlivých součástí se používají přísady zvyšující mazivost. Mechanismus funkce těchto aditiv bude uveden v kapitole o opotřebení a životnosti komponent motorů.

Jako modifikátory tření a mazivostní přísady se nejčastěji používají estery mastných a karboxylových kyselin, konkrétně nejvíce glycerol monooleát a amid mastné kyseliny v dávkách od 50 do 300 ppm. Používají se i přídavky MEŘO či jiných rostlinných olejů. [3, 5, 10]. Tato aditiva se přidávají do paliva jako samostatná přísada či v kombinaci s DD aditivami, což zvýší účinnost paliva bez vzniku usazenin [5]. Samozřejmostí je fakt, že přísady snižující tření mohou být použity, pokud se prokáže, že nemají žádné škodlivé vlivy, jako je například vytváření usazenin na sacích ventilech a ve spalovací komoře, lepení ventilů při nízkých teplotách apod. [10].

Účinek modifikátorů tření a mazivostních aditiv bude popsán v kapitole o opotřebení a životnosti komponent spalovacích motorů.

2.2 ADITIVA PRO AUTOMOBILOVÝ BENZÍN

2.2.1 ADITIVA ZVYŠUJÍCÍ OKTANOVÉ ČÍSLO (ANTIDETONAČNÍ ADITIVA)

Antidetonační aditiva jsou přísady, které se přidávají do benzínu za účelem eliminace tzv. klepání motoru, které bylo zmíněno dříve. Jedná se o jev spalování, kdy směs paliva a vzduchu hoří nerovnoměrně. Dochází tím k detonačnímu spalování [5]. Tlaková vlna, jež je vyvolána detonačním spalováním, prochází spalovacím prostorem rychlostí zvuku. Po dopadu na stěny válce a píst vznikají rázy, což se projevuje hlukem, tzv. klepáním motoru [1]. Toto klepání motoru může poškodit i kompletně celý motor [5, 19].

Odolnost paliva vůči detonačnímu spalování vyjadřuje oktanové číslo [2]. Izooktan (trimetal pentanový), jenž je extrémně odolný proti klepání, má určené oktanové číslo 100. Na druhou stranu n-heptan je velice náchylný na klepání, a tudíž má přiřazené oktan. číslo 0 [4]. Oktanové číslo vyjadřuje procentuální podíl izooktanu a n-heptanu ve směsi, která má identickou odolnost vůči detonacím jako testované palivo [1].

Nároky současných zážehových motorů jsou vysoké a oktanové číslo čistých benzínů jim nevyhovuje. To je řešeno antidetonačními přísadami, které mají oktanové číslo vyšší než 100 [2].

Jak již bylo uvedeno výše, prvními přísadami pro zvýšení oktanového čísla byly olovnaté sloučeniny. Již v roce 1920 použil Thomas Midgley tetraetylolovo (TEO). Poté se začalo používat i tetrametylolovo (TMO) a jejich kombinace. Toto bylo sedmdesát let nejlevnějším prostředkem na zvýšení oktanového čísla benzínů [3]. Výhody olovnatého benzínu pramení z vyššího energetického obsahu a lepší stability při skladování, což vedlo k přechodu na olovnaté palivo. Jednou z největších výhod olovnatých sloučenin je jejich nízká koncentrace dávkování, typicky 1 díl na 1260 dílů benzínu. Biologické vlastnosti těchto sloučenin také pomohly bránit degradaci paliva v důsledku tvoření bakterií [5].

Nadměrné množství olova v benzínu způsobovalo tvoření usazenin na zapalovacích svíčkách i ve spalovacím prostoru. Proto se musely začít přidávat ještě tzv. vynašeče, které po spálení vytvořily těkavé halogenidy olova. Jednalo se například o dichloreťan či dibrometan. Většina olova poté odcházela ve formě plyných halogenidů, bromidu a chloridu ze spalovacího prostoru ven [3]. Použití sloučenin olova v palivu však způsobuje znečištění životního prostředí [20]. Právě kvůli obavám o znečištění ovzduší a půdy olovem a kumulativní neurotoxicitě olova došlo k zákazu používání olovnatých sloučenin na konci 20. století a k jeho nahrazení jinými přísadami [5]. Existují i jiné organokovové sloučeniny zvyšující oktanové číslo, jako je například pentakarbonyl železa, ale z důvodu toxicity, ceny a nežádoucích účinků se v praxi neuplatnily [5].

Po vyřazení organokovových přísad se staly hlavními aditivami na zvyšování oktanového čísla látky etherického původu a alkoholy [2, 21]. Typickým příkladem může být etanol, jenž má vyšší oktanové číslo, umožňuje vyšší kompresní poměr a kratší dobu hoření směsi. Na druhou stranu však negativně přispívá ke korozi a má nižší energetickou výhřevnost než čistý benzín. Další přísadou je metanol, vysoce oktanový komponent, který také zvyšuje oktanové číslo, ale může být příčinou špatného startování motoru v chladných měsících [20].

2.2.2 ADITIVA PROTI ZAMRZÁNÍ VODY

Odloučená voda u dna nádrže na skladování pohonných hmot či v palivových potrubích při nízkých teplotách zamrzá a vytváří se ledové krystalky, které začnou ucpávat palivový filtr i potrubí. Tím se průtok paliva zmenší a může se zastavit spalovací motor [3, 5]. Dříve se proti zamrznutí vody používaly alkoholy s malou molekulovou hmotností či glykoly. Do automobilového benzínu se používají přísady, jako je metanol, líh, aceton a jiné ketony [5]. Tato aditiva zabraňují tuhnutí vody tím, že s vodou vytvoří nemrznoucí směs. Dá se použít i přídavek povrchově aktivních látek, které zabrání ledu, aby se nemohl uchytit u motorů s karburátorem na vnitřních plochách karburátoru. U nafty je použití přísad na bázi alkoholů a ketonů komplikované, jelikož hrozí riziko koroze [3].

2.3 ADITIVA PRO MOTOROVOU NAFTU

2.3.1 ADITIVA ZVYŠUJÍCÍ CETANOVÉ ČÍSLO

Jak už název napovídá, tato aditiva jsou do motorové nafty přidávána za účelem zvýšení cetanového čísla paliva. Výše bylo uvedeno, že cetanové číslo udává, jak rychle se palivo po vstříknutí do válce začne spalovat [5]. Cetanové zlepšovače se starají o lepší zapálení paliva, a sice včasné a jednotné vznícení nafty [5, 7]. Zároveň zabraňují předčasnému spalování a nadměrné kompresi ve spalovacím cyklu. Spalování paliva je díky těmto přísadám hladší a zvyšuje se účinnost celého agregátu [5].

Vyšší cetanové číslo snižuje nežádoucí škodlivé látky pro životní prostředí, jako je CO (oxid uhelnatý) a NO_x (oxidy dusíku) [7, 22]. Nižší cetanové číslo má za následek špatné startování motoru hlavně v chladných měsících, dále se vyskytuje výrazný bílý kouř, vyšší hlučnost motoru, vyšší spotřeba a vyšší emise [23].

Požadavky na vyšší cetanové číslo pořád stoupají. Hlavním důvodem jsou stále přísnější emisní limity diesellových motorů. V současnosti se hodnoty pohybují lehce přes 50, ale do budoucna je výhled, že bude cetanové číslo nejméně 56. Zároveň se budou v následujících časech více používat aditiva pro zvýšení cetan. čísla, jelikož procesní způsob, jako je dearomatizace, je velmi náročný [3].

Prísady na zvýšení cetan. čísla jsou dvou typů, a to nitráty a peroxidy. Jsou to silná oxidační činidla, která při rozkladu vytváří volné radikály. Ty poté nastartují oxidační reakce, jež předcházejí vznícení. Díky tomu se prodleva zapálení paliva snižuje. Ze skupiny nitrátů je známá sloučenina 2-etylhexylnitrát (dodecyl-nitrát), která zvýší cetanové číslo za přiměřené náklady. Dávky do 0,3 % jsou velice efektivní, nad tuto hranici ale daleko méně. Účinnost závisí na hodnotě cetanového čísla čisté nafty, tj. na uhlovodíkovém složení [3]. Ze skupiny peroxidů se používá například terciární butylperoxid [9]. Nicméně směsi peroxidů s naftou jsou nestálé a také jsou drahé ve srovnání s jejich účinností. Důležitým zjištěním je jejich kompatibilita s nitráty, a to se do budoucna může efektivně využít [3].

Další skupinou úspěšných nitrátů jsou polyalkohol mono-nitráty či di-nitráty. Pro příklad lze uvést trietylenglykoldinitrát. Jejich nevýhodou je vyšší cena, a proto se používají pouze pro zvláštní účely. Jde například o aditivaci lihu a metanolu, ve kterých se dobře rozpouštějí. Cetanové číslo mohou zvýšit z 5 jednotek až na 40 (i více). To umožňuje, aby zmíněné alkoholy (chovající se při spalování jako vysokooktanové benzíny) byly použitelné jako palivo pro diesellové agregáty [3].

2.3.2 ADITIVA ZLEPŠUJÍCÍ VLASTNOSTI PALIV ZA STUDENA

Kvalita motorové nafty prošla velkou změnou. Došlo k drastickému snížení obsahu síry, aromatických látek a olefinů. Kvůli tomu je změněna rozpustnost parafinů [5]. Nafta obsahuje přírodní parafinické molekuly destilované ze surové ropy. Zdroj, zpracování ropy a její chemické složení určuje koncentraci a rozložení těchto nasycených molekul s přímým řetězcem. Parafiny s vyšší molekul. hmotností mají omezenou rozpustnost v naftě. Při ochlazení k bodu zákalu (CP) se vytvoří sraženiny v podobě voskových krystalů [6]. Jak bylo uvedeno na začátku, při dalším ochlazení přestane palivo proudit, jelikož krystaly ucpou palivový filtr, a to může být převažující část paliva stále kapalná [24]. Tento problém řeší aditiva zlepšující vlastnosti paliv za studena, také označována jako modifikátory krystalické struktury parafinů [6].

Tyto přísady lze rozdělit do dvou kategorií, a to přísady snižující bod tání PP (*pour point depressants*) a provozní přísady (*operability additives*). První z nich se užívají, aby motorová nafta zůstala v kapalném přepravitelném stavu. Krystaly jsou menší, ale ne až tak malé, aby prošly pal. filtrem. Jde pouze o přepravu nafty [6]. Tato aditiva jsou například polymethylakryláty, různé kopolymery, alkylované polystyrény, polyolefiny apod. [5]. Druhá kategorie aditiv zmenšuje krystaly do takové míry, aby prošly filtrem. Jsou přidávány v daleko větších dávkách (100 až 500 ppm) [6].

Modifikátory krystalické struktury parafinů zapříčiní to, že se vytvoří krystaly menší v tom smyslu, že nejsou tolik plošného charakteru, ale modifikují se do krychlové soustavy. Díky tomu tak snadno neucpávají palivový filtr [3]. Modifikátory zabrání tuhosti motorové nafty i dokonce několik stupňů pod bodem mrazu [25].

Nevýhodou těchto aditiv je, že vysrážené krystaly parafinu kvůli své vyšší hustotě klesají ke dnu skladovací nádrže [24, 25]. Kvůli tomu se v horní části nádoby vytvoří homogenní nízká parafinová fáze a ve spodní části dvoufázová vrstva bohatá na parafiny [25].

Kromě těchto přísad existují ještě aditiva WASA (*Wax AntiSettling Additive*), která sice neovlivní tvorbu parafinů při nízkých teplotách, ale vytváří tak malé krystalky, že se v dolní vrstvě nádrže neusazují. Tím se potlačuje vytváření spodní vrstvy, kde jsou parafiny [3, 26]. Jde například o kopolymery etylenu a vinylacetátu. Tato aditiva snižují PP a CFPP, ale neovlivňují CP [3].



Obr. 5 Palivový filtr obalený parafíny [27]

2.3.3 BIOCIDY

Hydro-úprava nafty a zvýšené používání bionafty jsou důsledkem toho, že je nafta biologicky rozložitelnější. I automobilový benzín je kvůli odstranění tetraetylova citlivější na napadání živými organismy [28]. Mikrobiální filmy, které vznikají na rozhraní paliva a vody v prostorách pro skladování, snižují kvalitu paliva, a tudíž zvětšují ekonomické i ekologické ztráty [29]. Při množení mikroorganismů, jimiž jsou bakterie i houby, vznikají vedlejší organické produkty. Ty začnou urychlovat proces koroze palivových nádrží [5]. Studie z USA odhaduje roční škody způsobené korozi, zapříčiněnou mikroorganismy, ve spojených státech na zhruba 3,5 miliard dolarů [28]. Kvůli mikroorganismům může docházet i k ucpání palivového systému, a tím se zhorší či přeruší dodávka paliva do motoru [5]. Problémy jsou známy i z leteckého průmyslu, kdy masivní kontaminace mikroorganismy způsobila úplnou blokadu palivového filtru a došlo k havárii motoru [30].

Mikrobiologická kontaminace většinou souvisí právě s tvorbou biofilmu mezi vodou a palivem, který vzniká u dna skladovacích nádrží. Nejběžnější způsob, jak zabránit mikroorganismům znehodnotit palivo, je odstranit vodu. To je ale dost obtížné a nákladné, a tak se využívají biocidy, které zamezují bakteriím se množit nebo je přímo usmrcují [28].

Biocidy můžeme rozdělit na dvě skupiny, podle použití. První se přidávají do paliva a jde například o cyklické aminy, imidazolin a chinolin. Ty druhé se přidávají přímo do vodní vrstvy na dně nádrže. Jsou to aditiva na bázi formaldehydu a aplikují se v množství až do 400 ppm. V našem klimatu není téměř žádné nebezpečí tvoření mikroorganismů v naftě, a proto se tato aditiva skoro nepoužívají. Horší je to v případě míchaní nafty s bionaftou. MERO bohužel poskytuje lepší podmínky pro život mikroorganismů [3].

Důležité je zmínit, že výše uvedená i další aditiva (ke zlepšení vlastností nafty) podle výzkumů množení bakterií vůbec nepodporují [31].

2.3.4 DEEMULGÁTORY

Běžně se stává, že se paliva při skladování nebo přepravě znečistí stopovým množstvím vody. Přítomnost vody v palivu má velmi negativní vlastnosti. Jednak se snižuje účinnost paliva, ale hlavně přispívá k tvorbě usazenin a koroze v palivovém systému motoru [32]. Voda v bionaftě výrazně ovlivňuje její vlastnosti, jelikož dochází k degradaci esterů hydrolýzou. Tím se změní složení a vlastnosti paliva [12]. Do paliva se tak přidává malé množství (asi 10 ppm) přísad zvaných deemulgátory, které demulzifikací (opačný jev k emulzi) separují vodu od paliva [3, 5] a umožní její odstranění například v odhlučovači [26]. Deemulgátory jsou například alkyloxypolyglykoly a arylsulfonáty [3].

2.3.5 DALŠÍ TYPY ADITIV

Typů přísad do paliv je samozřejmě daleko více. Některá aditiva jsou přidávána do paliv i za jinými účely, než je správný chod motoru, jeho startování či životnost. V tomto odstavci si pro představu uvedeme i některá další, speciální aditiva.

ANTISTATICKÁ ADITIVA

Jde o přísady, které se přidávají do motorové nafty. Dříve byly koncentrace síry v palivu vysoké, a proto dokázaly poskytnout velkou vnitřní elektrickou vodivost [6]. Postupným odsiřováním paliva kvůli negativnímu vlivu na životní prostředí a části motoru se ztratila mazivost a vodivost, což zapříčiní možné riziko nárůstu statických nábojů [6, 33]. Ke statickému nabití může dojít např. při přepravě paliva. Oddělení náboje může vést k výboji jisker, jež zapálí výpary z paliva a dojde k požáru nebo výbuchu [3, 5, 6, 33]. Proto se přidávají antistatická aditiva, která elektrickou vodivost paliva zvýší. Jako přísady se používají například sloučeniny na bázi chromu [3, 21]. Do benzínu se antistatická aditiva nepřidávají, jelikož jejich těkavost je natolik vysoká, že koncentrace výparů se pohybuje vždy nad horní hranicí výbušnosti [3].

PROTIPĚNIVOSTNÍ ADITIVA

Při tankování paliva se může vytvářet pěna, která zaplňuje nádrž. U osobních automobilů může relativně malá nádrž a potrubí o malém průměru způsobit přelití nádrže penou [5]. Největším důvodem, proč začaly firmy používat tyto přísady, byly ekonomické ztráty. Prodejcům automobilových paliv došlo, že kvůli pění paliva nenatankuje zákazník úplně plnou nádrž [3]. Existuje i další důvod, proč jsou tyto přísady používány. Dospělo se k tomu, že pění paliva může způsobit nedostatečné mazání či špatné spalování. Následkem je pak menší životnost agregátu nebo zvýšení spotřeby paliva [34]. Důležité je poznamenat, že některé typy aditiv pění paliv ještě zvyšují. Z důvodu pění jsou přidávány přísady, jako jsou silikonové oleje, oxid křemičitý a polyethery [3, 5]. Navrhuje se používání i kvartérních amoniových solí [35].

