

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Vliv množství a typu oleje na produkci pevných částic
dvoutaktního zážehového motoru**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Petr Jindra, Ph.D.

Autor práce: Bc. Zdeněk Hráský

PRAHA 2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Zdeněk Hráský

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Vliv množství a typu oleje na produkci pevných částic dvoutaktního zážehového motoru.

Název anglicky

Influence types of oil and oil volume of particulate matter in two stroke spark-ignition engine.

Cíle práce

Zjistit závislost mezi množstvím a typem mazacího oleje ve směsi s benzínem na produkci pevných částic dvoutaktního motocyklového motoru.

Metodika

1. Úvod
2. Rešerše – dvoutaktní motory, emise, oleje
3. Cíl práce
4. Metodika práce – stanovení postupu měření emisí
5. Praktická část práce
6. Výsledky a diskuse
7. Závěr

Doporučený rozsah práce

40-50

Klíčová slova

olej, pevné částice, nanočástice, dvoutaktní motor

Doporučené zdroje informací

ARCOUMANIS, C. a T. KAMIMOTO. Flow and Combustion in reciprocating engines. B.m.: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. ISBN 9783540641421.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, – TAKÁTS, M. *Měření emisí spalovacích motorů*. PRAHA: ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01632-3.

GLASSMAN, Irvin a Richard A. YETTER. Combustion. 2008. ISBN 9780120885732.

HROMÁDKO, J. *Spalovací motory : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.

PEXA, M. – ALEŠ, Z. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA JAKOSTI A SPOLEHLIVOSTI STROJŮ. *Technická diagnostika [elektronický zdroj] : cvičení..*

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Petr Jindra, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 24. 03. 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Vliv množství a typu oleje na produkci pevných částic dvoutaktního zážehového motoru“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 31.3. 2019

Poděkování

Tímto bych chtěl především poděkovat vedoucímu své diplomové práce, panu Ing. Petru Jindrovi, Ph.D. za odborné vedení a velmi cenné rady poskytnuté při vypracování této diplomové práce.

Autor

Vliv množství a typu oleje na produkci pevných částic dvoutaktního zážehového motoru

Abstrakt:

Tato diplomová práce se zabývá produkcí pevných částic dvoudobého motocyklového motoru v závislosti na použitém motorovém oleji. V teoretické části práce se nachází popis historie a principu činnosti dvoudobých motorů, dále popis mechanismu jejich mazání včetně specifikací a výkonových tříd mazacích olejů. Pozornost je zde věnována i problematice jízdnicích cyklů a přístrojům určených pro měření pevných částic emisí spalovacích motorů. V praktické části je popsáno nejen samotné měření a vyhodnocení vlivu množství a druhu oleje na produkci pevných částic, ale i přístrojové vybavení pro měření využité. Měření proběhlo v laboratorních podmínkách laboratoře Technické fakulty České Zemědělské univerzity v Praze.

Klíčová slova: dvoudobý motor, pevné částice, motorové oleje, měřicí metody

Influence types of oil and oil volume of particulate matter in two stroke spark-ignition engine

Abstract:

This diploma thesis deals with the production of solid particles of a two-stroke motorcycle engine depending on the used motor oil. The theoretical part of the thesis describes the history and principle of the two stroke engine, mechanisms of its lubrication, including the specifications and performance classes of lubricating oils. Attention is also paid on driving cycles and devices for measuring solid particles of combustion engines emissions. The practical part of the thesis describes not only the own measurement and the evaluation of the influence of the quantity and type of oil to the production of solid particles, but the used instrumentation too. The measurements were made in the laboratory conditions of the Faculty of Engineering laboratory of the Czech University of Life Sciences in Prague.

Key words: two stroke engine, particulate matter, engine oils, measuring methods

Obsah

1 Úvod	1
2 Rešerše	3
2.1 Dvoudobý motor	3
2.1.1 Pracovní oběh dvoudobého motoru.....	3
2.1.2 Historie dvoudobých motorů.....	5
2.1.3 Výměna náplně válce.....	7
2.1.4 Rozvod dvoudobých motorů	8
2.2 Mazání dvoudobých motorů	12
2.2.1 Tlakové a spádové mazání.....	12
2.2.2 Mazání mastnou směsí	12
2.2.3 Oddělené mazání	13
2.3 Motorové oleje.....	14
2.3.1 Specifikace olejů pro dvoudobé zážehové motory	16
2.4 Emise zážehových motorů	17
2.4.1 Pevné částice.....	20
2.4.2 Akustické emise.....	25
2.5 Měření emisí pevných částic.....	26
2.5.1 Ředění vzorku.....	27
2.5.2 Nástroje pro měření pevných částic.....	28
2.5.3 Jízdní cykly.....	34
3 Cíl práce	39
4 Metodika práce	39
5 Praktická část práce	40
5.1 Přístrojové vybavení	40
5.1.1 Přístroj pro rozdělení velikosti pevných částic EEPS 3090	40
5.1.2 Ředící zařízení s rotačním diskem, model 379020A.....	42
5.1.3 Válcová zkušebna	42
5.1.4 Ventilátor.....	44
5.1.5 Software válcové zkušebny	44
5.2 Zkušební motocykl	45
5.3 Použité motorové oleje	46
5.4 Postup měření	47
6 Výsledky měření a diskuse	49
6.1.1 Celková produkce pevných částic	49

6.1.2	Závislost velikosti a počtu PM na mísicím poměru	51
6.1.3	Porovnání produkce PM při odlišných jízdnicích konfiguracích	53
7	Závěr	56
8	Použité zdroje	58
8.1	Seznam obrázků	65
8.2	Seznam tabulek	66
8.3	Seznam grafů	66
9	Přílohy	67
9.1	Produkce PM v průběhu jízdnicího cyklu Artemis Urban (600 s)	67
9.2	Produkce PM při použití oleje Castrol 2T v průběhu jízdnicího cyklu Artemis Urban (600 s)	68
9.3	Produkce PM při použití oleje Stihl HP v průběhu jízdnicího cyklu Artemis Urban (600 s)	69
9.4	Produkce PM při použití oleje Mogul TSF v průběhu jízdnicího cyklu Artemis Urban (600 s)	70

1 Úvod

Problematiku emisí spalovacích motorů lze datovat již od 19. století, v jehož průběhu byly sestrojeny a postupně zdokonalovány první exempláře spalovacího motoru. Tento typ motoru byl vyvíjen s cílem nahradit v té době rozšířený parní stroj. Za úspěchem spalovacího motoru stojí Francouz J.J.E. Lenoir, jehož vozidlo s plynovým motorem bylo schopné samostatné jízdy. Lenoirovu myšlenku dále rozvíjel N.A. Otto, který založil první továrnu na motory na světě. Zde společně s E. Langenem rozvíjeli koncepci čtyřtaktu motoru a roku 1877 si jej nechali patentovat. Jejich motor se vyznačoval třetinovou spotřebou plynu oproti Lenoirovu motoru, byl ale hlučnější a méně spolehlivý. Spalovací motor dvoudobý zkonstruoval o dva roky později K. Benz, který se proslavil později svými čtyřdobými motory vlastní konstrukce. Za přispění dalších konstruktérů, jako byli Rudolf Diesel, Wilhelm Maybach a Gottlieb Daimler započala éra automobilismu a současně s ní i globální problém v podobě výfukových plynů. [1]