BARVIVA A ZNAČKOVAČE

Barviva se do paliv přidávají k odlišení výrobků se stejnou aplikací, ale jinými vlastnostmi a kvalitou [5]. Příkladem mohou být prémiová paliva čerpacích stanic, které mají svůj originální název a na nadstandardní kvalitu upozorňují i svým jiným zbarvením. Jako červené barvivo se používají azosloučeniny v koncentraci cca 10 ppm [3]. Kromě barviv se používají i značkovače, které jsou na rozdíl od barviv neviditelné. Barvu ukáží až po kontaktu s jiným činidlem [5]. To může být užitečné, když firmy kontrolují své zaměstnance v krádeži jejich paliva. Jako značkovače se používají sloučeniny difenylamin (koncentrace cca 50 ppm) a furfural (koncentrace cca 10 ppm) [3]. Musíme podotknout, že barviva a značkovače nesmí měnit vlastnosti paliva [5].

3 USAZENINY VE SPALOVACÍCH MOTORECH

Vznětové motory v současnosti disponují přímým (DI) či nepřímým (IDI) vstřikováním paliva, přičemž agregáty s DI mají větší účinnost. U naftových motorů je palivo vstřikováno do horkého stlačeného vzduchu, kde se samo vznítí. Aby bylo spalování co nejúčinnější a emise výfukových plynů co nejnižší, je potřeba správného poměru paliva a vzduchu. Přesnou dávku paliva zajišťují vstřikovače, které ze své podstaty vyžadují velmi přesnou konstrukci a výrobu. Poté mohou zajistit požadovaný rozptyl a tlak paliva nutný k dostatečnému promísení paliva se vzduchem, což zajistí plynulé spalování. Z tohoto důvodu je čistý vstřikovač rozhodující komponent pro efektivní provoz vznětového motoru [5]. Se zpřísňujícími emisními limity bylo nutné neustále optimalizovat a zlepšovat konstrukci vstřikovačů, což vedlo k lepší kvalitě vstřikování, ale o to větší náchylnosti na zanášení vstřikovačů úsadami. To vede nejen ke zhoršení výkonu, ale i k větším emisím a spotřebě paliva [6, 17, 21]. Novější diesellové vstřikovací systémy Common-Rail jsou přesně vyrobené a netolerují sebemenší množství nečistot, usazenin či částic souvisejících s korozí [21]. Veškeré usazeniny na špičce vstřikovače, jež je v kontaktu se spalovacím prostorem, tak ovlivňují zásadním způsobem výkon vstřikovače, a tím i výkon celého motoru [5, 17].



Obr. 6 Usazeniny na špičce diesellového vstřikovače [6]



Obr. 7 Pohled zblízka na otvor trysky vstřikovače [6]

Během chodu motoru se vytvářejí úsady i v benzínových motorech. Žádný stupeň zpracování paliv v rafinériích nemůže zcela eliminovat vytváření úsad v motorech. Tvorba usazenin v motorech je jedním z největších problémů, který souvisí s jízdou, spotřebou paliva, emisemi i životností motoru [36]. Usazeniny v motoru zvyšují poměr paliva ke vzduchu ve směsi. Tím pak roste množství nespálených uhlovodíků a oxidu uhelnatého ve výfukových plynech [5].

Usazeniny lze rozdělit dle místa jejich nejčastějšího výskytu na tři druhy: usazeniny ve spalovací komoře (CCD), usazeniny ve vstřikovacích systémech DI a usazeniny na sacích ventilech (IVD) [5]. Všechny tyto typy usazenin jsou podrobněji popsány níže.

3.1 CO ZPŮSOBUJE USAZENINY

Úsady se ve spalovacích motorech vytváří z paliva, ale i dalších látek. Usazeniny mohou pocházet z organických látek, které se dostávají do systému sání kvůli plynům z odvětrávání klikové skříně. Dále se vytvářejí z nepatrného množství motorového oleje, který se dostává mezi vodítkem sacího ventilu a jeho dříkem. Tvoří se také z produktů oxidace a krakování pohonných hmot. V neposlední řadě vznikají i z prachu, který nepochytil vzduchový filtr [3, 17].

Usazeniny na vstřikovačích dieselových motorů byly často přičítány různým složkám motorové nafty. Mezi ně patří například sodné karboxylové soli, kterými je nafta kontaminována v důsledku degradace detergentních aditiv (konkrétně polyisobutylenu sukcinimidu) či některých inhibitorů koroze potrubí [21]. Tento typ usazenin vznikající reakcí sodíku lze popsat jako krystalickou bílou úsadu (viz obr. 8) [6].



Obr. 8 Usazeniny sodíku na jehle naftového vstřikovače [6]

3.1.1 DUSITAN SODNÝ – INHIBITOR KOROZE

Průzkum ve Francii zjistil, že inhibitor koroze na bázi dusitanu sodného, jenž je používán ve francouzských potrubích od padesátých let minulého století, byl potenciálním zdrojem sodíku motorové nafty ve Francii. Další průzkumy nafty, které se provedly v celé Evropě, potvrdily vyšší obsah sodíku ve francouzské naftě, a to 0,3–0,5 ppm oproti zbytku Evropy, kde bylo méně než 0,1 ppm. Je předpokládáno, že kvůli tomuto inhibitoru koroze se v reakci s palivem vytvořilo karboxylátové sodné mýdlo [37]. Dusitan sodný, přidávaný do paliva jako inhibitor koroze (a další aditiva na bázi kovu), zanáší vstřikovače moderních spalovacích motorů usazeninami, což je absolutně nežádoucí [21, 37].

3.1.2 ZINEK (ZN)

I zinek může významným způsobem přispět k tvorbě úsad, které se hromadí ve vstřikovacích otvorech a zanášejí trysky [21]. Uvádí se, že i velmi malé množství tohoto kovu (asi 1 ppm) zvyšuje vytváření úsad v motorech [17, 21]. Z dalších výzkumů vyplývá, že zinek může vytvářet usazeniny ve formě oxidu zinečnatého, či působit jako katalyzátor při vzniku usazenin z jiných látek [17].

Dalšími látkami, které způsobují problémy jsou sodné či organické kyseliny. Usazeniny vznikající reakcí kyselin jsou ale jiného charakteru – jsou spíše lepkavé. Při kontaminaci paliva těmito látkami tak dochází k problémům s lepením vstřikovačů [37].

3.1.3 BIONAFTA

Bionafta také zvyšuje tvorbu usazenin [17]. Je to z důvodu její nestabilní povahy a přítomnosti drobné koncentrace kovů, solí a dalších nežádoucích látek vznikajících při výrobě bionafty. Při zpracování bionafty se používá například hydroxid sodný či hydroxid draselný, z nichž poté zůstává nepatrné množství sodíku či draslíku v již hotové bionaftě [5, 21]. Jelikož má bionafta jiné chemické složení než motorová nafta, odlišuje se i chemické složení samotných usazenin, které znečišťují vstřikovače. Z průzkumu plyne, že úsady vytvořené B10 (10 % bionafty a zbylá část směsi motor. nafta) obsahují větší podíl kyslíku než usazeniny čisté motor. nafty [17]. To je důvodem, proč se aditivace proti vzniku usazenin u tohoto paliva odlišuje.

3.1.4 DALŠÍ FAKTORY

Konstrukce a parametry spalovacího motoru, složení automobilových paliv a provozní podmínky motoru jsou všechno faktory, které značným způsobem ovlivňují tvorbu úsad [36]. Paliva produkují usazeniny, které pochází hlavně z neúplného spalování paliva a také zde hraje roli jeho kontaminace a degradace [5, 36]. Nejdůležitější vlastností při tvorbě usazenin je bod varu a nejkritičtějšími složkami paliva při tvorbě úsad jsou složky s nejvyšším bodem varu (aromatické uhlovodíky hodně náchylné, méně náchylné jsou olefiny a nejméně náchylné jsou parafiny) [36]. Dokonalé spalování paliva bohužel možné není, a tak vznikají produkty bohaté na uhlík, vodík, kyslík nebo síru. Mají polární povahu a navzájem se přitahují a vytvářejí větší objekty [5]. Vyšší obsah síry může tedy také vést k tvorbě úsad [38].

Dalším z faktorů, jenž ovlivňuje tvorbu úsad, je povrchová teplota. Ta se mění s nárůstem usazenin, které fungují jako izolant. Během provozu motoru se teplota mění ve velkém rozmezí. Například vlivem spalování může být ve spalovací komoře v danou chvíli i 1700 °C, ale zároveň ve chladnějších místech jen 120 °C. Na povrchu sacích ventilů je to cca 150–230 °C a u výfukových ventilů přes 800 °C. Usazeniny mají v různých místech jiné fyzikální a chemické vlastnosti, a proto se množství úsad na různých místech odlišuje [36].

Některé mazivostní přísady, které se přidávají do paliv, bohužel mohou rovněž přispívat k tvorbě usazenin. Úsady totiž často obsahují malá množství látek Ca, Zn a Mg odvozených z mazivostních aditiv, jejichž vliv na tvorbu usazenin je již popsán výše [36].

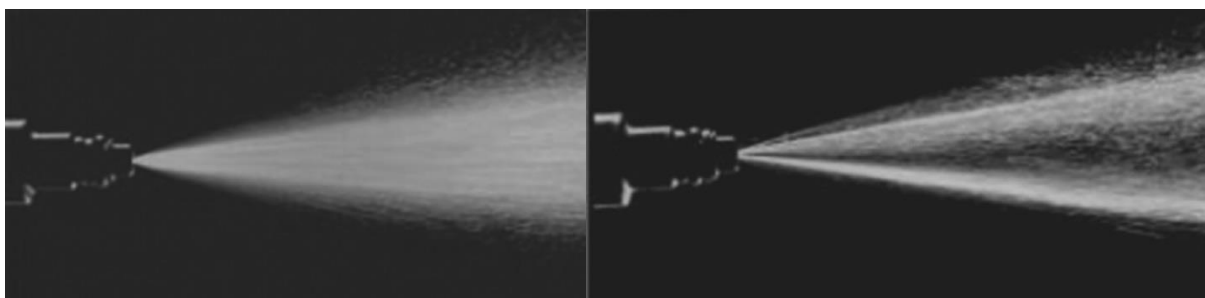
Samozřejmostí je, že ovlivnění vzniku či množství usazenin v motorech je velmi znatelné právě detergentními aditivami. Nicméně i špatné složení těchto aditiv může problém usazenin spíše zvětšovat než redukovat. Problémem se může stát tzv. nosný olej. Tento olej působí jako rozpouštědlo pro detergenty a pomáhá s odstraňováním úsad. Nejčastěji je jako nosný olej užíván minerální, syntetický či polosyntetický olej [5]. Z testů DD aditiv bylo zjištěno, že dávky aditiv s minerálním nosným olejem kolem 1000 ppm, které měly být pro odstranění usazenin IVD účinné, vedly paradoxně k rychlejší a větší tvorbě usazenin CCD. Zjistilo se, že problémem je onen minerální olej, jehož komponenty mají vyšší teploty bodu varu ve srovnání se základními komponenty paliva, což způsobilo nárůst úsad v motoru [36]. V devadesátých

letech byl minerální olej vyřazen a nahrazen aditivou na syntetické bázi (polyolefiny, alifatické polyethery apod. [5]) [6]. Složení některých detergentů ale stále nemusí být ještě dnes optimální a mohou obsahovat množství látek s vyšší teplotou bodu varu, které mohou ovlivňovat vznik usazenin v CCD. Velké množství detergentů převyšující optimalizovanou dávku DD, která se pohybuje mezi 400 až 1000 ppm dle typu použitého detergentu, může urychlovat tvorbu usazenin ve spalovací komoře [38]. Zároveň je prokázáno, že vyšší než doporučené dávkování (do 1000 ppm), ve většině případů už nemá smysl, jelikož nebude více účinné [3]. Proto je nezbytné přesně dodržovat předepsané dávkování těchto aditiv.

3.2 USAZENINY NA VSTŘIKOVAČÍCH

Způsob dodávky paliva do spalovacího prostoru prošel velkým vývojem. Původní karburátor byl u benzínových motorů nahrazen buď nepřímým nebo i novějším přímým vstřikováním paliva, kde je konec vstřikovače přímo v kontaktu se spalovací komorou a mohou se zde tvořit úsady [5]. U naftových motorů (např. Common-Rail či PD) jsou úsady na vstřikovačích ještě častější. Jelikož musí vstřikovače monitorovat a dodávat přesné množství paliva, je udržování jejich čistoty naprosto nezbytné [5, 6].

Jak již bylo výše řečeno, usazeniny na špičkách či uvnitř vstřikovačů mohou způsobit velké problémy [6, 37]. Úsady v otvorech pro vstřikování snižují hydraulický průměr, a tím samozřejmě průtok paliva tryskami. Tím se snižuje množství vstřikovaného paliva a kvalita vstřiku [17]. Úsady tak mohou způsobovat destruktivní změny vzorce vstřikování – např. změnu úhlu rozstříku, asymetrický vzorec rozprašení, prodlouženou dobu pronikání či větší průměr kapek [38]. Usazeniny se většinou shromažďují na pohyblivých součástech v drobných otvorech (cca 0,5 mm), jako je konec jehly vstřikovače, kde zabraňují toku paliva a mění tvar rozstříku. Pro představu, hmotnost 10 mg úsad má za následek zmenšení vstřikované dávky až o 25 % [3].



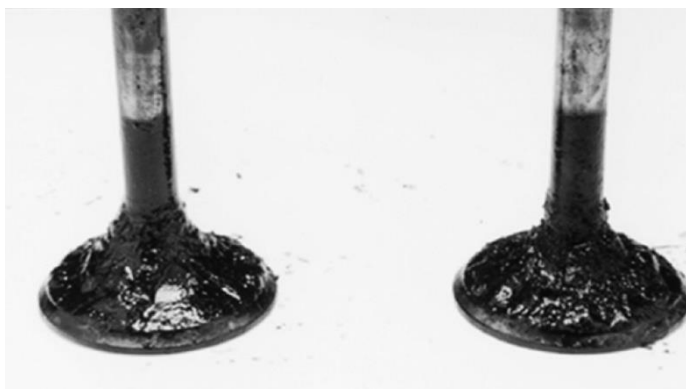
Obr. 9 Porovnání správného (vlevo) a špatného (vpravo) rozstříku paliva vstřikovačem [5]

Vlivem usazenin na vstřikovači také může docházet ke špatnému míchání paliva se vzduchem [6]. Pro správnou směs paliva se vzduchem jsou usazeniny velmi nežádoucí a způsobují vyšší emise, nižší výkon, vyšší spotřebu a s tím související zhoršenou ovladatelnost celého vozidla [38]. Usazeniny mohou způsobit zpomalenou odezvu ovládacího ventilu, kdy se jednotlivé komponenty lepí a zasekávají nebo uvíznou v jedné poloze [5, 6]. Toto vede například k hrubému chodu motoru, ztrátě výkonu nebo dokonce k selhání motoru [5, 6, 17]. Aby motory fungovaly i po delší době provozu, výrobci s určitým množstvím usazenin počítají a motory kalibrují. Uvádí se, že zmenšení průtoku paliva v rozmezí 50–75 % je optimální [6]. Nicméně ani na takovou kalibraci nelze spoléhat a je nutné paliva obohatit o detergentní aditiva, která problém s usazeninami řeší.

3.3 USAZENINY NA SACÍCH VENTILECH (IVD)

Úsady, které se vytvářejí na sacích ventilech (IVD) mohou měnit poměr paliva a vzduchu a jsou typické pro zážehové motory [5]. Tyto usazeniny mohou ovlivňovat jak otevírání ventilů, tak i plochu vstupního traktu, což zmenšuje objemovou účinnost motoru. To má za následek špatný start motoru, jeho hrubý chod, zpožděnou reakci při akceleraci i zvýšenou spotřebu [3, 36]. Usazeniny zvyšují riziko poruchy ventilů kvůli nesprávnému spalování a jejich pozici. Při rozpadnutí většího množství úsad mohou kusy usazenin vstoupit do spalovací komory a pak se například poškodí píst, pístní kroužky, hlava motoru apod. [5].

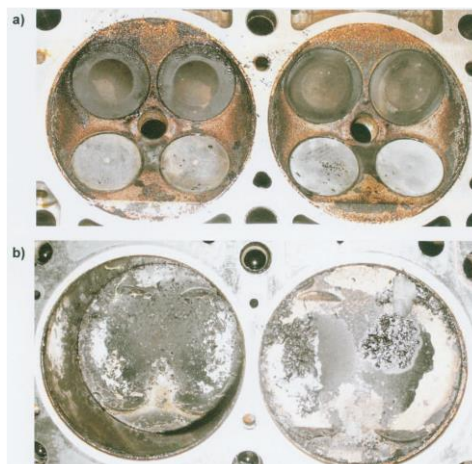
Usazeniny se zde tvoří zejména na hlavě ventilu a přiléhající části dříku. Jejich hmotnost se pohybuje okolo 1 g, ale může být i větší. Usazeniny mimo výše uvedených věcí ovlivňují i turbulenci směsi paliva, a to mění rychlost spalování. Z uvedeného vyplývá, že udržování čistoty sacích ventilů má velkou váhu pro dobrý výkon a spotřebu paliva [3].



Obr. 10 Usazeniny na sacích ventilech bez detergentních aditiv [5]

3.4 USAZENINY VE SPALOVACÍ KOMOŘE (CCD)

Všechny zážehové motory jsou náchylné k tvorbě úsad i přímo ve spalovacím prostoru. Je to především kvůli kondenzaci částečně oxidovaných a tepelně degradovaných složek paliva na studeném povrchu. Usazeniny CCD zmenšují prostor pro spalování, a to se projevuje celkovým snížením výkonu motoru [36] a zvýšením kompresního poměru vedoucí ke klepání motoru nebo k opotřebení jednotlivých komponent (písty, ložiska apod.) [5, 36].



Obr. 11 Usazeniny ve spalovací komoře [36]

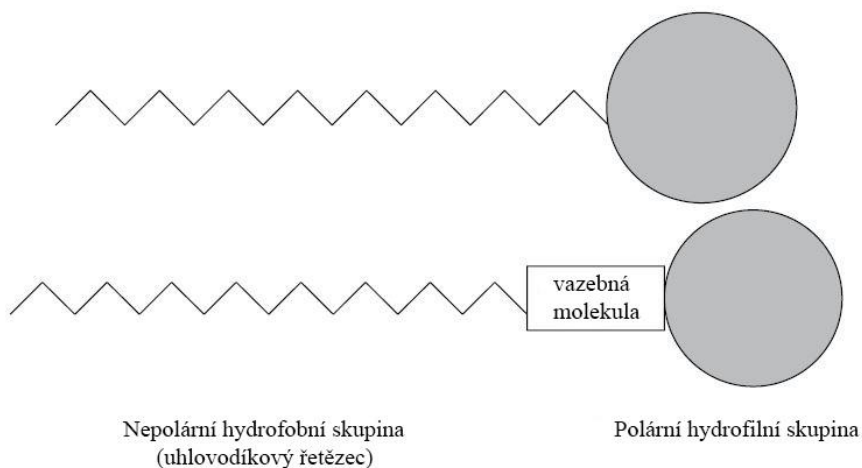
3.5 VLIV DD ADITIV NA VZNIK USAZENIN (ÚČINNOST ADITIV)

3.5.1 POUŽITÍ DETERGENTNÍCH ADITIV

Detergentní přísady musí obsahovat všechny značkové pohonné hmoty, nicméně jejich koncentrace se odlišuje a tím i účinek těchto přísad [5]. Množství aditiva se přidává dle dvou různých metod. Nižší dávka se užívá při metodě zvané „*keep clean*“, kdy je aditivum v palivu v nižší dávce při každém tankování a udržuje tak palivový systém čistý. Druhou metodou je tzv. „*clean-up*“, kdy je aditivum mícháno do paliva např. při každém pátém tankování, a to ve větších dávkách, které palivový systém vyčistí od již přítomných úsad [3, 5].

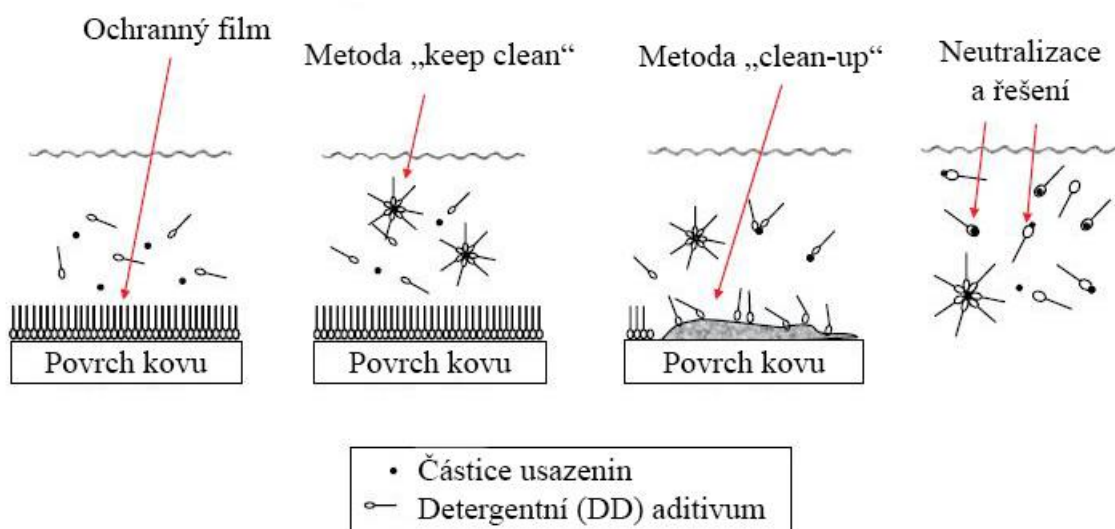
3.5.2 MECHANISMUS PŮSOBENÍ DETERGENTNÍCH ADITIV

Všechna DD aditiva mají ve své struktuře nepolární hydrofobní a polární hydrofilní skupinu (viz obr. 12). V některých molekulách je polární skupina připojena přímo k dlouhému uhlovodíkovému řetězci, zatímco v některých je spojena přes jinou vazebnou molekulu, jako je například polyisobutylene-sukcinimid [5].



Obr. 12 Struktura DD aditiv [5]

Detergentní přísady vytváří na povrchu kovu ochranný film, rozpouští prekurzory usazenin a čistí kovový povrch od již přítomných usazenin (viz obr. 13) [38]. Nepolární skupina rozpouští aditivum v palivu, zatímco polární skupina díky svým schopnostem snadno přilne k ostatním částicím, jež mají také polaritu [5]. Polární skupina se tedy může přichytit na kovový povrch a vytvořit na něm ochranný film zabráňující přichycování prekurzorů usazenin, či se připojit přímo k prekurzorům usazenin, které je schopna udržet rozptýleně v kapalině a zabránit tak jejich možnému usazení. Tento proces disperze vysvětluje, jak DD aditivum funguje při metodě „*keep clean*“. V případě již existujících usazenin na kovovém povrchu se polární skupina přichytí na část usazeniny, kterou oddělí od zbytku a vezme s sebou zpět do kapaliny. Tento detergentní efekt lze sledovat při metodě „*clean-up*“ [38].



Obr. 13 Mechanismus působení DD aditiv [5]

Tento mechanismus je charakteristický pro všechna DD aditiva. K dobré rozpustnosti aditiva v palivu se používá již zmíněný nosný olej, který pomáhá i při odstraňování částic usazenin z povrchu kovu [5].

3.5.3 VÝHODY POUŽITÍ DD ADITIV

Podle výše uvedených informací lze vyhodnotit výhody použití aditiv proti vzniku usazenin a také na odstraňování usazenin, a to následovně: jednotné a rovnoměrné vstřikování paliva, efektivnější spalování a využití paliva, zvýšení tlaku paliva a tím i snížení hluku motoru, vyšší výkon motoru, optimální jízdní vlastnosti, nižší provozní náklady (nižší spotřeba paliva a náchylnost na údržbu), méně výfukových plynů a škodlivých látek [5]. Tyto slibované účinky DD aditiv lze ověřit prostřednictvím testů, které jsou podrobněji popsány dále.



Obr. 14 Reklama na palivo Efecta 95 a Efecta Diesel čerpací stanice Benzina

3.5.4 TESTOVÁNÍ ÚČINNOSTI DD ADITIV

K určení, zda paliva osobních automobilů tvoří usazeniny a současně ke zjištění účinku detergentních aditiv se postupem času vyvíjely různé testy. Množství nánosů usazenin se vyhodnocuje především ztrátou průtoku paliva při konstantním časování vstřikovače a taky ztrátou výkonu motoru [17]. V Evropě se testy zaměřily na motory osobních automobilů. Evropskou radou pro vývoj testů výkonnosti pohonných hmot, maziv a jiných tekutin (CEC) byl založen test na motoru Peugeot XUD-9. Tento test, který mnoho let definoval výkonnost paliv a palivových aditiv využíval 1,9 litrový diesellový motor s nepřímým vstřikováním paliva. Byly měřeny ztráty průtoku vstřikovačem po 10 hodinách poměrně malého zatížení a rychlosti předepsaného cyklu [6].

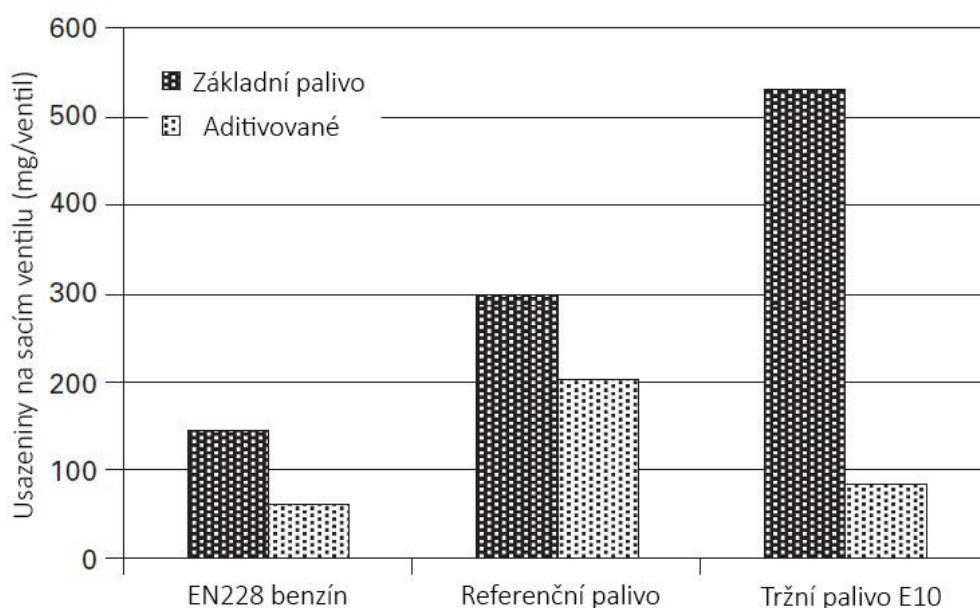
Od roku 1997, kdy byl tento test na usazeniny schválen, se však motory v osobních automobilech výrazným způsobem změnily. To samozřejmě vedlo k nahrazení starého typu motoru. K testům byl vybrán motor s přímým vstřikováním a systémem Common-Rail, jenž má lepší výkon za současného snížení spotřeby paliva a emisí. Zavedl se tak nový test DW10, který využívá 2litrový motor Peugeot s prototypovými vstřikovači vyhovujícími emisní normě Euro V. Test měří ztráty průtoku monitorováním klesajícího výkonu, kdy ztráta do 2 % je přijatelnou [6].

Usazeniny IVD a CCD se zkoumají obvykle experimentálně pomocí simulace provozních podmínek motoru a dalších faktorů v laboratořích [36]. Používá se například test M102E, jenž je cílen na účinek detergentních aditiv a čistotu sacích ventilů v motoru Mercedes Benz M102E a test M111 zkoumající tvorbu úsad na sacích ventilech a ve spalovacím prostoru [6, 36]. Čtyři velcí výrobci (BMW, General Motors, Toyota a Honda) vyvinuli standard TOP TIER, který popisuje výkonnost automobilového benzínu s cílem minimalizovat úsady na vstřikovačích, sacích ventilech a ve spalovacím prostoru [5].

ÚČINNOST DD ADITIV PŘI ODSTRANĚNÍ USAZENIN SACÍCH VENTILŮ

Účinností je zde myšleno odstranění starých usazenin, čímž se motoru vrátí výkon, sníží se výfukové emise a také dojde ke snížení spotřeby paliva. Jako první jsou uvedeny výsledky již zmíněného standardního testu M102E, demonstrující vliv DD aditiv na množství usazenin na sacích ventilech.

Účinnost detergentních přísad u benzínového motoru je vyjádřena na obr. 15, kde jsou zachyceny výsledky standardního M102E testu různých paliv, konkrétně benzínu splňující normu EN228, referenčního paliva (bez přísad) a trhového paliva s obsahem etanolu (E-10) s použitím DD aditiv a bez nich. Vyčištění sacích ventilů od usazenin metodou „*clean-up*“ je znatelné ve všech případech, nicméně u paliva E-10 je rozdíl obrovský [6].



Obr. 15 Usazeniny na sacích ventilech v testu M102E pro 3 různá paliva [6]

Další experiment ověřující pozitivní vliv DD aditiv na odstranění úsad na sacích ventilech byl proveden v mimo-laboratorních podmínkách, tedy za skutečného provozu automobilu, tzv. provozní zkouška. Záměrem této zkoušky bylo zjistit množství usazenin, které vznikne za najetou vzdálenost 70 000 km s palivem obsahujícím a neobsahujícím detergentní aditiva. Po dovršené vzdálenosti se u paliva bez aditiv vytvořilo v průměru přes 500 mg úsad na každém ventilu. Po ujetí výše uvedené vzdálenosti s palivem obohaceným DD aditivou v dávkování 860 ppm vzniklo na stejném vozidle v průměru pouhých 25 mg úsad na ventil. Zároveň lze konstatovat, že v případě paliva bez aditiv by množství úsad při dalším provozu rostlo rychleji, a to až do hodnoty kolem 1500 mg na ventil po dalších 70 000 km. Naproti tomu s DD aditivou by bylo zvyšování množství úsad mnohem pomalejší. Běžně se používá množství těchto aditiv do dávek max. 1000 ppm a je prokázáno, že ve většině případů už nemá větší dávka přísad smysl, protože již nebude více účinná [3].

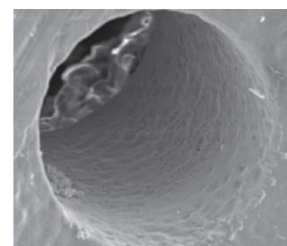
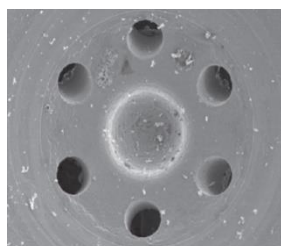
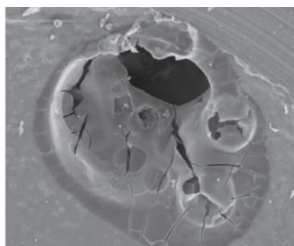
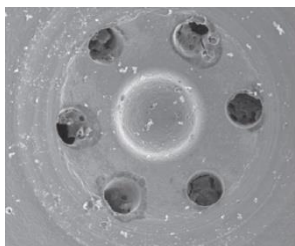
Hmotnost úsad na sacích ventilech po jízdní zkoušce v délce 70 000 km

palivo (BA 95 od čerpacích stanic v České republice)	dávkování přísady (ppm)	ventil (mg) 1	ventil (mg) 2	ventil (mg) 3	ventil (mg) 4	ventily 1-4 průměr (mg)
s přísadou	860	29	24	17	31	25
bez přísady (referenční)	0	446	662	474	574	539

Obr. 16 Test DD aditiv při provozní zkoušce o vzdálenosti 70 000 km [3]

ÚČINNOST DD ADITIV PŘI ODSTRANĚNÍ USAZENIN ZANESENÝCH VSTŘIKOVAČŮ

Vstřikovače v benzínových motorech s přímým vstřikem paliva jsou náchylnější na zanesení usazeninami než vstřikovače motorů s nepřímým vstřikováním. Jsou totiž vystavovány daleko vyšším teplotám. Na následujících obrázcích je ukázán vstřikovač benzínového motoru s přímým vstřikováním paliva, kdy bylo používáno palivo bez DD aditiv, a poté se použilo to stejné palivo s DD přísadami. Výsledky tohoto testu lze vidět na detailních fotografiích [6]. Z obrázku lze pozorovat znatelné rozdíly mezi oběma fotografiemi, kdy DD aditiva vyčistila vstřikovače od většího množství usazenin.

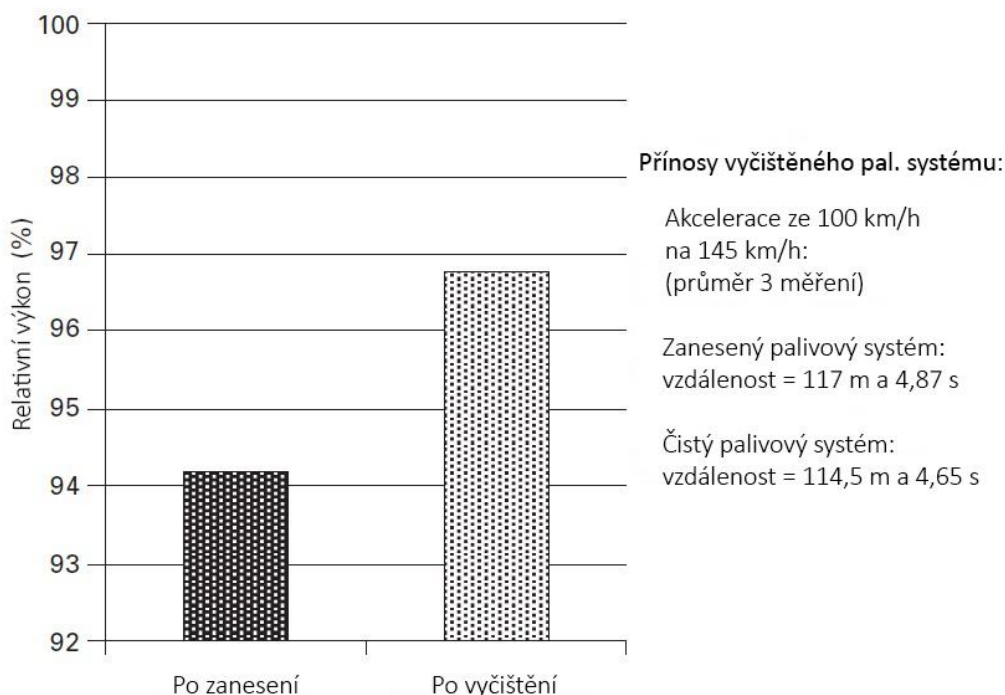


Obr. 17 Pohled na trysku vstřikovače bez použití DD aditiva [6]

Obr. 18 Pohled na trysku vstřikovače s používáním DD aditiv [6]

VLIV DD ADITIV NA VÝKON VOZIDLA

Jak již bylo několikrát řečeno, vyčištěním motoru od usazenin pomocí DD aditiv můžeme dosáhnout i lepšího výkonu motoru. Z obr. 19 lze vyčíst procentuální nárůst výkonu a také jak se zlepšil čas a zkrátí dráha při akceleraci vozidla z rychlosti 100 km/h na rychlost 145 km/h po vyčištění palivového systému detergentními přísadami [6].