Česká republika se řadí mezi země s dlouholetou motoristickou tradicí a motorová vozidla zde zastávají zásadní úlohu v osobní i nákladní přepravě. V České republice připadá na 1000 obyvatel 467,8 osobních automobilů, čímž zaujímáme 28. místo z celkových 141 zemí, uvedených ve statistikách. Celosvětové prvenství zaujímá s 804 automobily na 1000 obyvatel karibský stát Portoriko. Průměrné stáří vozového parku je v České republice 14 let. Nachází se zde 60% vozidel starších deseti let a zhruba 80% vozidel starších než pět let. Naději na zlepšení statistiky stáří vozidel přináší fakt, že počet nově registrovaných osobních automobilů v ČR v roce 2017 vzrostl o asi 230 tisíc vozidel oproti předchozímu roku. Mezi lety 2005 a 2014 se celosvětový vozový park rozrostl o skoro 40%, ze kterých nejmarkantnější část připadla Asijskému kontinentu, konkrétně Číně a Indii. V těchto dvou zemích ale pro zajímavost stále však připadá 12 osob na jeden osobní automobil v případě Číny a 57 osob na osobní automobil v případě Indie. Asijský kontinent je také specifický tím, že po jeho cestách stále jezdí přibližně 60 milionů dvoudobých vozidel v podobě skútrů, tříkolek, tuk-tuků a rikš. [2],[3]

Prudký nárůst automobilové dopravy v posledních letech zapříčinil zejména pro města zvyšování úrovně znečištění vzduchu, které se promítá negativně v poškozování životního prostředí a hlavně vlivem na zdraví člověka. Problematické jsou škodliviny s karcinogenními účinky, jejichž koncentrace v ovzduší není ve většině případů legislativně korigována. Konkrétně se jedná o rizikové prvky, jako polyaromatické uhlovodíky (PAH), těkavé

organické látky a těžké kovy. Polyaromatické uhlovodíky jsou redukovány za použití katalyzátorů u zážehových motorů s úspěšností až 90%. [4]

V současnosti se u zážehových motorů stává standardem přímé vstřikování paliva a u vznětových motorů vysokotlaký systém vstřikování common rail. Díky těmto opatřením při přípravě směsi se podařilo výrazně snížit spotřebu paliva a tím zároveň i produkované emise. Také je znatelný pokrok v redukcí škodlivin po spalování, který představují mimo katalyzátorů filtry pevných částic a selektivní katalytická redukce.

„Motory dvoutaktní dnes používané v menších motocyklech, zahradní a speciální technice nebývají většinou vybaveny dodatečným katalytickým systémem, a tak mohou být významným zdrojem polyaromatických uhlovodíků.“ [4]

Možnou změnu ve prospěch dvoutaktních motorů v oblasti emisí a spotřeby paliva představuje přímý vstřík paliva, který umožňuje lepší spalování směsi, chlazení pístu a díky nastavitelnému okamžiku vstříku zabraňuje nespálenému palivu dostat se do výfuku. Významnou nevýhodou přímého vstřikování je však potřeba vysokotlakového palivového čerpadla a větší prostorová náročnost tohoto řešení. [5]

2 Rešerše

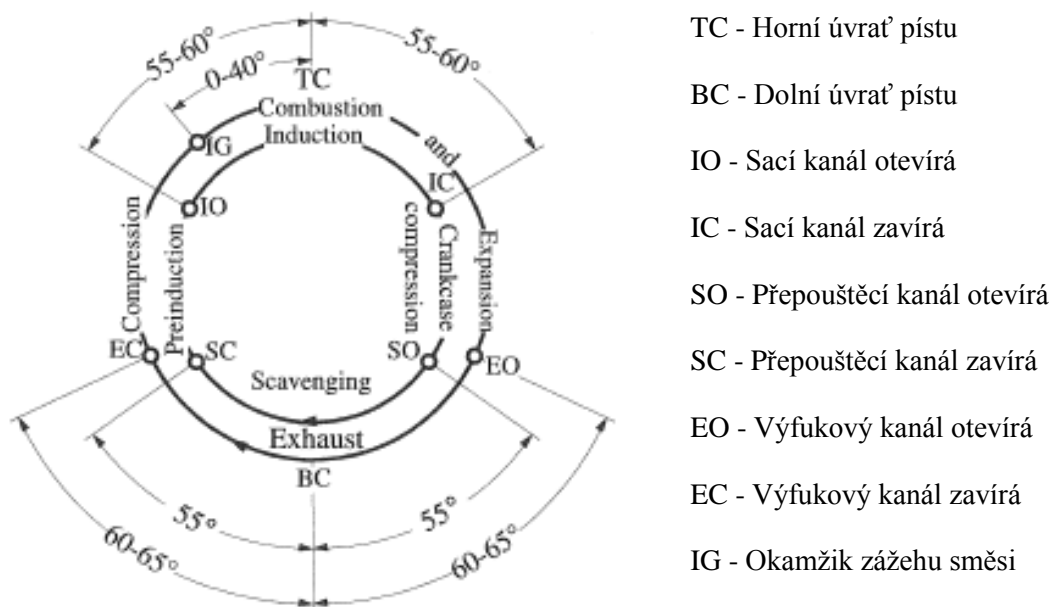
Obsahem následujících kapitol jsou teoretické poznatky, týkající se problematiky dvoudobých motorů a maziv jimi používaných. Teoretická část současně popisuje emise spalovacích motorů se zaměřením na pevné částice a způsoby jejich měření.

2.1 Dvoudobý motor

Motory využívající dvoudobý cyklus jsou považovány za specifickou pohonnou jednotku, která poskytuje vysoký výkon a zároveň je kompaktní, jednoduchá a lehká. Světově největší (30 000 MW) a nejmenší (15 W) pístové spalovací motory ke své činnosti využívají právě cyklus dvoudobý. Koncepční řešení motoru může být buď zážehové, nebo vznětové, kde je nasáván čistý vzduch s přídavkem mazacího oleje. [1], [6]

2.1.1 Pracovní oběh dvoudobého motoru

Dvoudobé motory jsou charakteristické tím, že celý oběh motoru, tj. sání, komprese, expanze a výfuk probíhá za dva zdvihy pístu, tj. jednu otáčku klikové hřídele. Vzhledem k tomu, že dvoudobý cyklus neobsahuje samostatné sací a výfukové zdvihy, je zapotřebí ovládat výměnu náplně válce vhodně tvarovaným systémem kanálů a zapojit do procesu výměny i spodní plochu pístu. Obrázek č. 1 představuje posloupnost cyklů dvoudobého motoru v kruhovém diagramu. Vnější kruh zobrazuje procesy uvnitř válce a kruh vnitřní zobrazuje procesy uvnitř klikové skříně.