Obr. 19 Výkon vozidla před a po vyčištění pal. systému [6]

4 OPOTŘEBENÍ A ŽIVOTNOST KOMPONENT MOTORŮ

Již od počátku výroby se spalovací motory potýkají s několika problematickými tématy. Jedním z nejdůležitějších je pak tření a opotřebení motoru. Kvůli eliminaci síry hydrodesulfurizací spolu se zvětšováním vstřikovacích tlaků (cca 2000–2500 barů) vzniká problém s nedostatkem mazání palivového systému [5]. Od roku 2016 obsahuje veškerá motorová nafta z ruských rafinérií méně než 10 ppm síry [39]. To má za následek zvýšené tření a opotřebení jednotlivých komponent palivového systému [6, 9]. O snížení tření a opotřebení se pokouší jak sami konstruktéři vývojem spalovacích motorů, tak mnohdy i jejich provozovatelé přidáváním aditiv v multifunkčních balíčcích do pohonných hmot [40].

4.1 OPOTŘEBENÍ A JEHO PŘÍČINY

Opotřebení je nežádoucí změna povrchu, rozměrů nebo vlastností tuhých těles, způsobená vzájemným působením funkčních povrchů (ploch) nebo povrchu a média, které opotřebení vyvolávají [40]. Hlavní příčinou opotřebení ve spalovacích motorech je tření. Spalovací motor je složen z mnoha dvojic komponent, které se navzájem třou [41]. Tření spolu s následným opotřebením povrchů je hlavní příčinou ztráty energie v automobilových motorech [42]. Obecně lze konstatovat, že u těchto motorů je z energie paliva přeměněna zhruba jen čtvrtina energie na užitečnou práci na klikové hřídeli [43].

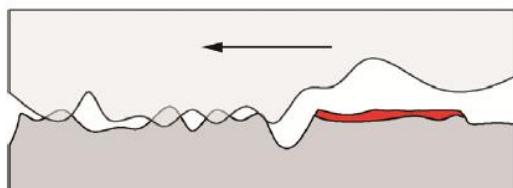
Mechanické opotřebení ale nezávisí pouze na třecích charakteristikách. Často se jedná o relativně složitý fyzikálně-chemický proces, kde jsou působící mechanické síly doprovázeny např. chemickými či elektrochemickými vlivy [41, 44]. Zároveň může vznikat i opotřebení bez přítomnosti tření (např. koroze). U třecího páru závisí mechanismus opotřebení na zatížení, rychlosti vzájemného pohybu, tvrdosti a drsnosti povrchů a dalších věcí [45]. Nežádoucími produkty tření jsou také různé částice opotřebení. Jejich místo a způsob vzniku lze rozlišit na základě jejich tvaru, velikosti a barvy [41]. Tyto úlomky se pak pohybují v prostoru a mohou napáchat další škodu, a to i v jiných částech motoru, než byl jejich vznik [44].

4.2 DRUHY OPOTŘEBENÍ

Opotřebení lze rozdělit na šest základních druhů: adhezivní, abrazivní, erozivní, kavitační, únavové a vibrační [44].

4.2.1 ADHEZIVNÍ OPOTŘEBENÍ

Adhezivní opotřebení je charakteristické oddělováním a přemísťováním částic mezi dvěma stykovými plochami. V důsledku pohybu dochází k porušování povrchových vrstev materiálů a ke vzniku tzv. mikrospojů [40]. Třením povrchů dochází k opotřebování obou povrchů a k jejich ohřívání, což má ještě negativní vliv na mazivo [45]. Jedná se o značně nebezpečný typ opotřebení, jelikož se vzrůstajícím odporem může dojít až k úplnému zablokování (zadření) povrchů [40, 44]. Současně vznikají volné (otěrové) částice, které mohou dále působit jako abrazivo [44]. Vhodným zákrokem proti adhezivnímu opotřebením je tenká vrstva maziva, která oddělí kontaktní plochy kovu [40]. Toto opotřebení se vyskytuje například u kluzných ložisek či čepů.



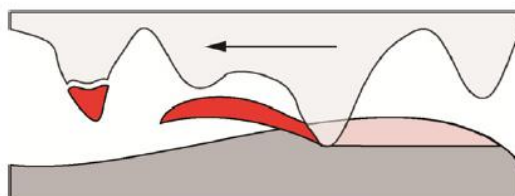
Obr. 20 Adhezivní opotřebení [45]



Obr. 21 Adhezivní opotřebení píst. čepu [40]

4.2.2 ABRAZIVNÍ OPOTŘEBENÍ

Toto opotřebení nastává pohybem mezi měkčím a tvrdším povrchem s nerovnostmi, a tím je způsobené oddělování částic měkčího materiálu [40, 45]. To vede k rýhování a ubývání opotřebovávaného povrchu [44]. Zároveň vznikají i tvrdé úlomky, které nadále mohou působit jako abrazivo. Částice, které abrazivní opotřebení způsobují, mohou být v prostoru již přítomny například z paliva, nasávaného vzduchu či jiného druhu opotřebení [40]. Abrazivní opotřebení lze zpozorovat například na pístu a stěnách válce spalovacího motoru.



Obr. 22 Abrazivní opotřebení [45]



Obr. 23 Abrazivní opotřebení pístu spal. motoru [40]

4.2.3 EROZIVNÍ OPOTŘEBENÍ

U tohoto typu opotřebení dochází k úbytku materiálu vlivem částic, které jsou unášeny proudem kapaliny či plynu, nebo účinkem částic samotné kapaliny či plynu [44]. Dopad částic z proudícího média na plochu materiálu způsobuje opotřebení v podobě otlacení či oddělení materiálu. Řešení je především v rukách konstruktérů, kdy je nutné zajistit rovnoměrné rozložení rychlostí pole proudícího média [40].



Obr. 24 Ukázka erozivního opotřebení [40]

4.2.4 KAVITAČNÍ OPOTŘEBENÍ

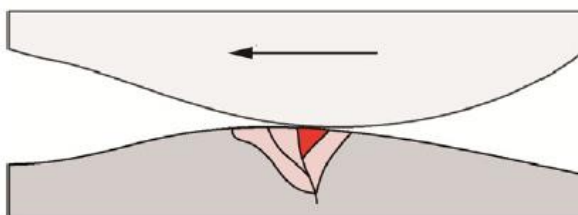
Opotřebení kavitací vzniká v důsledku interakce tuhého tělesa a kapalného média [46], kde se v důsledku zvýšení rychlosti proudění a snížení tlaku kapaliny objevují v kapalině kavitací „bubliny“ tvořené párou, které ulpí na povrchu tělesa a následně zaniknou implozí. Vyvolaná rázová vlna má devastující účinky na povrchu kovu [40]. V důsledku poškození dochází ke zhoršení vlastností a výkonových parametrů komponent, popřípadě i k jejich úplnému vyřazení z provozu [46]. Hlavními příčinami vzniku kavitace je zúžení průřezu proudící kapaliny, vyšší obsah plynu v kapalině či vyšší povrchové napětí. S tímto opotřebením se lze setkat u čerpadel, součástí hydraulických systémů apod. [44].



Obr. 25 Kavitační opotřebení pouzdra válce spalovacího motoru [40]

4.2.5 ÚNAVOVÉ OPOTŘEBENÍ

Únavové opotřebení se obvykle vyskytuje na plochách, které jsou spolu periodicky v kontaktu. Cyklické zatěžování způsobuje nepatrné únavové trhliny v povrchové vrstvě, které mohou postupně přerůst až ve vylamování částic povrchu a vytváření důlků, tzv. *pitting*. Do těchto důlků a trhlinek se může dostávat mazivo, které je zde v důsledku dalšího pohybu uzavíráno. To zvyšuje tlak a způsobuje další šíření trhlin a důlků. Vznik důlků může způsobit zvýšení vibrací a tím i následné selhání stroje. Zároveň vzniká velké množství malých částic, které jsou uvolňovány do prostoru [44, 45].



Obr. 26 Únavové opotřebení [45]

4.2.6 VIBRAČNÍ OPOTŘEBENÍ

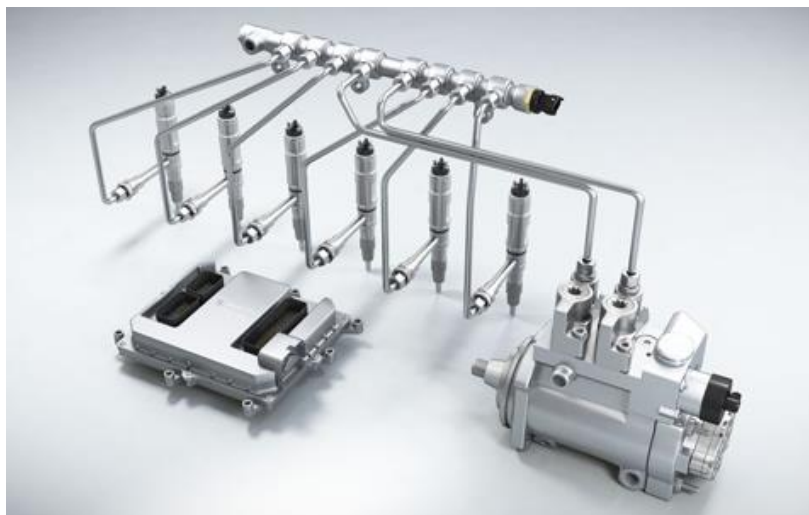
Poslední druh opotřebení je vibrační opotřebení. V důsledku kmitavých posunů ploch dochází v těchto místech k oddělování částic materiálu. Tento typ opotřebení se vyskytuje například u pohyblivých uložení [40, 44].



Obr. 27 Vibrační opotřebení valivého ložiska [40]

4.3 OPOTŘEBENÍ V PALIVOVÉM SYSTÉMU

Opotřebení v palivovém systému závisí především na palivu. Celý palivový systém spoléhá na mazání svých komponent pouze samotným palivem. Je to z důvodu, že zde nemůže být přítomno mazivo, protože by ovlivnilo vlastnosti paliva [47]. Vysoké teploty u vstřikovačů a vysokotlakých palivových čerpadel systému Common-Rail mohou mazivost paliva velmi ovlivnit [48]. U nekvalitního paliva může tedy docházet k různým poškozením palivového systému.



Obr. 28 Vstřikovací systém Common-Rail [49]

Při opotřebování nízkotlakého čerpadla palivové nádrže může docházet k odlamování částic například z ložisek čerpadla či přímo z povrchu vnitřku čerpadla. Tyto částice pak putují dále nízkotlakými trubkami, kde by měly být zadrženy filtry. Pokud se tak nestane, částice putují až do vysokotlakého čerpadla [50]. Tato čerpadla systému Common-Rail jsou ještě spolu s rotačními vstřikovacími čerpadly jedny z nejcitlivějších komponent na mazivost paliva [3]. Při opotřebením vysokotlakého čerpadla může docházet k velkým změnám ve výkonu motoru a k odlučování velkého množství otěrových částic. Jelikož mezi čerpadlem a vstřikovači není již žádný další filtr, částice vytvořené opotřebením putují přímo do vstřikovače, které se považují za nejkritičtější aspekt celého palivového systému [50].

4.4 OPOTŘEBENÍ VSTŘIKOVAČŮ

Současné vstřikovací systémy mají toleranci vůči pohybujícím se prvkům v palivu cca do 50 mikrometrů. Částice nesené palivem s podobnou nebo větší velikostí mohou způsobit četné poruchy, jako je ztížení průchodu otvorem vstřikovače, problematický pohyb či zaseknutí jehly vstřikovače nebo úplné ucpání vstřikovače, což znemožní potřebný tok paliva do spalovací komory [50]. Tok uvnitř vstřikovací trysky má významný vliv na tvorbu rozstříku, která hraje klíčovou roli pro správný chod motoru, výkon motoru a zároveň snižování emisí výfukových plynů [51]. Další druh opotřebením, který má silný vliv na vnitřní tok a rozstřík paliva je kavitace uvnitř vstřikovače [52].

Kavitace je běžným jevem u diesellového vstřikovače [52]. Jak již bylo zmíněno, kavitace nastává při vysokém poklesu tlaku na vstřikovací trysce, jež urychluje průtok paliva tryskou. Toto zrychlení uvnitř trysky vytváří vysokou úroveň turbulence, což způsobí nestabilitu toku paliva a výslednou poruchu rozstříku. Uvnitř trysky se z důvodu kavitace vytvářejí kavitační bubliny, které jsou následně smeteny z vnitřku trysky do spalovací komory spolu s palivem, kde implodují. Zde zároveň přispívají k narušení rozstříku a zabránění plynulému spalování. Kavitace a turbulence uvnitř vstřikovače tedy mají výrazný vliv na proces a charakteristiky rozprašování (úhel rozstříku, rozpad proudu vstupující kapaliny) [51]. Kavitační poškození se může vyskytovat i na vstupu čerpadel či u zpětného ventilu, kde toto poškození kavitací vede k degradaci těsnění [53].

Vstřikovače nemusí být nutně ohrožené pouze částicemi putujícími z palivového systému či kavitací. Ukázalo se, že samotná motorová nafta, která má nízký obsah síry (kvůli odsiřování) způsobuje vysoké opotřebení vstřikovačů [54]. I na vstřikovače samotné tedy působí nafta bez mazivostních vlastností velmi nebezpečně a dochází tak k většímu opotřebení a menší životnosti.

4.5 OPOTŘEBENÍ MEZI PÍSTNÍMI KROUŽKY A STĚNAMI VÁLCŮ

Posledním konkrétním příkladem poškození spalovacích motorů je opotřebení pístů a stěn válců. Tření mezi pístními kroužky a stěnami válců je jeden z nejvýznamnějších zdrojů ztrát uvnitř motoru [6]. Opotřebení stěn válce může ale kromě ztrát způsobených třením ovlivnit i těsnění komory. Palivové a olejové mazací vlastnosti jsou pro opotřebení v této oblasti velmi důležité, jelikož jak motorový olej, tak i palivo ovlivňují tloušťku ochranného filmu za vysokých teplot. Dostatečně spolehlivá ochranná vrstva na povrchu stěny válce slouží nejen ke snížení tření, ale zároveň ji chrání před korozi. V souvislosti s korozi se zvyšuje počet oddělených tvrdých částic, které by následně působily jako abrazivní částice způsobující další opotřebení stěny válce a pístu [55]. Snížení tření v této oblasti se tedy promítne jak do měřitelného zlepšení účinnosti motoru, čímž selepší spotřeba paliva i výkon, tak i do výrazného zvýšení ochrany proti opotřebení. Zároveň se výhody paliva s dostatečnými mazivostními vlastnostmi promítnou i do jiných oblastí mimo válce (mazivostní přísada se postupně dostává do oleje, čímž je přenášena i na jiná místa motoru) [6].

4.6 VLIV MAZIVOSTNÍCH ADITIV NA OPOTŘEBENÍ A ŽIVOTNOST

Kvalita paliv je jednoznačně ovlivněna jejich mazivostí. Mazivost pohonných hmot poskytuje ochranu pohyblivých povrchů některých součástí automobilů, jako jsou vstřikovače paliva a palivová čerpadla, která spoléhají pouze na mazivost paliva, a je tak nezbytná pro prodloužení životnosti jednotlivých komponent, potažmo motoru [5, 48]. Paliva s nízkým obsahem síry, tedy ta, která prošla procesem odsiřování, je nutné doplnit mazivostními aditivy či modifikátory tření, aby mohla poskytovat dostatečnou ochranu pro důležité části spalovacích motorů [3, 6].

Zda užití přísady zajišťují potřebné mazivostní vlastnosti, lze ověřit rychlou mechanickou zkouškou HFRR (High Frequency Reciprocating Rig). Tato metoda simuluje opotřebení ve vstřikovacím čerpadle pomocí šířky otěrové stopy (WSD) vzniklé na povrchu destičky, ke které je přitlačována kulička vykonávající vratný pohyb v prostředí zkoušeného vzorku paliva. Výsledkem je průměrné zploštění kuličky vytvořené po 75 minutách pokusu. Jako mezní hodnota WSD byl stanoven maximální průměr opotřebení 460 mm [3, 54].