Obrázek 1: Kruhový diagram dvoudobého zážehového motoru [6]

Cyklus začíná pohybem pístu z dolní do horní úvratí, čímž vzniká podtlak v utěsněné klikové skříně. Následuje otevření přívodu čerstvého média, které proudí do klikové skříně. Současně s tím je po uzavření výfukového kanálu stlačováno médium v pracovním prostoru válce. Před horní úvratí je médium buď zapáleno elektrickou jiskrou, nebo vznícením díky vstříknutí paliva. S následujícím pracovním zdvihem dochází otevřením výfukového kanálu k rychlému odvodu spalin z válce, kde nastává prudký pokles tlaku. Současně s tím se snižuje objem klikové skříně, čímž vzniká tlak, který po otevření přepouštěcího kanálu způsobí proudění čerstvé směsi z klikové skříně do spalovacího prostoru. Během výměny náplně spalovacího prostoru se část čerstvé směsi dostává i do výfuku a současně je část spalin ze spalovacího prostoru nedokonale odstraněna. Proces výměny plynů je ukončen v momentu, kdy píst překryje výfukový kanál. [1], [6]

Alternativou ke stlačení čerstvé náplně může být na místo klikové skříně použití kompresoru poháněného klikovou hřídelí. Toto řešení poskytuje kompresi již při spouštění motoru a při nízkých rychlostech. Při rychlostech vyšších je kompresor schopen zajistit vyšší průtok vzduchu a tím i kladně ovlivnit výkon motoru. [6]

Popisem kvality výměny obsahu válce se zabývají následující ukazatelé, z nichž první hovoří o tzv. stupni plnění. Tento součinitel porovnává celkové množství směsi V_s , dopravené do válce a zdvihový objem válce V_z . [7]

$$\lambda_p = \frac{V_s}{V_z} \quad (1)$$

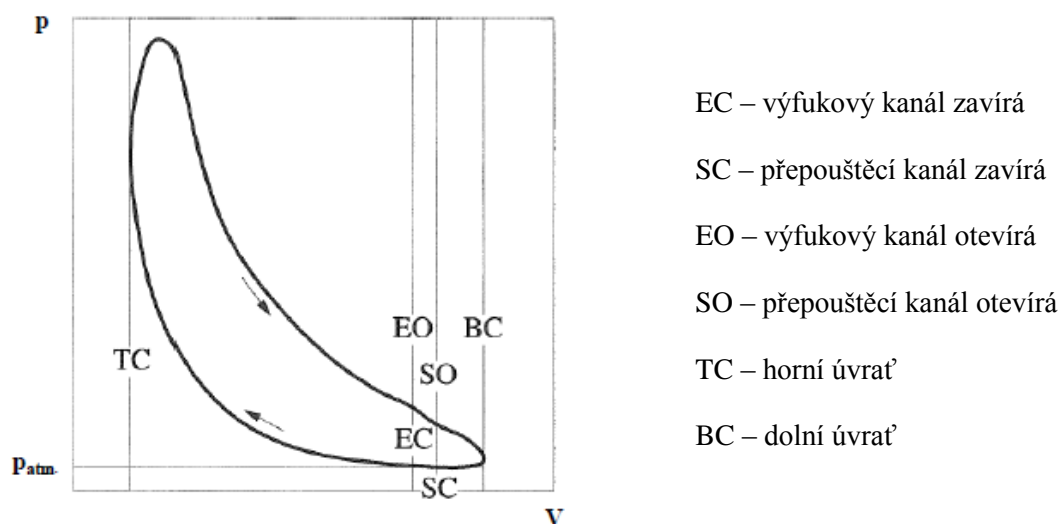
Součinitel λ_p charakterizuje funkci kompresoru, případně plnění z klikové skříně, jehož hodnota pohybuje v rozmezí 0,6 až 0,9. Účinnost plnění, tzn. množství čerstvé náplně V_u , která zůstala ve válci po zavření výfukového kanálu, charakterizuje součinitel η_p . Běžně se jeho hodnota pohybuje opět až do hodnoty 0,9 a je charakterizován následujícím vztahem:

$$\eta_p = \frac{V_u}{V_z} \quad (2)$$

Podíl obou zmíněných součinitelů pak charakterizuje množství náplně ve válci vůči množství veškeré přivedené náplně a dosahuje hodnot do 0,7. [7]

Rozborem pracovního oběhu motoru lze posuzovat důležité veličiny motoru. Přeměna chemické energie paliva na mechanickou práci spalovacího motoru představuje složitý děj, který pro své vyjádření vyžaduje určitá zjednodušení. Podle úrovně zjednodušení se využívá oběh ideální nebo teoretický. V případě ideálního pracovního oběhu se neuvažuje výměna pracovní náplně, oběh je dokonale vratný, pracovní látkou je čistý dvouatomový plyn a přívod

tepla do ideálního pracovního oběhu probíhá pouze za stálého objemu nebo tlaku. Jeho odvod z oběhu probíhá pouze za stálého objemu. S pomocí ideálního pracovního oběhu lze posoudit pouze rozdíly mezi základními typy motorů, jako je zážehový nebo vznětový. Teoretický oběh ilustruje skutečnost lépe než ideální a umožňuje již posouzení motorů stejného typu. Předpokládá se zde mimo jiné, že dochází k výměně náplně válce, díky čemuž lze rozlišit motory dvoudobé a čtyřdobé. Průběh skutečného pracovního oběhu lze zjistit pouze za pomoci vysokotlakého snímače v pracovním prostoru a snímače pootočení klikového hřídele. Výsledek průběhu tlaku v závislosti na zdvihovém objemu se nazývá indikátorový diagram a pro dvoudobý motor je znázorněn na obrázku č. 2. Ovlivňují jej tlakové, mechanické a průtokové ztráty a zejména výměna tepla mezi pracovní náplní a pracovním prostorem válce. [1], [8]



Obrázek 2: Pracovní oběh dvoudobého zážehového motoru [6]

2.1.2 Historie dvoudobých motorů

Za vznik dvoudobého plynového motoru vděčíme K. Benzovi, který jej sestrojil roku 1879. Dokud nebyly objeveny přepouštěcí kanály, pozornost většiny konstruktérů směřovala motorům s ventilovým rozvodem. První bezventilový dvoudobý motor si nechal patentovat Angličan Joseph Day roku 1891. Chod motoru tehdy ovládala dvojice membrán v sacím kanálu a v plášti pístu. Přepouštěcí kanály jako první použil Joseph Day ve svém motoru pohánějícím malý generátor. V době vzniku prvních spalovacích motorů veřejnost očekávala jejich vyšší výkon a čtyři pracovní fáze během dvou zdvihů měly teoreticky přinést dvojnásobný výkon z daného objemu. První zážehové dvoudobé motory se koncem 19. století uplatňovaly pro svoji nízkou hmotnost v motocyklech. Většina tehdejších motocyklů měla motor zabudovaný napevno v neodpruženém bicyklovém rámu a pohon zadního kola řešen

soustavou řemenic s koženým řemenem, který nezřídka padal a učinil provoz motocyklu nebezpečným. [1],[9]

S moderně koncipovaným motocyklem přišel na počátku dvacátého století Alfred Angas Scott. Jím navržený dvoudobý motocykl "Squirrel" s řadovým dvouválcem o objemu 450 cm³ dokázal díky mnoha pokrokovým řešením vítězit v řadě soutěží. Pro svůj motocykl použil termosifonové vodní chlazení hlavy válců, písty s deflektorem, nožně ovládanou převodovku, řetězový primární i sekundární převod a ztrátové mazání motoru mastnou směsí. Motocykly značky Scott zažily největší slávu v období do druhé světové války. Po válce se firma zaměřila pouze na zakázkové stroje až do osmdesátých let, kdy firma zanikla úplně. [9], [10]

Díky jednoduchosti konstrukce se dvoudobé motory dočkaly rozmachu ve dvacátých letech 20. století. Za tímto rozmachem se podílel velkou měrou dánský konstruktér Jörgen Skafte Rasmussen, který stojí za vznikem firmy DKW. DKW produkovala pouze dvoudobé motory, které exportovala do celého světa, a mnozí výrobci se jimi inspirovali. Tato firma, později přejmenovaná na MZ v německém Zschopau v roce 1928 produkovala nejvíce motocyklů na světě. Za zmínku stojí i další Rasmussenovo prvenství, ve stejném roce jeho podnik jako první v Německu produkoval vozidla s pohonem předních kol. V produkci firmy se v meziválečném období objevovaly vodou chlazené motory a za zmínku stojí i převzetí patentu firmy Puch – dvoupístového jednoválce. Dvoupístový jednoválec pracoval na principu pohybu dvou pístů rozdílných ojníc připevněných na společném čepu klikové hřídele. Písty se vzájemně předbíhaly, což vedlo ke vhodnějšímu časování otevírání kanálů, nicméně problémy s chlazením tento typ motoru odsunuly na vedlejší kolej. Popularitě dvoudobých motorů přispěl též patent Dr. Adolfa Schnürleho, týkající se vratného vyplachování válce, jež přispěl k hospodárnějšímu provozu motorů. [11]

Konec šedesátých let 20. století se stal v mnohých zemích pro dvoutaktní motory osudový díky nízké ekonomičnosti způsobené spotřebou paliva a ztrátovému mazání motoru. Tyto skutečnosti ze severoamerických a západoevropských trhů vytlačily karburátorové vozy Saab a Suzuki. Trhy východoevropské ovládaly až do konce osmdesátých let vozidla značek Trabant a Wartburg, jejichž motory přežily víceméně beze změny téměř padesát let. V polovině devadesátých let v severní Americe dvoudobé motory téměř vymizely, zatímco v Evropě a Austrálii stále pokračoval jejich vývoj. V současné době dvoudobé motory používají přímý vstřik paliva a své využití našly u lodních motorů, sněžných skútrů, mopedů a malé mechanizace. [12]

2.1.3 Výměna náplně válce

Proces výměny náplně válce výrazně ovlivňuje provozní parametry motoru a současně s tím i složení emitovaných plynů. Výfuk exhalací a plnění válce čerstvou směsí probíhá současně a v porovnání se čtyřdobým motorem za velmi krátký okamžik. Pro srovnání, spaliny motorů čtyřdobých unikají otevřením ventilu cca 240° z pootočení klikové hřídele, u motorů dvoudobých je výfukový kanál otevřen pouze zhruba 130° . Obdobně je tomu v případě dopravení čerstvé náplně do válce, kdy motor čtyřdobý má k dispozici až 300° z pootočení klikové hřídele, motor dvoudobý však pouze zhruba 120° . K urychlení výměny náplně přispívá vhodně zvolený tvar setrvačníků a co nejmenší volný prostor klikové skříně. Tento prostor lze eliminovat různými vložkami z tepelně odolných materiálů, díky kterým se nasátá směs může více stlačit a přepuštění směsi do válce tak díky většímu tlaku proběhne rychleji. [9], [13]

Samotná výměna náplně válce počíná v okamžiku, kdy píst otevře svojí horní hranou přepouštěcí kanály a směs stlačená v klikové skříně proudí do spalovacího prostoru válce. Zde nahradí právě proudící výfukové plyny, přičemž je důležité, aby nedocházelo ke vzájemnému promísení. Z toho důvodu bylo postupem času shledáno za vhodné použití více přepouštěcích kanálů a vhodně koncipovaného výfukového systému. Výfukový systém musí spolehlivě odvést spaliny a současně zlepšovat průběh vyplachování. [13], [14]

2.1.3.1 Příčné vyplachování

Historické provedení vyplachování, kdy přepouštěcí a výfukové kanály leží na protilehlých stěnách válce a čerstvá směs proudí zkratovými proudy spalovacím prostorem přímo do výfukového kanálu. Proud směsi usměrňoval deflektor, který způsoboval vysokou hmotnost pístu, posouval těžiště pístu mimo osu válce a značně ohříval směs proudící do válce motoru. [13]

2.1.3.2 Souproude vyplachování

Řízení výfuku i přepuštění směsi do válce je na sobě nezávislé a rozvod je vždy nesymetrický (pojem značí odlišný okamžik otevření a zavření výfukového a přepouštěcího kanálu). Přepouštěcí kanály bývají umístěny na obvodu válce a přiváděné směsi může být vhodným tangenciálním tvarem kanálů udělena rotace. Kanál v hlavě válce může plnit funkci plnicí, či výfukovou a jeho ovládání je zajištěno ventilem a vačkovým hřídelem. U motocyklů se toto vyplachování používalo u motorů se dvěma písty na společné ojnici v jednom válci.

Dnes se toto vyplachování používá u lodních dvoudobých vznětových motorů, jejichž vrtání se běžně pohybuje v řádu jednoho metru. [9],[13]

2.1.3.3 Vratné vyplachování

Tento způsob vyplachování plní požadavky dokonalého výplachu válce motoru od spalin a dobrého naplnění válce čerstvou směsí. Proud směsi z přepouštěcích kanálů směřuje na zadní stěnu válce, kde se směs obrací zpět k výfukovému kanálu. Do výfukového kanálu odchází minimum čerstvé směsi a díky vhodnému tvarování minimálně dvou přepouštěcích kanálů je dosaženo víceúrovňového proudění ve válci motoru. Výroba motorů není příliš složitá, důraz je hlavně kladen na geometrii přepouštěcích kanálů. [13],[15]

2.1.4 Rozvod dvoudobých motorů

„U dvoudobých motorů zajišťují rozvodové orgány řízení sání směsi paliva se vzduchem do klikové skříně motoru, kde dochází k jejímu stlačení. Dále je řízeno přepouštění této stlačené směsi do válce motoru a odvod spalin z válce do výfukového systému.“ [1]

2.1.4.1 Rozvod sání

Rozvod sání určuje okamžik otevření a uzavření vstupního kanálu pro čerstvou směs do klikové skříně motoru. Rozvody se rozlišují na symetrické a nesymetrické. Symetrický rozvod ve stejném okamžiku před a za horní úvratí otevírá a uzavírá výfukový, přepouštěcí a sací kanál. Díky tomu dochází ke dřívějšímu uzavření přepouštěcího kanálu, namísto výfukového a čerstvá směs tak uniká do výfuku. Zároveň není dostatečně využit potenciál podtlaku v klikové skříně k nasátí maximálního množství směsi. Moderní dvoudobé motory proto používají pro svoji funkci nesymetrický rozvod sání. [13]

2.1.4.1.1 Rozvod pístem

Rozvod pístem je považován za nejjednodušší a nejméně finančně nákladný. Čerstvá směs je nasávána vlivem podtlaku do klikové skříně po otevření sacího kanálu. Otevření a zavření kanálu je závislé na úhlu otočení klikového hřídele a probíhá symetricky.

„Rozvod pístem se vyznačuje nízkou objemovou účinností mimo otáčky návrhového režimu a vznikem pulsací v sacím potrubí při vyšším zatížení a nízkých otáčkách motoru.“ [13]

Pulsace v sání zapříčiňují v závislosti na otáčkách, buď únik směsi z karburátoru přes čistič vzduchu do okolního prostředí, nebo přílišné obohacení směsi palivem, které přispívá

k nárůstu spotřeby a zvýšení obsahu CO a zbytkových HC ve výfukových plynech. Dochází zde i k mechanickému opotřebení hrany sacího kanálu hranou pístu. Toto opotřebení lze řešit vyosením pístního čepu směrem od sacího otvoru. [13]

2.1.4.1.2 Rozvod válcovým šoupátkem

Použití válcového šoupátka přineslo možnost nesymetrického řešení stávajícího pístového rozvodu a omezení vzniku pulsací v sacím traktu. Sání řídí válcové šoupátko umístěné na klikové skříně, které je poháněno klikovým hřídelem s převodovým poměrem 1:2. Šoupátko je typické svojí hlučností a díky malé radiální vůli má sklony k zadírání. Jako nevhodné se postupem času ukázalo i pomalé otevíření sacího kanálu, který byl navíc poměrně dlouhý a zvětšoval škodný prostor klikové skříně. [13]