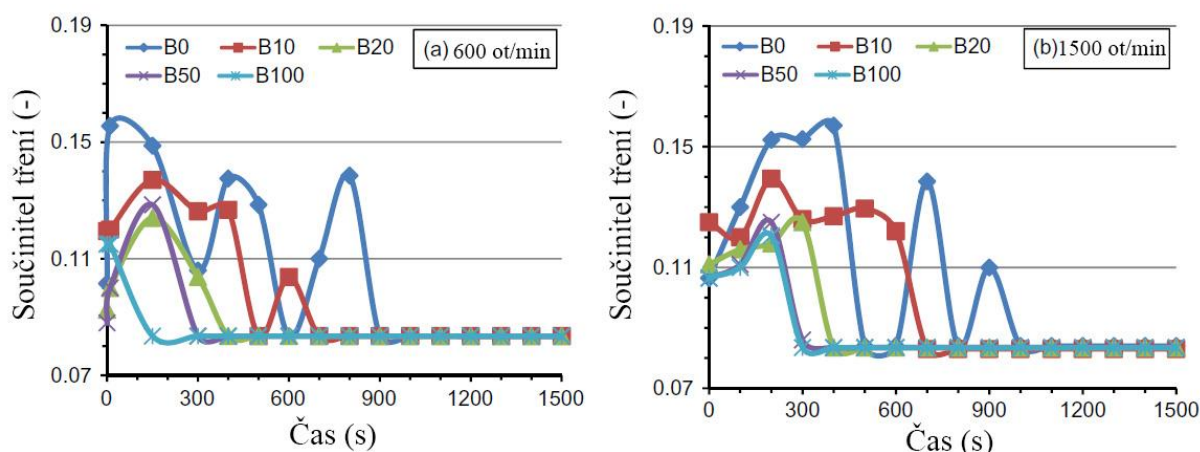
Bionafta má chemicky podobné složení některým mazivostním aditivům a při smíchání s naftou může výrazně zlepšit mazací vlastnosti paliva, což v mnoha případech eliminuje potřebu dodatečných mazivostních aditiv [6]. Díky obsahu mastných kyselin, množství monoglyceridů a kyslíku, může nafta už v poměru 20 % účinně snižovat jak opotřebení kontaktních ploch, tak i součinitel tření [56]. Také jev kavitace je zřetelnější u motorové nafty než u bionafty, která má vyšší viskozitu [51].

4.6.1 MECHANISMUS FUNKCE MAZIVOSTNÍCH ADITIV

Aditiva zvyšující mazivost a snižující tření vytvářejí na povrchu kovu tenký ochranný film, tzv. tribochemický film, který zabraňuje kontaktu kovu s kovem, čímž značně snižují WSD [3, 5, 10, 56]. Jedná se o sloučeniny, které mají nepatrnou polaritu a přednostně adsorbují na kovový povrch [5]. Tím vzniká mazivostní vrstva, která za provozních podmínek chrání povrchy před opotřebením, čímž zamezuje vzniku ořetrových částic a také funguje proti degradaci korozi, což umožňuje běžný provoz motoru, spolehlivost a zajišťuje delší životnost komponent [10, 57]. Vzhledem k tomu, že tento film se během tření pravidelně rozpadá, je důležitá jak rychlost jeho obnovy, tak pevnost filmu [58]. Paliva je tedy nutné aditivovat přísadami, které jsou schopné rychlé tvorby filmu s požadovanou pevností.

4.6.2 TESTOVÁNÍ ÚČINNOSTI MAZIVOSTNÍCH ADITIV

Jak již bylo zmíněno, bionafta je jedním z nejslibnějších alternativních paliv. Oproti motorové naftě vykazuje lepší biologickou rozložitelnost, vyšší bod vzplanutí, vyšší cetanové číslo, větší mazivost či snížení emisí. Pro tyto dobré vlastnosti se uvažuje o přidávání bionafty do motorové nafty jako o dostatečné přísadě zvyšující mazivost. Z výzkumů vyplývá, že motorová nafta vykazuje při provozu vyšší součinitel tření než bionafta. Čím větší poměr bionafty vůči motorové naftě je přítomen, tím menší je součinitel tření, stejně jako menší WSD [48].



Obr. 29 Různé součinitele tření v závislosti na čase při otáčkách 600/min a 1500/min [48]

Bionafta také vytváří stabilnější film, který odděluje sousední povrchy a omezuje tak kontakt kovu s kovem. Nicméně popsaná mazivost je ovlivněna oxidačním procesem. Při krátkodobém procesu může bionafta poskytnout lepší mazací schopnosti, ale spíše přechodně. V dlouhodobém měřítku může naopak způsobit degradaci paliva, a tím i extrémně sníženou mazací schopnost. Proti užití bionafty místo mazacího aditiva tedy svědčí nejen její tendence k vyšší oxidaci a následné korozi, ale i zvýšené riziko zanášení vstřikovačů či ucpání filtru produkty autooxidace [48].

Ve prospěch užití klasických mazivostních aditiv oproti jejich nahrazování bionaftou svědčí i další testy. Experimentální výsledky s použitím AVL dynamometru při různých zatíženích a rychlostech motoru ukázaly, že výkon motoru se výrazně zlepšil po přidání mazivostního aditiva *graphene nanolubricant*. V důsledku snížení celkového tření o 6 % se skutečný výkon motoru a točivý moment zvýšily v průměru o 7–10 %. Jiný výzkum zase svědčí o tom, že přidání 50 ppm esterů ethylenglykolu a propylenglykolu snížilo WSD o 35–40 % [39].

Další studie se zaměřila na testování paliva s nízkým obsahem síry obohacené mazivostním aditivem. Byl použit testovací cyklus o délce 400 hodin, ve kterém je posuzována odolnost vstřikovacího systému Common-Rail. Testovací cyklus zde byl navržen tak, aby se urychlilo případné opotřebení oproti normálnímu provozu a bylo tak i po krátké provozní době možné identifikovat významné poruchy, které by se mohly za normálních provozních podmínek objevit. Lubricita paliva a WSD byly kontrolovány každých 50 hodin testu. Z výsledku testu vyplývá, že u paliva s mazivostní přísadou nebylo pozorováno žádné významné opotřebení, zatímco u paliva bez přísady se objevilo patrné poškození systému kavitací [53].

4.6.3 POTENCIÁLNÍ PROBLÉMY S MAZIVOSTNÍMI ADITIVY

Jednou z neúspěšnějších tříd mazivostních přísad, která kdy byla vynalezena, jsou dialkyldithiofosfáty zinku (ZDDP). Tyto sloučeniny se kvůli nízkým pořizovacím nákladům a skvělé účinnosti nepřetržitě využívají již od třicátých let dvacátého století [57]. Nicméně i přes perfektní funkčnost zinku jakožto mazivostní přísady je nutné poukázat na problém zmíněný v kapitole o usazeninách, kdy i stopové množství zinku v palivu funguje jako katalyzátor tvorby usazenin. Z dalších studií také vyplývá, že některé přísady proti opotřebení zhoršují kvalitu paliva při skladování pod bodem zákalu (CP). Kvůli zvýšené viskozitě palivo s přísadou neprochází zkouškami kompatibility [39]. Jak je z těchto příkladů patrné, vždy je nutné kontrolovat účinek přísady i na tvorbu usazenin a výkonové charakteristiky. Užití některých přísad by mohlo být pro opotřebení a životnost palivového systému kontraproduktivní a je vždy třeba zvažovat jeho vhodnost v souvislosti nejen se samotným palivem, ale i s ostatními přísadami.

4.7 VLIV INHIBITORŮ KOROZE NA OPOTŘEBENÍ A ŽIVOTNOST

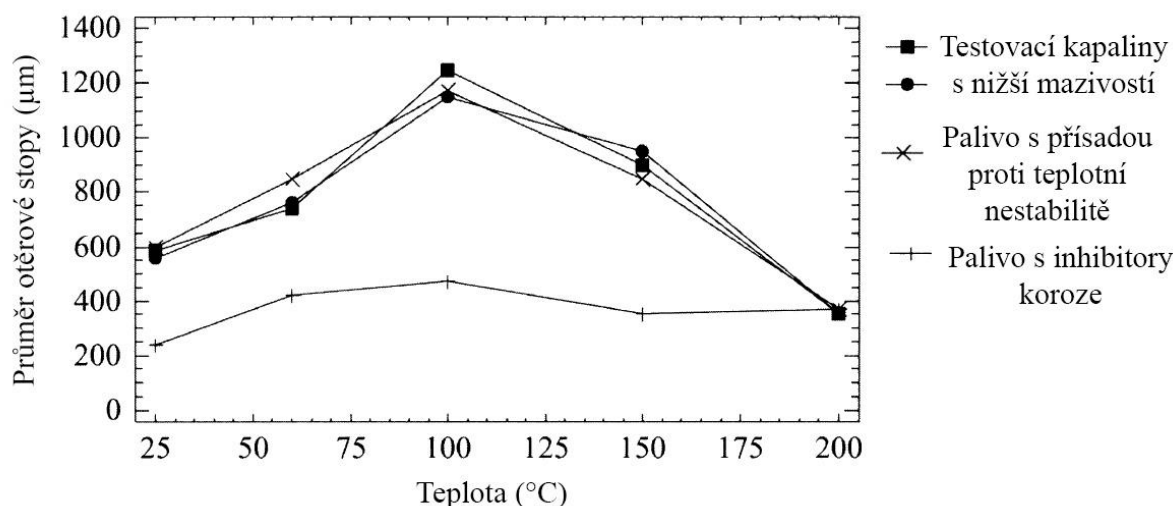
Mazivostní aditiva hrají velmi důležitou roli u opotřebení a životnosti součástí motorů, nicméně je nutné uvést ještě další aditiva, která se na ochraně spalovacích motorů proti opotřebení podílejí. Ačkoliv mazivostní aditiva fungují částečně i v boji proti korozi, nemohou zcela nahradit účinky antikoročních aditiv (inhibitorů koroze).

Paliva mohou přicházet do styku s vlhkostí a kyslíkem, ať už během skladování, přepravy či při provozu vozidel. Jelikož těžké rafinérské zpracování odstraňuje z paliva nejen látky zajišťující jeho mazivost, ale i přirozeně se vyskytující inhibitory koroze [59], může kvůli změnám teplot a kondenzaci při přepravě docházet k rezavění dopravních potrubí a uskladňovacích nádrží. Tyto produkty koroze pak mohou způsobit poškození palivového systému vozidla, včetně vstřikovacích trysek [54]. Nicméně k problémům může dojít i tehdy, je-li palivo kontaminováno pouze vodou. Přítomnost vody v palivu by po vniknutí do palivového systému mohla způsobit opotřebení či korozi vstřikovacích čerpadel a trysek. Již ve velmi malém množství představuje voda v palivu za nepřítomnosti antikoročních přísad nebezpečí rezivění ocelových součástí včetně ploch palivové soustavy [3]. Koroze komponent nejenom poškozují součásti jako takové, ale otěrové částice způsobují tvorbu molekulárních nečistot v palivu [54]. Jejich možný destruktivní účinek je již popsán výše. Úkolem aditiv je ochránit povrchy před napadením korozí, čímž se sníží i možný počet částic opotřebení přítomných v palivu.

Koroze tedy závisí na obsahu vody, sloučenin kyslíku, typu a množství síry a antikoroziční přísadě v palivu. K vyhodnocování koroze a účinnosti antikorozičních aditiv se používá test dle DIN 51585, kdy je ocelový prut vkládán do směsi paliva a destilované či slané vody. Po 24 hodinách při teplotě 608 °C je vizuálně vyhodnocena tvorba rzi [54].

TESTOVÁNÍ ÚČINNOSTI INHIBITORŮ KOROZE

Paliva, jež prošla procesem odsiřování, vykazují vyšší známky opotřebení komponent. Pomocí testů bylo zjištěno, že průběh opotřebení je závislý na teplotních podmínkách. Zdá se, že opotřebení, tedy míra WSD, velmi prudce stoupá do 100 °C, zatímco po překročení této hranice opět klesá (viz obr. 30). K tomuto jevu dochází díky tomu, že odpařování rozpuštěné vlhkosti z paliva při vysoké teplotě inhibuje mechanismus oxidační koroze. Lze pozorovat, že použitím paliva obohaceným o inhibitor koroze tento jev zaniká. Zatímco palivo bez inhibitoru koroze či referenční kapaliny pro testování mazivosti chrání komponenty palivové soustavy před korozi až nad 200 °C, palivo s antikorozičním aditivem chrání tyto komponenty stabilně po celou dobu. Tím snižuje jejich míru opotřebení a zvyšuje jejich životnost [59].



Obr. 30 Efekt inhibitorů koroze [59]

Experimentální výsledky také ukazují, že užití inhibitorů koroze redukuje počet částic opotřebení v palivu. Při užití přísady se snížila koncentrace úlomků v palivu (oproti palivu bez přísady) o téměř 20 %. Konkrétně došlo ke snížení koncentrace úlomků železa o 17 %, mědi o 16 % a hliníku o 19 % [60]. Z těchto výsledků jasně vyplývá, že i antikoroziční aditiva jsou velmi důležitým článkem k redukci opotřebení spalovacích motorů.

4.8 VLIV DALŠÍCH ADITIV NA OPOTŘEBENÍ A ŽIVOTNOST

4.8.1 ANTIOXIDANTY

Pokud jsou paliva skladována po delší dobu, mohou částečně oxidovat a polymerizovat. Tím se mohou vytvořit nerozpustné sloučeniny, které později způsobí problém s průchodem palivového filtru [54]. Při silném zanesení palivového filtru nečistotami průtok paliva slábne. Motor tuto poruchu dává najevo nejdříve nevýrazně (při plném zatížení – velká okamžitá

spotřeba paliva), nakonec však naprosto zřetelně neposkytuje jeho výkon [3]. Může dojít až k úplnému ucpání palivového filtru. Filtrační prvky, užívané v současné době v palivové soustavě, jsou ale často považovány za nedostatečné, neschopné zadržet všechny kontaminující částice [50]. Průchod částic přes filtr může způsobit poškození citlivých částí prvků palivové soustavy či dokonce úplné selhání motoru [3, 50].

Zabránit procesu oxidace a polymerace, a tím předejít tvorbě nerozpustných částic, mohou antioxidantní aditiva. Jejich užitím se palivo stává oxidačně stabilním. Oxidační stabilita, účinnost antioxidantních přísad, se měří v laboratořích pomocí testu umělého stárnutí paliva. Po dobu 16 hodin je palivo v otevřené nádobě provzdušňováno kyslíkem při teplotě 958 °C. Mezní hodnotou je vytvoření maximálně 25 g/m³ rozpustného a nerozpustného pryskyřičného materiálu [54]. Antioxidantní aditiva tak mohou díky zamezení vzniku sloučenin zabránit opotřebením komponent motoru včetně palivového filtru.

4.8.2 ADITIVA ZVYŠUJÍCÍ OKTANOVÉ ČÍSLO

Při klepání motoru v důsledku užití nízkooktanového paliva dochází k mírnému zvýšení zatížení klikového mechanismu. Pístní kroužek je více přitlačovaný ke stěně válce a může tak způsobit zvýšené opotřebením v průběhu režimu klepání [3]. Užíváním paliva se zajištěným dostatečně vysokým oktanovým číslem (pomocí aditiv), lze tedy předejít nadměrnému opotřebením palivové soustavy a prodloužit tak její životnost.

4.8.3 DETERGENTNÍ ADITIVA

Důležité je i zmínit detergentní aditiva, která mají zásadní vliv na čistotu celého motoru. Díky tomu, že tato aditiva buď dokáží vyčistit motor od usazenin či ho udržují dlouhodobě čistý lze zdůraznit jejich kladný vliv i na menší opotřebování jednotlivých komponent a tím i jejich větší životnost. Příkladem mohou být vstřikovače moderních vznětových motorů, které se po větším znečištění usazeninami mohou v některých případech nadobro poškodit a nezbyvá, než je vyměnit za nové, které budou pro provozovatele vozidla finančně velmi nákladnou položkou.

5 ADITIVA A SPOTŘEBA PALIVA

Spotřeba paliva je nejenom ukazatelem hospodárnosti provozu vozidla, ale zároveň může sloužit jako diagnostický signál technického stavu vozidla. Ve výzkumech se jako komplexní diagnostický nástroj charakterizující účinnost motoru používá měrná spotřeba paliva [47]. Měrná spotřeba paliva, označována zkratkou BSFC (z anglického *Break Specific Fuel Consumption*), je veličina, která udává, kolik hmotnostního množství paliva je potřebného k vyprodukování jednotky práce. Značí se m_p a uvádí se v jednotkách $g \cdot kW^{-1}h^{-1}$ či $kg \cdot kW^{-1}h^{-1}$. Jinými slovy lze říci, že BSFC dává najevo, jak efektivně je dodávané množství paliva do motoru přeměněno na práci [61]. Přestože je měrná spotřeba považována za jednu z nejpřesnějších charakteristik, v praxi jsou spíše užívány hodnoty charakterizující spotřebu vozidla v provozu udávané v litrech paliva na 100 km [47].

Efektivitu spalovacích motorů lze vyjádřit také pomocí tepelné účinnosti motoru. Tato účinnost a tím i spotřeba paliva záleží na mnoha faktorech, konkrétně na pracovním cyklu, konstrukci motoru, kompresním poměru, třecích ztrátách či kondici samotného motoru [3]. Množství těchto faktorů je přímo závislé na vlastnostech, složení a kvalitě paliva. Kompresní poměr je u zážehových motorů ovlivňován výší oktanového čísla paliva, velikost třecích ztrát je závislá na mazivosti paliva a kondice motoru může být zhoršena přítomností usazenin tvořených v důsledku nedostatečně kvalitního paliva [3, 62].

Spotřebu paliva ovlivňují i provozní vlivy vozidla. Lze jmenovat například rozměry vozidla, hmotnost vozidla, typ motoru, typ převodovky, systém dopravy a vstřikování paliva, aerodynamiku karoserie, ale i venkovní teplotu či tlak v pneumatikách apod. [3]. Tyto provozní vlivy je třeba mít při usuzování efektivnosti paliva na spotřebu vždy na paměti.

5.1 VLIV ADITIV ZVYŠUJÍCÍ OKTANOVÉ ČÍSLO NA SPOTŘEBU PALIVA

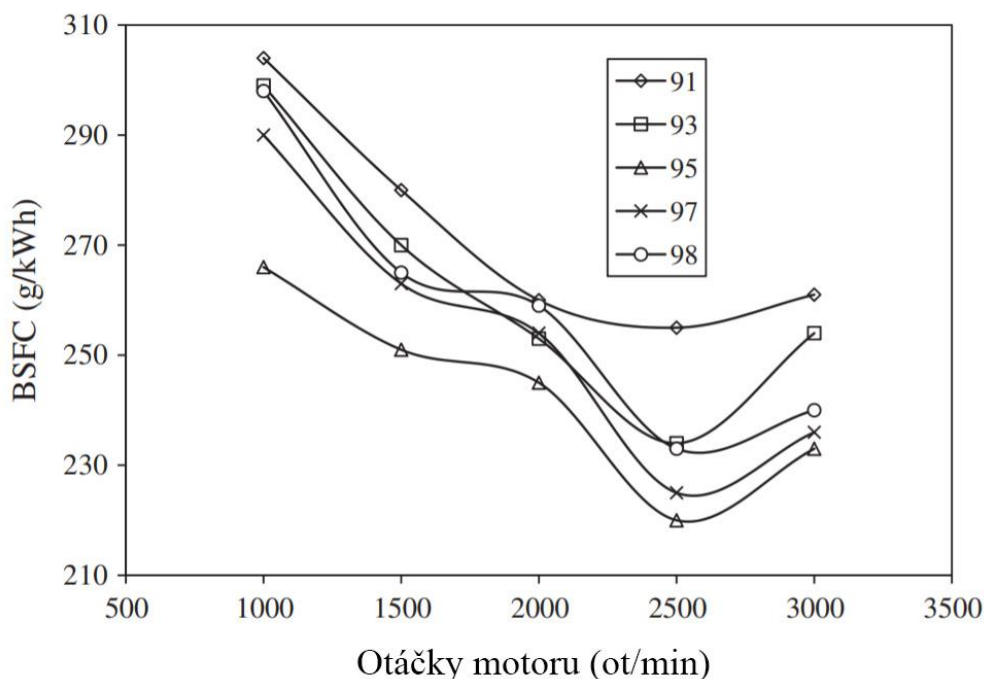
Kompresní poměr je jedním z faktorů, které mají vliv na spotřebu paliva. U zážehových motorů bývá kompresní poměr cca 10:1 a je omezený oktanovým číslem, u vznětových cca 15–22:1, kde je omezený konstrukcí motoru [62]. Kolísání oktanového čísla paliva může vést až k 10 % kolísání kompresního poměru [3].

U zážehových motorů se při používání paliva s nižším oktanovým číslem, než je předepsáno výrobcem, můžeme setkat s nežádoucím jevem, a sice klepáním motoru, které je popsáno dříve [62]. Při tomto detonačním spalování dochází nejen ke zkracování životnosti součástí, ale i ke špatnému využití energie paliva a účinnost motoru se snižuje. Tím dochází ke snížení výkonu vozidla a zvýšení spotřeby paliva [3, 62]. Naopak na vyšší oktanové číslo může motor reagovat mírným zvýšením výkonu a snížením spotřeby paliva viz obr. 31.

oktanové číslo benzínu výzkumnou metodou	rychlost		
	40 km/hod	70 km/hod	90 km/hod
	spotřeba paliva (l/100 km)		
88,8	9,6	9,8	11,5
91,5	7,8	8,3	9,6
94,2	6,7	7,4	9,8
99	6,5	7,3	8,3

Obr. 31 Vliv oktanového čísla automobilového benzínu na spotřebu paliva [3]

Snižování spotřeby paliva v důsledku vyššího oktanového čísla ale platí pouze tehdy, je-li motor na toto vysokooktanové palivo regulován. Z výzkumů vyplývá, že pokud je překročen požadavek výrobcem vozidla, tedy hranice jeho regulace na oktanové číslo, spotřeba paliva paradoxně roste. Motor, jehož požadavek motoru na oktanové číslo byl 91, vykazoval při užití paliva s oktanovým číslem 95 o 5,6 % vyšší spotřebu ve srovnání s užitím paliva s oktanovým číslem 91 [63]. Další studie zkoumala vliv paliv s oktanovými čísly 91, 93, 95, 97 a 98 na motor s požadavkem 95. Z jejich výsledků vyplývá, že nejlepší spotřeby bylo dosaženo s palivem s oktan. číslem 95 (viz obr. 32) [64].



Obr. 32 Test paliv s různými oktanovými čísly na motoru s požadavkem oktanového čísla 95 [64]

Při užití paliva s vyšším oktanovým číslem, než byl požadavek motoru, docházelo k většímu zpoždění zapálení směsi a k pomalejší rychlosti plamene, což se promítlo jako snížení tlaku a výkonu, a tím zvýšení spotřeby paliva. Nižší, než požadované oktanové číslo zase vedlo k nižší odolnosti vůči samovznícení, zhoršení průběhu spalovací fáze, a tím zvýšení spotřeby paliva [64]. Z uvedených informací vyplývá, že minimální spotřeby lze u atmosférických motorů dosáhnout právě s vyšší oktanového čísla, která je doporučována výrobcem motoru.

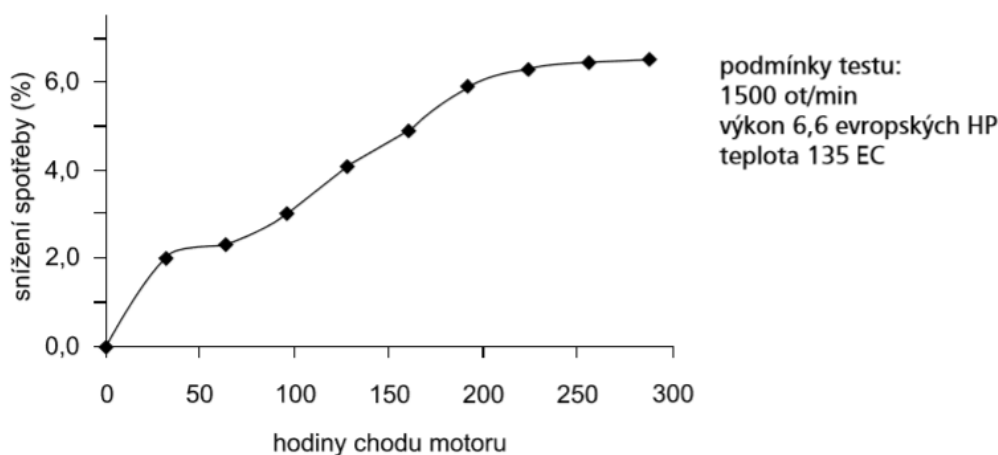
Zvyšování oktanového čísla pomocí současně využívaných antidetonačních aditiv, tedy kyslíkatých sloučenin, jako jsou různé alkoholy a ethery, může být vzhledem ke spotřebě paliva kontraproduktivní. V důsledku přidání takového aditiva se sice zvýší oktanové číslo se současnou výraznou redukcí emisí motoru, nicméně se zároveň sníží výhřevnost a energetický obsah palivové směsi [65]. Pro dosažení stejného výkonu vozidla je tak vyžadováno více vstříkovaného paliva, čímž se zvyšuje spotřeba benzínu [62, 66]. Čím více etanolu se přidává do směsi paliva, tím více se spotřeba paliva v důsledku nízké výhřevnosti zvyšuje [67]. Z výzkumů vyplývá, že palivo v závislosti na obsahu alkoholu může oproti obyčejnému palivu vykazovat zvýšení spotřeby až o 8 % [68].

5.2 VLIV MAZIVOSTNÍCH ADITIV NA SPOTŘEBU PALIVA

Tření je dalším z důležitých faktorů při ztrátě energie v motoru. Snížení tření mezi pohyblivými částmi, například mezi pístem (pístními kroužky) a stěnami válce, nevede pouze k jejich ochraně před opotřebením, ale i k celkovému zlepšení výkonu a snížení spotřeby paliva [6, 57].

Z experimentálních výsledků plyne, že přidáním mazivostního aditiva bylo dosaženo snížení spotřeby paliva se simulací silničního zatížení dynamometrem až o 17 % [42]. Nicméně u laboratorního testování lze jen velmi obtížně simulovat všechny podmínky a možné problémy, jaké se mohou vyskytnout v normálním provozu. To naznačují i výsledky studie, ve které byl vliv testované přísady kontrolován jak v laboratorních podmínkách, tak v normálním provozu. V laboratořích proběhla 5hodinová zkouška na dieslových generátorech při různém zatížení motoru s aditivovaným a neaditivovaným palivem. Spotřeba se u aditivovaného paliva snížila průměrně až o 10 % oproti základnímu palivu [69]. Zkouškou HFRR bylo prokázáno, že ztráty způsobené třením byly pomocí přísady sníženy až o 76 % [70]. Zároveň bylo vybráno několik vozidel (naftových i benzínových), která měla reprezentovat celkovou různorodost vozidel. Tento konvoj následně několikrát projel předem určenou trasu (469 km) s palivem bez aditiva a následně s palivem obohaceným mazivostním aditivem. Celkově bylo pozorováno průměrné snížení spotřeby paliva o 6 % [69]. Výsledky laboratorního testování a skutečného provozu se sice liší, nicméně v obou případech došlo ke snížení spotřeby vlivem mazivostních aditiv, takže jejich vliv na spotřebu určitě není zanedbatelný.

Celková úspora paliva v důsledku snížení tření se ale nemusí projevit okamžitě po přidání přísady do paliva. Na benzínovém motoru byl proveden test ukazující vliv najetých kilometrů, tedy délky působení mazivostního aditiva, na celkové snížení spotřeby paliva. Hned na počátku testu, tedy po přidání přísady, byla dosažena úspora paliva o 1,5 %. Část přísady ulpívá na stěně válce a tím snižuje součinitel tření olejového filmu, což se projeví okamžitým zmenšením třecích ztrát v oblasti stěny válce, pístů a pístních kroužků. Po ujeté vzdálenosti 5000 kilometrů se tato úspora zvýšila na 3 %, po dalších 5000 km dokonce na 6 %. Po delší době se snížení spotřeby paliva ustálilo na hodnotě 7 %. Tento postupný trend snižování spotřeby souvisí s postupným pronikáním přísady i do motorového oleje, takže po určité době působí i v dalších mazaných místech a lze zaznamenat další snížení tření [3].



Obr. 33 Test vlivu mazivostních aditiv na spotřebu paliva [3]

Z uvedeného testu lze vypočítat, že osobní automobil, jehož průměrná spotřeba je 7 litrů paliva na 100 km, může klesnout spotřeba vlivem mazivostních přísad po dlouhodobém provozu na hodnotu 6,5 litrů na 100 km.

5.3 VLIV DD ADITIV NA SPOTŘEBU PALIVA

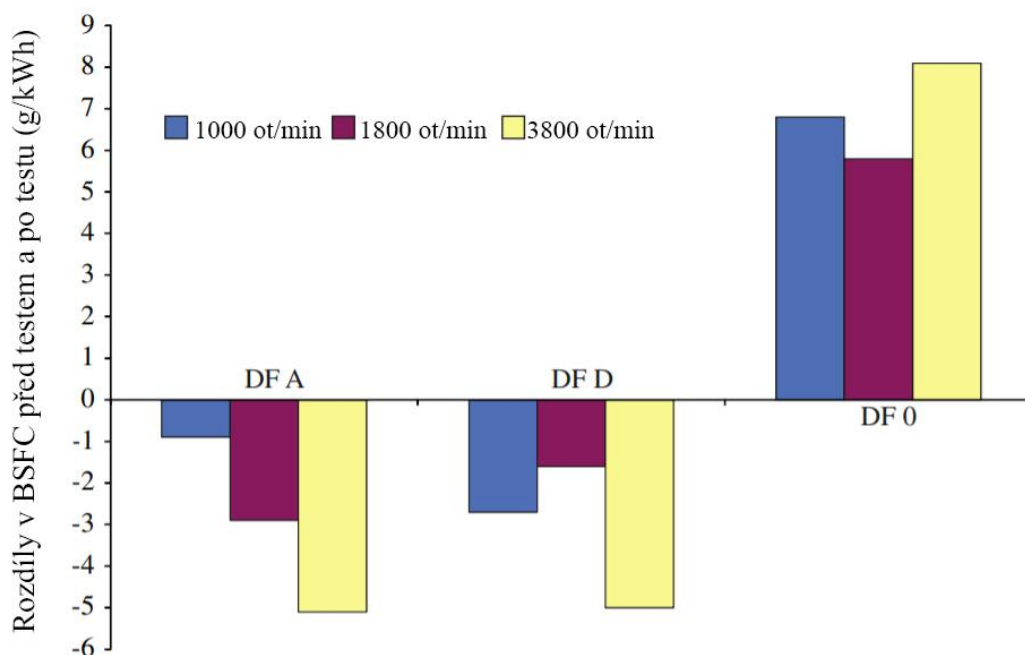
Dobrá kondice motoru taktéž souvisí se spotřebou paliva. Aby motor zůstal v dobré kondici, musí být čistý, bez usazenin. Systém vstřikování paliva má velký vliv na proces spalování, tvorbu emisí a také na spotřebu paliva [51]. Usazeniny, zejména v otvorech vstřikovače, snižují průměr otvoru a tím i hydraulický tok v trysce vstřikovače. Je snižováno množství vstřikovaného paliva a značně se snižuje i kvalita rozstříku [42]. Správná doba vstřiku a vzorec rozstříku jsou klíčové parametry při optimalizaci spotřeby paliva [47]. Usazeniny v systému sání paliva zase mohou mít nepříznivý dopad na přípravu směsi vzduchu a paliva, což vede ke snížení výkonu motoru a taktéž zvýšení spotřeby paliva [6].

Tvorba usazenin na vstřikovačích a související zvýšení spotřeby bylo mnohokrát testováno. Z experimentální zkoušky probíhající 250 hodin s bionaftou a motorovou naftou vyplývá, že v průběhu testu se BSFC zvýšila u nafty o 1,5 % a u bionafty dokonce o 2,2 %. Větší nárůst spotřeby paliva u bionafty souvisí s její větší tendencí vytvářet usazeniny. Ačkoliv vznik usazenin byl pozorován u obou paliv, bionafta vykazovala mnohem větší množství usazenin na vstřikovačích [71]. Se zvyšujícím se množstvím usazenin roste i spotřeba paliva.

Za účelem zjištění negativních vlivů úsad na vstřikovačích byly provedeny i další testy. Například test se čtyřválcovým benzínovým motorem s přímým vstřikováním paliva, kde byly záměrně použity přísady zrychlující tvorbu usazenin. Test probíhal po dobu 55 hodin a při otáčkách 2000/min. Po této době byla pozorována ztráta průtoku paliva vstřikovačem o 23,5 %. Zároveň se zvýšily emise výfukových plynů, výkon motoru se snížil o 1 % a spotřeba paliva vzrostla o 2,2 % [72].

Vliv detergentních aditiv na spotřebu paliva je testován jak pomocí laboratorních experimentů, tak v normálních provozních podmínkách. Jako příklad účinnosti aditiv lze uvést terénní zkoušku, při níž bylo vybráno 28 vozidel z běžného provozu. Ta byla po následujících 15 000 mil jízdy plněna palivem s přísadou účinnou vůči usazeninám. Po ujetí této vzdálenosti vykazovala všechna vozidla díky vyčištění palivového systému značnou úsporu paliva [5].