2.1.4.1.3 Rozvod kotoučovým šoupátkem

Za patentem kotoučového šoupátka stojí závodní divize východoněmecké MZ, kde jej použili již v padesátých letech. Čerstvá směs v tomto případě proudí přes rotační šoupátko přímo do klikové skříně. Kotouč je pevně spojen s klikovým hřídelem, jehož rameno bývá pro zvětšení průtočného průřezu zkoseno. Kotouč šoupátka bývá vyroben z ocelového plechu, či už běžně z kompozitních materiálů do tloušťky 0,8 mm. Důležitým faktorem je hmotnost kotouče, proto je všeobecně snaha o co nejtenčí provedení kotouče. V počátcích výroby se osvědčil pertinax a jemu podobné otěruvzdorné materiály. Vhodnou volbou časování uzavření sacího kanálu lze eliminovat pulsace v sání. Díky své konstrukci lze šoupátko operativně měnit, čímž se dosáhne změny časování rozvodu sání. [9],[13]

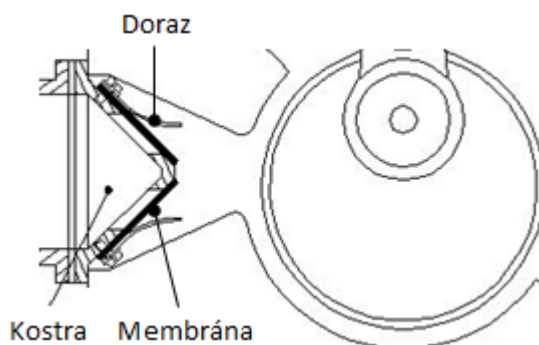
Mazání šoupátka se řeší ztrátově mazivem obsaženým v palivu. Karburátor je zde umístěn ve víku klikové hřídele, díky čemuž je sací kanál krátký a směs proudí s malými ztrátami velkými průřezy.

„Nevýhodou tohoto řešení je zvětšení šířky motoru a problémy s umístěním zapalování na klikové hřídeli“ [13]

Problém se šířkou motoru a náchylností karburátoru na poškození řešil dlouhý sací kanál od šoupátka za válec motoru, kam byl karburátor přesunut. Toto prodloužení kanálu nejen eliminovalo možnost poškození karburátoru, ale mělo i kladný vliv na točivý moment.

2.1.4.1.4 Rozvod jazýčkovým ventilem

Technika jazýčkových ventilů se v současnosti hojně využívá u rychloběžných motorů, kde zcela zamezuje pulzacím v sání. Jazýčkový ventil je považován za nástupce kotoučových šoupátek. Tato konstrukce totiž nevyžaduje volný konec klikového hřídele pro každý válec, čehož je zejména u víceválcových motorů problém dosáhnout. Karburátor lze společně s blokem jazýčkových membrán díky své prostorové nenáročnosti umístit libovolně na klikovou skříň. Potenciálním rizikem může být vznik turbulencí v sání, zapříčiněných odporem, který nosná část ventilu klade proudící směsi. Na následujícím obrázku je jazýčkový ventil vyobrazen. [9]



Obrázek 3: Jazýčkový ventil

Zdroj: <http://greenhulk.net/forums/showthread.php?t=37568>

Nosnou částí ventilu je kostra z hliníkové slitiny, opatřena dorazy a navulkanizovaným utěsněním pružných segmentů. Ventil tvoří membrána s pružnými segmenty, tzv. jazýčky, které se otevírají při sacím zdvihu. Po změně tlaku membrána zabrání unikání směsi a tím dochází ke zlepšení plnění. Jazýčky se vyrábějí z plastických hmot do tlouštěk 0,6 mm. Na materiál membrány je kladen velký důraz, jelikož jejich selhání může znamenat destrukci celého motoru. [9]

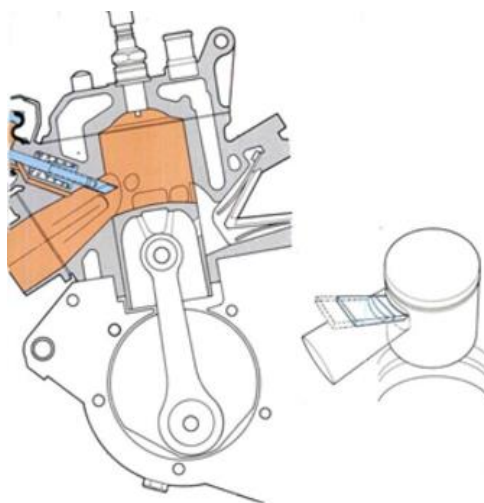
2.1.4.2 Rozvod výfuku

Výfukový systém motorů s dvoudobým oběhem má podstatný vliv na provozní parametry motoru. Jeden výfukový systém vyhovuje teoreticky pouze úzkému rozsahu otáček motoru a z toho důvodu je výsledná konstrukce výfuku přizpůsobena nejpoužívanějším hodnotám otáček. Úkolem správně dimenzovaného výfukového systému je pomáhat odchodu výfukových plynů z válce a jejich odchodem zlepšovat průběh vyplachování.

K řízení výfuku se používá výhradně horní hrana pístu. Píst svojí horní hranou při pohybu z horní úvrati otevírá výfukový kanál, který může být pro snížení opotřebení pístních kroužků rozdělen přepážkou. Konstrukce této přepážky současně musí bránit jejím deformacím směrem do válce vlivem vysokých teplot. Opotřebení pístních kroužků může být

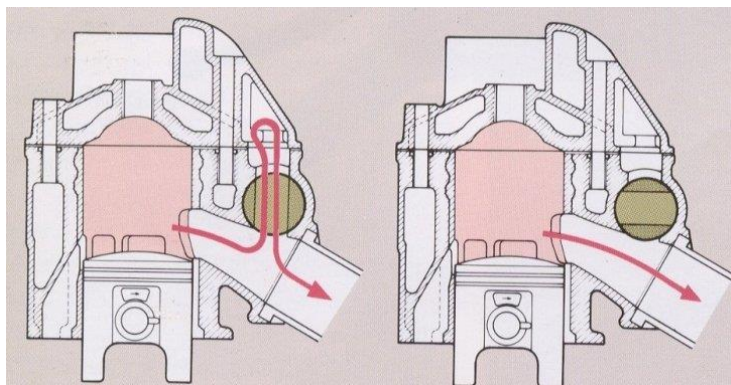
také omezeno použitím dvou pomocných otvorů se zachováním časování. Otevřením výfukového kanálu vznikne přetlaková vlna, která se šíří rychlostí zvuku a způsobuje pohyb plynů směrem od motoru ven. Tlaková vlna odrážející se na volném konci potrubí působí kmitavý pohyb ve směru podélné osy výfuku. Toto kmitání je prospěšné ke zpětnému pohybu uniklých plynů zpět do válce a dosáhne se ho díky vhodné geometrii výfukového potrubí. [14]

Na průběh točivého momentu motoru má vliv rezonanční délka potrubí, která může být mnohdy proměnná, případně regulována klapkami a mezikusy v potrubí. Častějším řešením je změna okamžiku otevření výfukového kanálu. Na obrázku č. 4 je znázorněn systém Rotax Advanced Variable Exhaust (RAVE), jež právě díky ovládanému mechanismu ve výfukovém kanálu umožňuje variabilně měnit okamžik otevření kanálu. [14],[16]



Obrázek 4: RAVE systém [16]

Průběh točivého momentu ovlivňuje rovněž objem výfukového potrubí, a ten lze operativně měnit díky konstrukčnímu řešení SAEC (Suzuki Automatic Exhaust Chamber). Princip spočívá ve změně periody odražené tlakové vlny otevíráním přídavné komůrky a jeho funkci popisuje následující obrázek. Obdobné řešení představila i konkurenční Honda a Kawasaki. [17],[18]



Obrázek 5: Konstrukční řešení SAEC [18]

2.2 Mazání dvoudobých motorů

Vlivem vzájemného pohybu částí klikového mechanismu vzniká tření, které způsobuje ohřev a tím i tepelnou roztažnost. Tepelná roztažnost je nežádoucí zejména díky vzrůstajícímu odporu proti pohybu, který postupem času zapříčiní zadření mechanismu. Úkolem mazací soustavy motoru je dávkování mazacího oleje k exponovaným místům a změnit tak suché tření na kapalinné. Ačkoliv olejový film dosahuje výšky pouze několik setin milimetru, musí odolat vysokému tlaku a teplotám, které panují např. na stěnách válce.

„Důležitou funkcí mazání je i ochrana kovových dílů motoru před oxidací a dalšími chemickými vlivy.“ [14]

Olej současně napomáhá pístním kroužkům dotěsnit spalovací prostor a všeobecně podporuje odvod tepla. Vydátnost chlazení závisí na množství oleje dopraveného ke třecím plochám. Konstrukčně se u dvoudobých motorů rozšířilo několik způsobů řešení mazání, které budou popsány dále. [14], [19]

2.2.1 Tlakové a spádové mazání

Všechny mazací olej je přiváděn přímo k místům spotřeby a navíc je oddělen od paliva, tudíž nedochází k jeho spalování. Rozdíl mezi tlakovým a spádovým mazáním je ve způsobu dopravy maziva. Použitím olejového čerpadla je vyvozen mazací tlak, což však zdražuje konstrukci. Spádové mazání využívá gravitaci a je zde nutnost umístit olejovou nádrž do dostatečné výšky. [19]

2.2.2 Mazání mastnou směsí

Mazání mazivem rozptýleným v palivu se dá z určitého hlediska brát jako přednost dvoudobého motoru, jelikož snižuje pořizovací náklady i možnost poruchy. Jedná se však stále o druh ztrátového mazání, u něhož se přivedený olej zčásti spálí a zčásti odchází výfukovým potrubím v podobě emisí. Zbytky oleje v podobě karbonu a dehtu, způsobují provozní potíže v pracovním prostoru válce, klikové skříně a v tlumiči výfuku. Množství těchto zbytků závisí na množství přimíchaného oleje a také na jeho kvalitě.

Poměr mísení benzínu s olejem je předepsaný výrobcem motoru a pohybuje se v hodnotách od 1:20 pro starší stroje až do 1:100 pro stroje soudobé. Tento poměr se může lišit v průběhu záběhu nového motoru s hodnotou po jeho zaběhnutí. Stanovení mísičního poměru vychází ze situace, kdy motor vyžaduje největší množství oleje, ve všech ostatních

podmínkách je motor přemazáván. Přebytek oleje se podepisuje kouřením při akceleraci a při trvale více zatíženém motoru, což se spolu se zápachem stalo neslavným symbolem dvoudobých motorů. Pro dopravní prostředky, jejichž motory jsou mazané mastnou směsí, je nebezpečné nedostatečné mazání na dlouhých sjezdech, kdy jezdec nepřidává plyn. [9], [14]

„Přiváděním oleje do motoru společně se zápalnou směsí nejsou zcela spolehlivě mazána hlavní ložiska klikového hřídele, poněvadž neleží v jejím přímém proudu.“ [14]

Uvedenému nedostatku je konstrukčně přizpůsobena kliková skříň motoru osazením drážkou, která přivádí olej zachycený na stěnách vlivem rotace ramen k hlavnímu ložisku hřídele. U motocyklů mohou být hlavní ložiska klikové hřídele současně utěsněna od spalovacího prostoru a mazána náplní převodovky. Toto řešení vyžaduje složitější výrobu, ale přináší spolehlivé mazání ložisek. [14]

2.2.3 Oddělené mazání

Oddělené mazání je druhem ztrátového mazání, kdy je olej dopravován ze samostatné nádrže dávkovacím čerpadlem do sání nebo přímo na mazaná místa motoru. Dávkovací čerpadlo je poháněno mechanickým převodem od klikového hřídele, tudíž je počet otáček čerpadla úměrný otáčkám motoru. Velikost dávky oleje obsluha reguluje natáčením segmentu čerpadla, který bývá spojen s plynovou rukojetí. Mazací poměr na volnoběh proto může činit až 1:200.

Olej může být zaveden do příruby sání, kde je proudem čerstvé směsi strháván, nebo může být zaveden do emulzní komory karburátoru, odkud se pak následně dostává do difuzoru a následně na mazaná místa společně s palivem. Druhý jmenovaný způsob se vyznačuje lepší homogenitou směsi oleje s palivem. Oba dva systémy mohou být navíc doplněny signalizací průtoku oleje, která eliminuje možnost zadření motoru. Tuzemský výrobce motocyklů JAWA používal od šedesátých do osmdesátých let minulého století dávkování oleje do emulzní komory karburátoru, poté od tohoto řešení ustoupil a ve svých motocyklech vybavených odděleným mazáním dávkuje olej do sací příruby. Japonská Suzuki v šedesátých letech aplikovala na všechny své dvoudobé motory systém Posi-Force, který vede olej od dávkovacího čerpadla k ložiskům klikového hřídele, odkud rameno protéká do ojnicových čepů a následně i na pístní čep. Ložisky prochází čerstvý nespálený olej, což se podepsalo kladně na jejich životnosti. Podobné řešení použila i firma Kawasaki, jejíž systém Injectolube zavedl mazací olej i k rotačním šoupátkům.[14]

2.3 Motorové oleje

Rozdíly mezi dvoudobým a čtyřdobým motorem jsou natolik významné, že vyžadují i odlišné vlastnosti od maziva. Mazání dvoudobého motoru vyžaduje tekutinu, která v místě tření vytvoří houževnatý film, jež nebude odpařen. Na rozdíl od motoru čtyřdobého nedochází v motoru dvoudobém k žádnému smáčení povrchů olejem, tudíž pevnost mazacího filmu je jednou z nejdůležitějších vlastností mazacího oleje. Současně olej musí odolávat vysokým teplotám a odvádět nečistoty. [20]

Motorové oleje komplexně, jsou směsi sestávající z matrice a aditiv, používaných pro zmenšení tření a snížení opotřebení vzájemně se pohybujících součástí. Kromě zmíněného slouží také k odvodu tepla. Na oleje dvoudobých motorů jsou kladeny převážně protichůdné požadavky, proto jsou vyráběny speciální oleje, jejichž složení je kompromisem a vyhovují potřebám dvoudobých motorů. Motorový olej by neměl snižovat oktanové číslo paliva, měl by mít antikorozi vlastnosti, dobře se mísit s palivem a zároveň se od něj i rychle oddělit v klikové skříni. Motorové oleje mohou být minerálního, rostlinného, syntetického či polosyntetického původu.