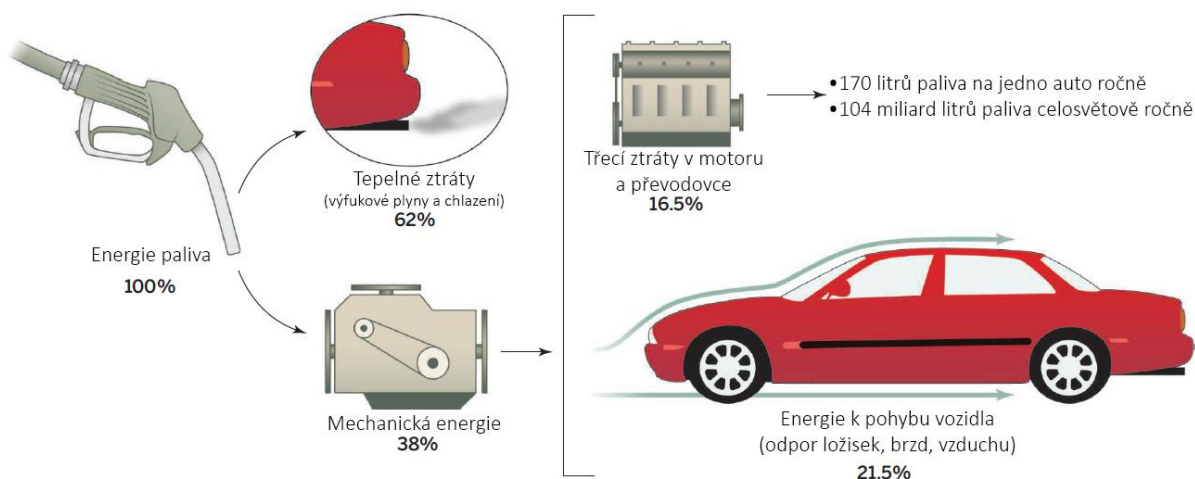
Podobný efekt DD aditiv na spotřebu paliva lze pozorovat i v laboratorních podmínkách. Byl proveden test na přeplňovaném motoru se systémem Common-Rail. Byla zhotovena dvě měření spotřeby paliva, a to před začátkem samotného testu a po ukončení testovací doby. Do třech stejných motorů s novými vstřikovači bylo použito a) základní palivo bez aditiv (DF 0), b) palivo s komerčně dostupným aditivem (DF D), c) palivo s termálně modifikovaným aditivem (DF A). Z vyhodnocení testu vyplývá, že rozdíly mezi počáteční hodnotou spotřeby paliva a konečnou se značně liší mezi jednotlivými užitými palivy. Zatímco DF 0 vykazovalo postupně vyšší a vyšší spotřebu, DF A i DF D spotřebu paliva snižovaly díky udržování palivového systému v čistém stavu bez přítomnosti usazenin (viz obr. 34) [73].



Obr. 34 Rozdíly v BSFC v testu u motoru Ford Duratorq TDC 2.0i 16V [73]

5.4 SPOTŘEBA PALIV CELOSVĚTOVĚ

Na celém světě je obrovský počet vozidel se spalovacím motorem, a proto i malé zlepšení účinnosti a emisí těchto motorů hraje zásadní roli ve světové spotřebě paliva a čistotě ovzduší. Díky aditivům, která dokáží zvýšit efektivitu motoru výše uvedenými způsoby lze ušetřit desítky miliard litrů pohonných hmot každý rok [57].



Obr. 35 Rozložení energie u vozidel se spalovacím motorem [57]

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo soustředit informace o palivových aditivech pro spalovací motory a zhodnotit jejich vliv zejména na usazeniny vznikající v palivové soustavě, na opotřebení a životnost komponent motorů a na spotřebu paliva. Vzhledem k rozsahu práce není problematika zpracována pro všechny typy paliv, ale zaměřuje se hlavně na nejrozšířenější paliva, a sice automobilový benzín a motorovou naftu, okrajově i na bionaftu.

Usazeniny se ve spalovacích motorech vytvářejí z paliva při úplně běžném provozu vozidla. Jejich nahromadění však může mít pro motor katastrofální následky. Aditivace paliv detergentními přísadami se ukázala jako velmi účinná cesta jak při odstraňování starších usazenin, tak i při udržování čistoty motoru. Čistota palivového systému, a dnes především čistota vstřikovačů, je rozhodující faktor pro správné fungování celé palivové soustavy. Vzhledem k tomu, že benzín i nafta pochází z neobnovitelných zdrojů energie, je v budoucnu velmi důležité se zaměřit na aditivaci bionafty, která má bohužel daleko vyšší tendence k vytváření usazenin.

Na snížení opotřebení součástí motoru se účinně podílejí mazivostní aditiva, která tření v motorech velmi snižují. Po zavedení procesu hydrodesulfurizace je jejich přidávání do nafty i benzínu naprosto nezbytným krokem k zajištění ochrany komponent palivové soustavy, jelikož jsou tyto komponenty závislé na mazání samotným palivem. V prodloužení životnosti spalovacího motoru hrají roli i další aditiva. Mezi ně patří například inhibitory koroze, které snižují množství otěrových částic v palivu, dále antioxidanty bránící vzniku nerozpustných částic ucpávajících části soustavy a také antidetonační aditiva, která předchází u benzínových agregátů klepání motoru. Samozřejmostí je, že i právě detergentní aditiva, efektivně bojující přísady s usazeninami, výrazným způsobem ovlivní samotnou životnost motoru. Proto je jejich zastoupení v oblasti aditivace paliva téměř 50 %.

Co se týče vlivu aditiv na spotřebu paliva, tak lze konstatovat, že aditiva nepřímo souvisí se spotřebou paliva, a to právě tak, že použitím mazivostních aditiv, detergentních aditiv a dalších dokážeme udržet spalovací motor dlouhodobě v dobré kondici. To se samozřejmě projeví i na samotné spotřebě paliva, což naznačuje i dlouhodobý test s výsledkem úspory paliva v návaznosti na přidání aditiv až o 7 %. Při zpracování této práce byl zjištěn i fakt, že u benzínových motorů se dostává nejlepší spotřeby paliva při tankování benzínu o oktanovém čísle právě takovém, jaké je doporučeno výrobcem motoru. Nižší ale i vyšší oktanové číslo, než je doporučeno, vede k nárůstu spotřeby pohonných hmot. Z toho vyplývá, že tankování prémiového paliva s oktanovým číslem 100 nemusí být vždy pro zákazníka tou nejlepší volbou.

Aditiva pro paliva moderních spalovacích motorů jsou tedy velmi důležitou součástí pro správné fungování automobilů s tímto typem pohonné jednotky. Aby byla paliva i nadále schopna splňovat nejnovější požadavky automobilek, bude do budoucna jistě důležitý další výzkum a vývoj aditiv. Nabízená paliva však musí zároveň vyhovovat i vozidlům se starším typem motoru, které se na silnicích bezpochyby vyskytují.

Je nutné zmínit, že některá konkrétní aditiva mají i jisté nevýhody. Bohužel ne všechna aditiva lze použít pro daný účel, neboť způsobují nežádoucí vlivy. Příkladem mohou být některé sloučeniny zinku, které výrazným způsobem snižují tření v motoru, ale současně také zvyšují tvorbu usazenin. Při výzkumu nových aditiv se musí kromě testování nežádoucích účinků testovat i jejich vzájemná tolerance. Jelikož se aditiva většinou dodávají v multifunkčních

balíčcích pohromadě, nesmí mezi jednotlivými typy aditiv docházet k jakékoliv nežádoucí reakci.

Některá aditiva mohou být také velmi finančně nákladná, kvůli čemuž je jejich využívání rafinériemi mnohem méně časté. Ekonomika zde hraje zásadní roli a vhodný poměr a kombinace v užívání technologických úprav a aditivace paliva nabízí správné řešení. Při volbě mezi rafinérským postupem a zvyšování kvality paliva aditivou je však nutné zvažovat všechny potenciální výhody i nevýhody a nezaměřovat se jen a pouze na co nejmenší finanční náklady. Dále je dobré poznamenat, že většina palivových aditiv je od určité koncentrace již dále neefektivní. Úkol pro výzkum není tedy pouze najít vhodná aditiva pro daný účel, nýbrž určit i přesnou koncentraci, při které jsou tyto přísady účinné a finančně výhodné.

Tato práce ukazuje, že aditiva do paliv nejsou jen multifunkční balíčky, které se dají koupit v obchodech či na čerpacích stanicích, jak by si hodně lidí při termínu „aditiva do paliv“ mohlo představit. Práce pojednává především o přísadách, jež jsou použity buď již v rafinériích, nebo prodejci pohonných hmot. Prémiová paliva čerpacích stanic by sice měla mít vyšší koncentraci přidávaných aditiv, nicméně běžnému zákazníkovi není vždy úplně jasné, která aditiva a v jaké míře dané palivo obsahuje. Nabízí se tedy otázka, jak by měl koncový zákazník rozpoznat, zda je užívání multifunkčních balíčků do prémiových i normálních paliv ke zvýšení koncentrace přísad výhodné. Tato multifunkční aditiva totiž opět neprozrazují své složení a koncentraci jednotlivých aditiv. Firmy, které je vyrábí, uvádí výhradně jejich možné pozitivní vlivy na spalovací motory. Zastávám se názoru, že při čerpání prémiového paliva od kvalitní čerpací stanice není potřeba palivo za běžných provozních podmínek těmito balíčky dále aditivovat. Na druhou stranu by mohlo být používání multifunkčních balíčků od pozitivně recenzovaných firem při tankování obyčejného paliva pro automobil tou správnou volbou.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] VLK, František. *Automobilová technická příručka*. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-9681-4.
- [2] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Výkladový automobilový slovník*. Vyd. 2., aktualiz. Brno: Computer Press, 2006. Auto-moto-profi (Computer Press). ISBN 80-251-1147-4.
- [3] MATĚJOVSKÝ, Vladimír. *Automobilová paliva*. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0350-5.
- [4] REIF, Konrad a Karl-Heinz DIETSCHKE. *Automotive handbook: Bosch - invented for life*. 8th ed., revised and extended. Chichester: John Wiley, 2011. ISBN 978-1-119-97556-4.
- [5] SRIVASTAVA, S. P. a Jenő HANCSÓK. *Fuels and fuel-additives*. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2013. ISBN 9780470901861.
- [6] FOLKSON, Richard. *Alternative fuels and advanced vehicle technologies for improved environmental performance: towards zero carbon transportation*. Amsterdam: Woodhead Publishing, an imprint of Elsevier, [2014]. Woodhead Publishing in energy, no. 57. ISBN 0857095226.
- [7] VIJAY KUMAR, M, A VEERESH BABU a P RAVI KUMAR. The impacts on combustion, performance and emissions of biodiesel by using additives in direct injection diesel engine. *Alexandria Engineering Journal* [online]. Elsevier B.V, 2018, **57**(1), 509-516 [cit. 2020-06-17]. DOI: 10.1016/j.aej.2016.12.016. ISSN 1110-0168. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016816303489>
- [8] HOSSEINZADEH-BANDBAFHA, Homa, Meisam TABATABAEI, Mortaza AGHBASHLO, Majid KHANALI a Ayhan DEMIRBAS. A comprehensive review on the environmental impacts of diesel/biodiesel additives. *Energy Conversion and Management* [online]. Elsevier, 2018, **174**, 579-614 [cit. 2020-06-17]. DOI: 10.1016/j.enconman.2018.08.050. ISSN 0196-8904. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890418308999>
- [9] RASHEDUL, H.K, H.H MASJUKI, M.A KALAM, A.M ASHRAFUL, S.M ASHRAFUR RAHMAN a S.A SHAHIR. The effect of additives on properties, performance and emission of biodiesel fuelled compression ignition engine. *Energy Conversion and Management* [online]. Elsevier, 2014, **88**, 348-364 [cit. 2020-06-17]. DOI: 10.1016/j.enconman.2014.08.034. ISSN 0196-8904. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890414007584>
- [10] IMDADUL, H. K., H. H. MASJUKI, M. A. KALAM, N. W. M. ZULKIFLI, M. M. RASHED, H. K. RASHEDUL, I. M. MONIRUL a M. H. MOSAROF. A comprehensive review on the assessment of fuel additive effects on combustion behavior in CI engine fuelled with diesel biodiesel blends. *RSC Advances* [online]. 2015, **5**(83), 67541-67567 [cit. 2020-06-17]. DOI: 10.1039/c5ra09563h. ISSN 2046-2069. Dostupné z: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/ra/c5ra09563h/unauth#!divAbstract>

- [11] RIBEIRO, Núbia M., Angelo C. PINTO, Cristina M. QUINTELLA, et al. The Role of Additives for Diesel and Diesel Blended (Ethanol or Biodiesel) Fuels: A Review. *Energy & Fuels* [online]. 2007, **21**(4), 2433-2445 [cit. 2020-06-17]. DOI: 10.1021/ef070060r. ISSN 0887-0624. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ef070060r>
- [12] JAKERIA, M.R, M.A FAZAL a A.S.M.A HASEEB. Influence of different factors on the stability of biodiesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. Elsevier, 2014, **30**(C), 154-163 [cit. 2020-06-17]. DOI: 10.1016/j.rser.2013.09.024. ISSN 1364-0321. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032113006837>
- [13] SARIN, Amit, Rajneesh ARORA, N SINGH, Rakesh SARIN, R MALHOTRA, Meeta SHARMA, Arif KHAN a Amit SARIN. Synergistic effect of metal deactivator and antioxidant on oxidation stability of metal contaminated Jatropha biodiesel. *Energy (Oxford)* [online]. 2010, **35**(5), 2333-2337 [cit. 2020-06-17]. DOI: 10.1016/j.energy.2010.02.032. ISSN 0360-5442. Dostupné z: <http://search.proquest.com/docview/1671246587/>
- [14] PHILLIPS. TAYMAN A. *Corrosion inhibitor for liquid fuels*. 1988. United States, 1988.
- [15] KARAMANGIL, M.I. a R.A. TAFLAN. Experimental investigation of effect of corrosion on injected fuel quantity and spray geometry in the diesel injection nozzles. *Fuel* [online]. 2013, **112**, 531-536 [cit. 2020-04-15]. DOI: 10.1016/j.fuel.2011.09.005. ISSN 00162361. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016236111005424>
- [16] SINGH, B, John KORSTAD a Y.C SHARMA. A critical review on corrosion of compression ignition (CI) engine parts by biodiesel and biodiesel blends and its inhibition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. Elsevier, 2012, **16**(5), 3401-3408 [cit. 2020-06-17]. DOI: 10.1016/j.rser.2012.02.042. ISSN 1364-0321. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032112001360>
- [17] BIRGEL, A, N LADOMMATOS, Pg ALEIFERIS, et al. Deposit Formation in the Holes of Diesel Injector Nozzles: A Critical Review. *SAE Technical Paper Series* [online]. SAE International, 2008, **2008**, 14 [cit. 2020-06-17]. DOI: 10.4271/2008-01-2383. ISBN 2008012383. ISSN 0148-7191. Dostupné z: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2008-01-2383/>
- [18] CAPROTTI, R., N. BHATTI a G. BALFOUR. Deposit control in modern diesel fuel injection systems. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants* [online]. 2010, **3**(2), 901-915 [cit. 2020-06-17]. DOI: 10.4271/2010-01-2250. ISSN 19463952. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/26272984?seq=1>
- [19] LOVELL, W.G. Combustion problems in internal combustion engines. *Symposium (International) on Combustion* [online]. Elsevier, 1955, **5**(1), 1-7 [cit. 2020-06-17]. DOI: 10.1016/S0082-0784(55)80007-0. ISSN 0082-0784. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0082078455800070>

- [20] DEMIRBAS, A, M. A BALUBAID, A. M BASAHEL, W AHMAD a M. H SHEIKH. Octane Rating of Gasoline and Octane Booster Additives. *Petroleum Science and Technology* [online]. Taylor & Francis, 2015, **33**(11), 1190-1197 [cit. 2020-06-17]. DOI: 10.1080/10916466.2015.1050506. ISSN 1091-6466. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10916466.2015.1050506>
- [21] HOEKMAN, S. Kent a Amber LELAND. Literature Review on the Effects of Organometallic Fuel Additives in Gasoline and Diesel Fuels. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants* [online]. SAE International, 2018, **11**(1), 105-124 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.4271/04-11-01-0005. ISSN 1946-3960. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/26554699?seq=1>
- [22] ZHANG, Wu-gao, Zhen HUANG a Zhen HUANG. Improving the Combustion and Emissions of Direct Injection Compression Ignition Engines Using Oxygenated Fuel Additives Combined with a Cetane Number Improver. *Energy & Fuels* [online]. 2005, **19**(5), 1879-1888 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1021/ef0500179. ISSN 0887-0624. Dostupné z: <http://search.proquest.com/docview/754549398/>
- [23] ULLMAN, Terry L., Kent B. SPREEN a Robert L. MASON. Effects of Cetane Number, Cetane Improver, Aromatics, and Oxygenates on 1994 Heavy-Duty Diesel Engine Emissions. *Journal of fuels & Lubricants* [online]. SAE International, 1994, (103), 682-702 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/44612376?seq=1>
- [24] TROETSCH-SCHALLER, Irene, I. G. CASTRO, M. SCHROERS, M. REBHOLZ a U. REHBERGER, F. DIETER. *Copolymer and use thereof for reducing crystallization of paraffin crystals in fuels*. 2017.
- [25] COUET, Julien, Frank-Olaf MÄHLING, Rene KOSCHABEK a Sandra KÜNZEL. Use of cold flow improver compositions for fuels, blends thereof with biofuels and formulations thereof. 2015.
- [26] KOZÁK, Petr. Prémiová motorová paliva. *AutoEXPERT*. 2011, **2011**(07+08), 41-43.
- [27] ČERNÝ, Jaroslav. Motorová nafta v zimě. *AutoEXPERT*. 2017, **2017**(07+08), 34-37.
- [28] PASSMAN, F.J. Microbial contamination and its control in fuels and fuel systems since 1980 – a review. *International Biodeterioration & Biodegradation* [online]. Elsevier, 2013, **81**(C), 88-104 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.ibiod.2012.08.002. ISSN 0964-8305. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830512002120>
- [29] BÜCKER, Francielle, Cristiane Santos BARBOSA, Patrícia Dörr QUADROS, et al. Fuel biodegradation and molecular characterization of microbial biofilms in stored diesel/biodiesel blend B10 and the effect of biocide. *International Biodeterioration & Biodegradation* [online]. Elsevier, 2014, **95**(Pt. B), 346-355 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.ibiod.2014.05.030. ISSN 0964-8305. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830514002170>