Minerální oleje jsou získávány destilací z ropy a populární jsou díky své cenové dostupnosti. Mohou být parafinické či naftenické a vykazují různé vlastnosti lišící se s původem ropy. Oleje parafinické jsou nasycené uhlovodíky s rozvětvenými (izoalkany) a nerozvětvenými (n-alkany, parafíny) řetězci. Jsou chemicky stálé s vysokým bodem vzplanutí, avšak tuhnoucí již při teplotách kolem 0°C. Oleje naftenické jsou cyklické nasycené uhlovodíky, jež jsou chemicky méně stálé než parafíny a s nízkým bodem tuhnutí. [21]

Oleje syntetické jsou získávány úpravou ropných uhlovodíků na molekulární úrovni, za účelem získat produkt s lepšími vlastnostmi ale i za vyšší cenu. Polosyntetické oleje jsou kompromisem mezi cenově příznivými oleji minerálními a syntetickými. Jejich podstatou je minerální matrice doplněná vhodnými aditivami pro zlepšení vlastností. [21]

Celosvětově rozšířené jsou rostlinné oleje, jako ricinový olej, který je nejedlý a je získáván drcením semen ricinovníku. Považuje se za velmi dobré mazivo s vysokou viskozitou a nízkým součinitelem tření a je jediným z běžných rostlinných olejů rozpustný v alkoholu, ale nerozpustný v ropných produktech. Zmíněná nerozpustnost v ropných produktech napomáhá oddělení od paliva v klikové skříni a distribuci oleje k mazacím místům. [3]

Mazivo je tradičně složeno z matrice, přísad a rozpouštědla. Konvenční dvoudobé motorové oleje na bázi ropy ke své správné funkci vyžadují složky zajišťující dobré mazací schopnosti a odolnost proti zadírání povrchů. Lehčí složky olejů se snáze a rychleji vypařují za vysokých teplot z třecích ploch, naproti tomu těžké složky mohou způsobovat usazeniny. Rozpouštědlo má zpravidla špatné mazací schopnosti a nízký bod vzplanutí, který může způsobit nebezpečí při skladování oleje a může mít za následek dokonce změnu oktanového čísla paliva. Nicméně právě přidáním rozpouštědel do matrice je pozitivně ovlivněna tvorba usazenin ve spalovacím prostoru. Oleje sestávají také z čistících přísad neboli detergentů, čímž vzniká problém plynoucí z jejich složení. Čistící přísady olejů obsahují kovové deriváty, jako jsou sulfonáty barya, hořčíku a vápníku, které jsou společným zdrojem pevných částic při spalování. Tyto částice ve válci tvoří úsady, zhoršují účinnost motoru a mohou vést k samozápalům směsi. Detergenty tvoří ale důležitou složku motorového oleje, která pomáhá odstraňovat otěrové částice a rez z kovových povrchů. V některých případech detergenty neutralizují kyseliny vznikající při spalování směsi paliva. Oleje pro dvoudobé motory obsahují také inhibitory koroze, která by vznikala díky kondenzaci. [3], [20]

Rozpouštědla, omezené mazací schopnosti a neúplné spalování směsi jsou hlavními nedostatky minerálních motorových olejů. Rostlinné oleje některé z těchto nedostatků postrádají. Použití rostlinného oleje napomáhá spalování díky přítomnosti kyslíku v molekule a vhodnou chemickou modifikací dokonce může být omezena přítomnost rozpouštědla v oleji. Rostlinný olej tolik neznečišťuje spalovací prostor, oblast svíčky ani výfuku při zachování dobrých mazacích vlastností. Jedná se o obnovitelný, biologicky odbouratelný olej s nízkou toxicitou pro životní prostředí. Většina těchto rostlinných olejů se skládá z triesterů mastných kyselin s glycerolem, případně z esterů kyseliny 12-hydroxyolejové (kyseliny ricinolejové). V evropských státech a USA se používají rostlinné oleje na bázi řepkového, sójového, ricinového a palmového oleje, kdežto např. v Indii je situace odlišná. Rostlinné oleje jsou zde upotřebeny primárně v potravinářství, a proto lze jako přírodní maziva použít pouze jejich zlomek. [3], [22]

Dvoudobý motor je díky dvojnásobnému počtu pracovních zdvihů oproti motoru čtyřdobému více tepelně namáhán, což se musí projevit na vlastnostech použitého oleje. Olej musí po vstupu do klikové skříně vytvořit souvislou mazací vrstvu. Způsob mazání se u jednotlivých součástí odvíjí od tepelného zatížení. Typickým příkladem může být válec, jehož vysoce tepelně zatížená horní část vyžaduje tepelně odolný olej s patřičnou viskozitou a přilnavostí. Spodní část válce se pro své nižší teploty spokojí s olejem s nižší viskozitou. Olej

by současně neměl tvořit usazeniny ve spalovacím prostoru, výfuku, v oblasti pístních kroužků a jeho použití nesmí mít vliv na činnost zapalovací svíčky. Nesprávné a nadměrné dávkování maziva podporuje tvorbu usazenin v inkriminovaných místech a poškozuje zapalovací svíčky. Nadměrné dávkování oleje může sice oddálit zadření pístu, nicméně za cenu dopadu na životní prostředí v podobě nadměrné produkce pevných částic.

Hodnocení výkonu oleje vychází z testů provedených na motoru, hodnotících protioděrové vlastnosti, čistotu spalovacího prostoru, předčasné zápaly a výkon. Důraz je při zkoušení kladen na správný míšící poměr oleje s benzínem. [3]

2.3.1 Specifikace olejů pro dvoudobé zážehové motory

Motorové oleje dvoudobých motocyklů, skútrů a mechanizace jsou klasifikovány nejčastěji podle japonské normy JASO a americké API. Norma API (American Petroleum Institute) se zaměřením na oleje pro dvoudobé motory je ve své podobě zastaralá a její specifikace splňují i oleje nejmenší kvality. Soudobé oleje dvoudobých motorů lépe reflektuje specifikace dle Japonské organizace pro standardizaci v automobilovém průmyslu (JASO M345). Na tvorbě specifikace JASO M345 se podílela různá japonská akademická a průmyslová sdružení pod patronací Japonské společnosti techniků automobilového průmyslu (JSAE). Potřeba zřídít systém klasifikace dvoudobých motorových olejů se objevila právě v Japonsku, jakožto velmoci v produkci dvoudobých motorů, s cílem zlepšit orientaci spotřebitele v nabízených dvoudobých motorových olejích. Tato lepší orientace by měla napomoci správné volbě oleje, která zabezpečí dlouhou životnost motoru. [23], [24]

2.3.1.1 Přehled normy JASO M345

Pro vyhodnocení nejdůležitějších parametrů dvoudobých motorových olejů byly vyvinuty následující specifické procedury:

Oblast zkoušení dvoudobého motorového oleje	JASO norma č.
Zkoušení mazacích schopností	JASO M340
Zkoušení detergenčních vlastností	JASO M341
Hodnocení emisí	JASO M342
Hodnocení tvorby úsad ve výfukovém systému	JASO M343

Tabulka 1: Testování vlastností dvoudobého motorového oleje [23]

V návaznosti na výše uvedené oblasti zkoušení došlo k rozdělení dvoudobých motorových olejů do tří výkonových tříd. Tyto třídy jsou označovány názvy FB, FC a FD, od nejnižší po nejvyšší výkonnost. Oleje specifikace FB jsou koncipovány pro motory motocyklů o objemu 50 až 200 cm³. Třída FC zahrnuje oleje s nižší produkcí emisí a nižší tvorbou úsad ve výfukovém potrubí oproti třídě FB. Oleje třídy FC jsou již vhodné pro vysoce zatížené vysokoobrátkové motory. Výkonnostní třída FD se oproti třídě FC vyznačuje zlepšenými detergenčními schopnostmi spalovacího prostoru za vysokých teplot. Kromě uvedených tří tříd platila i klasifikace FA, která ale musela být zrušena, aby byl zachován soulad s normou ISO. [23], [24]