- [30] SIEGERT, Wolfgang. Microbial contamination in diesel fuel—are new problems arising from biodiesel blends. *Proceedings of the 11th international conference on the stability and handling of liquid fuels* [online]. Norderstedt, Germany, **2009**, 11 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Wolfgang_Siegert2/publication/234153551_Microbial_Contamination_in_Diesel_Fuel_-_Are_New_Problems_Arising_from_Biodiesel_Blends/links/02bfe50f95c0950a1a000000.pdf
- [31] TSESMELI, Chrysovalanti, George S DODOS a Fanourios ZANNIKOS. *Diesel Fuel Improvers and Their Effect on Microbial Stability of Diesel/Biodiesel Blends*. United States, 2018. DOI: 10.4271/2018-01-1751. ISSN 0148-7191. Dostupné také z: <https://saemobilus.sae.org/content/2018-01-1751>
- [32] FRIIHAUF a J. EDWARD. Demulsifier additive compositions for lubricants and fuels and concentrates containing the same. 1978.
- [33] WILKES, Mark F., David A. DUNCAN a Shaun P. CARNEY. Anti-static lubricity additive ultra-low sulfur diesel fuels. 2004.
- [34] DUNCAN, Richardson. *Antifoam fuel additives*. 2010.
- [35] DANILOV, A. Fuel Additives: Evolution and Use in 1996-2000. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils* [online]. New York: Kluwer Academic Publishers-Plenum Publishers, 2001, **37**(6), 444-455 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1023/A:1014231230570. ISSN 0009-3092. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1014231230570>
- [36] STEPIEŃ, Zbigniew. *Intake valve and combustion chamber deposits formation—the engine and fuel related factors that impacts their growth* [online]. 2014, , 7 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <http://archiwum.inig.pl/INST/nafta-gaz/nafta-gaz/Nafta-Gaz-2014-04-04.pdf>
- [37] MULQUEEN, Simon. The role of diesel fuel additives in improving and maintaining vehicle performance standards. *Goriva i Maziva* [online]. Zagreb: Hrvatsko Drustvo za Goriva i Maziva (Croatian Society for Fuels and Lubricants), 2017, **55**(4), 258-279 [cit. 2020-06-17]. ISSN 0350350X. Dostupné z: <http://search.proquest.com/docview/2076206313/>
- [38] XU, Hongming, Chongming WANG, Xiao MA, Asish K SARANGI, Adam WEALL a Jens KRUEGER-VENUS. Fuel injector deposits in direct-injection spark-ignition engines. *Progress in Energy and Combustion Science* [online]. Elsevier, 2015, **50**, 63-80 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.pecs.2015.02.002. ISSN 0360-1285. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128515000131>
- [39] DANILOV, A. Research on Fuel Additives During 2011-2015. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils* [online]. New York: Springer US, 2017, **53**(5), 705-721 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1007/s10553-017-0853-z. ISSN 0009-3092. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10553-017-0853-z>

- [40] FAMFULÍK, J., J. MÍKOVÁ a R. KRZYŽÁNEK. Opotřebení strojních soustav a vznik poruch. In: *Teorie údržby* [online]. Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2007, s. 72-85 [cit. 2020-06-19]. ISBN 978-80-248-1509-1. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TU/TU/4kapitola.pdf>
- [41] STODOLA, J. a P. STODOLA. Mechanical system wear and degradation process modelling. *Transactions of Famena* [online]. 2010, **34**(4), 19-32 [cit. 2020-06-18]. ISSN 13331124. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-79951541291&origin=inward&txGid=ef63e465a6a1393f7354c9e75a26f8b2>
- [42] ALI, Mohamed Kamal Ahmed, Hou XIANJUN, Mohamed A.A ABDELKAREEM, M GULZAR a A.H ELSHEIKH. Novel approach of the graphene nanolubricant for energy saving via anti-friction/wear in automobile engines. *Tribology International* [online]. Elsevier, 2018, **124**, 209-229 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.triboint.2018.04.004. ISSN 0301-679X. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X18301919?via%3Dihub>
- [43] PEŠEK, M. *Snižování tření a opotřebení u spalovacích motorů* [online]. Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: http://rs1234.wz.cz/img_m/prezentace_4r_pesek.pdf
- [44] POŠTA, J., P. VESELÝ a M. DVOŘÁK. *Degradace strojních součástí*. Praha: ČZU, 2002. ISBN 80-213-0967-9.
- [45] HONG, Wei, Wenjian CAI, Shaoping WANG a Mileta M TOMOVIC. Mechanical wear debris feature, detection, and diagnosis: A review. *Chinese Journal of Aeronautics* [online]. Elsevier, 2018, **31**(5), 867-882 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.cja.2017.11.016. ISSN 1000-9361. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1000936117302637>
- [46] PEŠLOVÁ, Františka, Přemysl JANÍČEK a Vladimír FUIS. Strukturalizace degračních procesů se zaměřením na kavitační opotřebení. *Scientific papers of the University of Pardubice* [online]. Univerzita Pardubice, 2000 [cit. 2020-06-18]. ISSN 1211-6610. Dostupné z: <https://dk.upce.cz/handle/10195/32072>
- [47] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011, 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [48] FAZAL, M.A, A.S.M.A HASEEB a H.H MASJUKI. Investigation of friction and wear characteristics of palm biodiesel. *Energy Conversion and Management* [online]. Elsevier, 2013, **67**(C), 251-256 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.enconman.2012.12.002. ISSN 0196-8904. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890412004578?via%3Dihub>
- [49] COMMON RAIL. *Diesel servis Brno a okolí* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <http://dieselservisbrno.cz/common-rail/>

- [50] MACIÁN, V, R PAYRI, B TORMOS a L MONTORO. Applying analytical ferrography as a technique to detect failures in Diesel engine fuel injection systems. *Wear* [online]. Elsevier B.V, 2006, **260**(4), 562-566 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.wear.2005.03.019. ISSN 0043-1648. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043164805002425?via%3Dihub>
- [51] MOHAN, Balaji, Wenming YANG a Siawkiang CHOU. Cavitation in Injector Nozzle Holes - A Parametric Study. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics* [online]. Taylor & Francis, 2014, **8**(1), 70-81 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1080/19942060.2014.11015498. ISSN 1994-2060. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19942060.2014.11015498>
- [52] WANG, Chao, Guo-xiu LI, Zuo-yu SUN, Lan WANG, Shu-ping SUN, Jiao-jiao GU a Xiao-jun WU. Effects of structure parameters on flow and cavitation characteristics within control valve of fuel injector for modern diesel engine. *Energy Conversion and Management* [online]. Elsevier, 2016, **124**, 104-115 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.07.004. ISSN 0196-8904. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019689041630574X>
- [53] TZANETAKIS, Tom, Alexander K. VOICE a Michael L. TRAVER. Durability Study of a High-Pressure Common-Rail Fuel Injection System Using Lubricity Additive-Dosed Gasoline-Like Fuel. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants* [online]. 2018, **11**(4), 319-335 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.4271/2018-01-0270. ISSN 1946-3960. Dostupné z: <http://web.b.ebscohost.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/ehost/detail/detail?vid=0&sid=9d1e956c-0ab6-4bc7-b8ba-9d0546b55c11%40pdc-v-sessmgr02&bdata=Jmxhbm9Y3Mmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=a9h&AN=133785481>
- [54] TSCHOEKE, Helmut a Klaus MOLLENHAUER. *Handbook of Diesel Engines*. Germany: Springer, 2010. DOI: 10.1007/978-3-540-89083-6. ISBN 978-3-540-89082-9.
- [55] DOS SANTOS FILHO, Dinécio, André Paulo TSCHIPTSCHIN a Hélio GOLDENSTEIN. Effects of ethanol content on cast iron cylinder wear in a flex-fuel internal combustion engine—A case study. *Wear* [online]. Elsevier B.V, 2018, **406-407**, 105-117 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.wear.2018.04.003. ISSN 0043-1648. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043164818300450>
- [56] HAZRAT, M.A, M.G RASUL a M.M.K KHAN. Lubricity Improvement of the Ultra-low Sulfur Diesel Fuel with the Biodiesel. *Energy Procedia* [online]. Elsevier, 2015, **75**(C), 111-117 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.07.619. ISSN 1876-6102. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215013879?via%3Dihub>
- [57] SCHWARZ, Udo D a Udo D SCHWARZ. Tribology. Tracking antiwear film formation. *Science (New York, N.Y.)* [online]. 2015, **348**(6230), 40-41 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1126/science.aaa3276. ISSN 00368075. Dostupné z: <https://science.sciencemag.org/content/348/6230/40/tab-pdf>

- [58] DANILOV, A. Progress in research on fuel additives (review). *Petroleum Chemistry* [online]. Moscow: Pleiades Publishing, 2015, **55**(3), 169-179 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1134/S0965544115030020. ISSN 0965-5441. Dostupné z: <http://web.b.ebscohost.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/ehost/detail/detail?vid=0&sid=f5f5361f-037a-4f2d-87d0-27c31943b5f1%40pdc-v-sessmgr02&bdata=Jmxhbmc9Y3Mmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#AN=102645193&db=bth>
- [59] LACEY, Paul I., Selda GUNSEL, Jose DE LA CRUZ a Margaret V. WHALEN. *Effects of High Temperature and Pressure on Fuel Lubricated Wear* [online]. 2001 [cit. 2020-06-18]. DOI: <https://doi.org/10.4271/2001-01-3523>. ISSN 0148-7191. Dostupné z: <https://saemobilus.sae.org/content/2001-01-3523>
- [60] ASHRAFUL, A.M, H.H MASJUKI, M.A KALAM, H.K RASHEDUL, H SAJJAD a M.J ABEDIN. Influence of anti-corrosion additive on the performance, emission and engine component wear characteristics of an IDI diesel engine fueled with palm biodiesel. *Energy Conversion and Management* [online]. Elsevier, 2014, **87**, 48-57 [cit. 2020-06-20]. DOI: 10.1016/j.enconman.2014.06.093. ISSN 0196-8904. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890414006189>
- [61] SAXENA, Vishal, Niraj KUMAR a Vinod.Kumar SAXENA. A comprehensive review on combustion and stability aspects of metal nanoparticles and its additive effect on diesel and biodiesel fuelled C.I. engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. Elsevier, 2017, **70**, 563-588 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.rser.2016.11.067. ISSN 1364-0321. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116308012>
- [62] BLAŽEK, Josef a Vratislav RÁBL. *Základy zpracování a využití ropy*. 2., přepr. vyd. Praha: VŠCHT, 2006, 254 s. : il. ISBN 80-7080-619-2.
- [63] SAYIN, Cenk, Ibrahim KILICASLAN, Mustafa CANAKCI a Necati OZSEZEN. An experimental study of the effect of octane number higher than engine requirement on the engine performance and emissions. *Applied Thermal Engineering* [online]. Elsevier, 2005, **25**(8-9), 1315-1324 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2004.07.009. ISSN 1359-4311. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431104002042>
- [64] SAYIN, Cenk. The impact of varying spark timing at different octane numbers on the performance and emission characteristics in a gasoline engine. *Fuel* [online]. Elsevier, 2012, **97**, 856-861 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.fuel.2012.03.013. ISSN 0016-2361. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236112002220>
- [65] IODICE, Paolo, Adolfo SENATORE, Giuseppe LANGELLA a Amedeo AMORESANO. Advantages of ethanol-gasoline blends as fuel substitute for last generation Si engines. *Environmental Progress & Sustainable Energy* [online]. Wiley Subscription Services, 2017, **36**(4), 1173 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1002/ep.12545. ISSN 1944-7442. Dostupné z: <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ep.12545>

- [66] KHALIFE, Esmail, Meisam TABATABAEI, Ayhan DEMIRBAS a Mortaza AGHBASHLO. Impacts of additives on performance and emission characteristics of diesel engines during steady state operation. *Progress in Energy and Combustion Science* [online]. Elsevier, 2017, **59**, 32-78 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.pecs.2016.10.001. ISSN 0360-1285. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036012851630003X>
- [67] XINGCAI, Lü, Huang ZHEN, Zhang WUGAO a Li DEGANG. THE INFLUENCE OF ETHANOL ADDITIVES ON THE PERFORMANCE AND COMBUSTION CHARACTERISTICS OF DIESEL ENGINES. *Combustion Science and Technology* [online]. Taylor & Francis Group, 2004, **176**(8), 1309-1329 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1080/00102200490457510. ISSN 0010-2202. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00102200490457510>
- [68] YESILYURT, Murat Kadir, Tanzer ERYILMAZ a Mevlüt ARSLAN. A comparative analysis of the engine performance, exhaust emissions and combustion behaviors of a compression ignition engine fuelled with biodiesel/diesel/1-butanol (C4 alcohol) and biodiesel/diesel/n-pentanol (C5 alcohol) fuel blends. *Energy* [online]. Elsevier, 2018, **165**(PB), 1332-1351 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.energy.2018.10.100. ISSN 0360-5442. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544218320905>
- [69] LARSSON, Elin, Petra OLANDER a Staffan JACOBSON. Boric acid as a lubricating fuel additive – Simplified lab experiments to understand fuel consumption reduction in field test. *Wear* [online]. Elsevier B.V, 2017, **376-377**(PA), 822-830 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.wear.2017.01.105. ISSN 0043-1648. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043164817302545>
- [70] LARSSON, Elin, Petra OLANDER a Staffan JACOBSON. Boric acid as fuel additive – Friction experiments and reflections around its effect on fuel saving. *Tribology International* [online]. Elsevier, 2018, **128**, 302-312 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.triboint.2018.07.004. ISSN 0301-679X. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X18303323>
- [71] LIAQUAT, A.M, H.H MASJUKI, M.A KALAM, M.A FAZAL, Abdul Faheem KHAN, H FAYAZ a M VARMAN. Impact of palm biodiesel blend on injector deposit formation. *Applied Energy* [online]. Elsevier, 2013, **111**(C), 882-893 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.06.036. ISSN 0306-2619. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261913005436>
- [72] XU, Hongming, Chongming WANG, Xiao MA, Asish K SARANGI, Adam WEALL a Jens KRUEGER-VENUS. Fuel injector deposits in direct-injection spark-ignition engines. *Progress in Energy and Combustion Science* [online]. Elsevier, 2015, **50**, 63-80 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.pecs.2015.02.002. ISSN 0360-1285. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128515000131>
- [73] ŻAK, Grażyna, Leszek ZIEMIAŃSKI, Zbigniew STĘPIEŃ a Michał WOJTASIK. Engine testing of novel diesel fuel detergent–dispersant additives. *Fuel* [online]. Elsevier, 2014, **122**, 12-20 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.12.055. ISSN 0016-2361. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001623611301199X>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AVSRA	Anti Valve Recession Seat Additive	Přísada proti zatloukání výfuk. ventilů
B10	B10 biodiesel	Nafta s 10 % bionafty
BSFC	Break Specific Fuel Consumption	Měrná spotřeba paliva
Ca	Calcium	Vápník
CCD	Combustion chamber deposits	Usazeniny ve spalovací komoře
CEC	Coordination Europ. Council	Evropská rada pro vývoj testů
CFPP	Cold Filter Plugging Point	Teplota filtrovatelnosti
CI	Common-Rail injection	Vstříkovací systém Common-Rail
CO		Oxid uhelnatý
CP	Cloud point	Bod zákalu
DD	Detergent Dispersants	Detergentní aditiva
DI	Direct injection	Přímé vstříkování paliva
E-10	E10 fuel	Palivo s 10 % etanolu
HFRR	High Frequency Reciprocating Rig	Evrop. norm. zk. na mazivost podle WSD
HP	Horsepower	Koňská síla (jednotka výkonu)
IDI	Indirect injection	Nepřímé vstříkování paliva
IVD	Intake valve deposits	Usazeniny na sacích ventilech
MEŘO		Methylester řepkového oleje
Mg	Magnesium	Hořčík
m_p		Měrná spotřeba paliva v $kg \cdot kW^{-1}h^{-1}$
NO_x		Oxidy dusíku
PD	Pumpe-Düse	Vstříkovací systém čerpadlo-tryska
PP	Pour point	Bod tuhnutí (tání)
ppm	Parts per milion	Částic na 1 milion (1 miliontina celku)
TEO		Tetraetylolovo
TMO		Tetrametylolovo
VLI	Vapor Lock Index	Index těkavosti
WASA	Wax AntiSettling Additive	Aditiva WASA
WSD	Wear Scar Diameter	Průměr otěrové stopy
ZDDP	Zinc Dialkyldithiophosphate	Dialkyldithiofosfáty zinku
Zn	Zincum	Zinek