V následující tabulce jsou uvedeny testované vlastnosti společně s dobou jejich testování:

Zkoušená vlastnost			Index normy (min)			Zkušební postup dle JASO
			FB	FC	FD	
Mazací schopnosti			95	95	95	JASO M340
Čistící schopnost	Vyhodnocení po 60-ti min	Ostatní části motoru	85	95	-	JASO M341
		Plášť pístu	-	-	-	60 min test
	Vyhodnocení po 180-ti min	Ostatní části motoru	-	-	125	JASO M341
		Plášť pístu	-	-	95	180 min test
Hodnocení emisí			45	85	85	JASO M342
Hodnocení tvorby úsad ve výfukovém systému			45	90	90	JASO M343

Tabulka 2: Testovací procedury JASO a jejich indexy [23]

Součástí hodnocení výkonostních tříd olejů dle JASO je i posouzení fyzikálně chemických vlastností olejů, jmenovitě kinematické viskozity při 100°C, teploty bodu vzplanutí oleje a obsahu síry v oleji. [23]

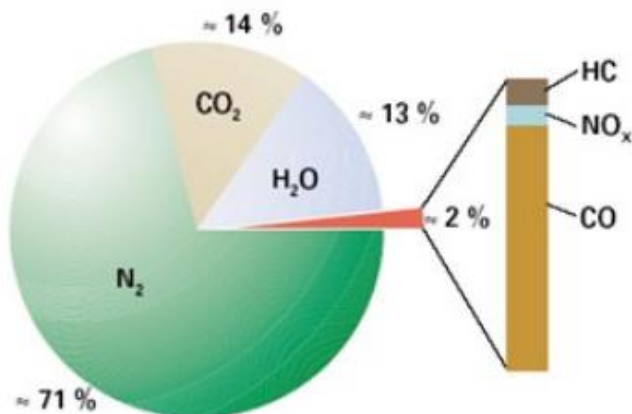
2.4 Emise zážehových motorů

Emise pístových spalovacích motorů se v globálním měřítku neřadí mezi největší znečišťovatele životního prostředí, nicméně v měřítku lokálním a zejména v hustě osídlených

oblastech lze vyslovit pravý opak. V počátcích šedesátých let minulého století se začaly prosazovat snahy o redukcii škodlivin v emisích pístových motorů, což přetrvává v podstatě dodnes. Konstrukteři spalovacích motorů optimalizují jejich parametry s důrazem na snižování produkce škodlivin, což se ale často nepříznivě promítá do jiných vlastností motoru. Koncentrace emisí je ovlivněna zejména složením směsi a teplotou. Emisemi se nerozumí pouze plynné či kapalně produkty spalování paliva, nýbrž i hluk a vibrace, které negativně ovlivňují zdraví lidí a životní prostředí.

Spalováním uhlovodíkových paliv se vzduchem vzniká dokonalou oxidací oxid uhličitý (CO_2) a voda (H_2O). V praxi jsou však přítomny ještě oxid uhelnatý (CO) a vodík (H_2). Kyslík (O_2) se u zážehových motorů objevuje pouze, byl-li u čerstvé směsi v přebytku nebo se nevyužil z jiných důvodů. Nejvíce zastoupenou složkou výfukových plynů je dusík (N_2), jehož oxidací za vysokých teplot ve spalovacím prostoru vznikají oxidy dusíku (NO_x). Oxidy dusíku představují zejména oxid dusnatý (NO), oxid dusičitý (NO_2) a oxid dusný (N_2O). Při nepříznivých podmínkách pro oxidaci paliva a při vyplachování spalovacího prostoru dvoudobého motoru do výfuku pronikají i nespálené uhlovodíky (HC). V průběhu vyplachování válce dvoudobého motoru dochází kromě průniku čerstvé směsi do výfuku také naopak k setrvání části spalín ve válci, což lze chápat jako jeden ze způsobů vnitřní recirkulace výfukových plynů. Díky této vlastnosti produkují motory dvoudobé nižší emise oxidů dusíku (NO_x) ve srovnání s motory čtyřdobými. Ze dvoudobých motorů odcházejí díky přítomnosti maziva v palivu také pevné částice (PM). Jejich složení je odlišné od částic emitovaných dieselovými motory, které se skládají hlavně z uhlíkatého materiálu (sazí), vzniklého z kapiček paliva za omezeného přístupu vzduchu a vysokých teplot. Pevné částice dvoudobých motorů obsahují kondenzované těžké uhlovodíky, pocházející z neúplného spalování maziva a další složky jako prach, či částičky rzi. Maziva mají velmi vysoký bod varu, často vyšší než 350°C , a proto nedochází ve spalovacím prostoru k jejich odpaření, nýbrž ke tvorbě malých kapiček. [1],[25]

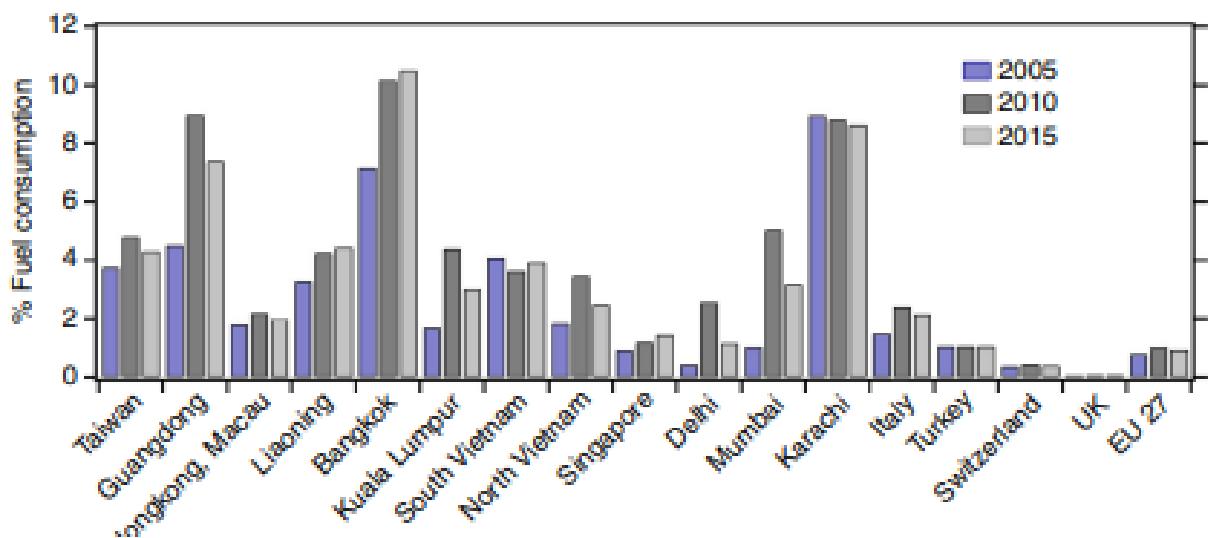
Procentuální zastoupení jednotlivých složek výfukových plynů zážehového motoru je znázorněno na obrázku č. 6. Tento obrázek znázorňuje zážehový čtyřdobý cyklus, z čehož vyplývá absence pevných částic (PM) a minimální zastoupení nespálených uhlovodíků (HC). V porovnání se čtyřdobým cyklem jsou však u cyklu dvoudobého nižší emise oxidů dusíku (NO_x) a emise oxidu uhelnatého (CO) jsou přibližně shodné. [26]



Obrázek 6: Složení výfukových plynů zážehových motorů

Zdroj: <https://www.ssa-krnov.cz/f/00032.pdf>

Dvoudobé motory jako pohon vozidel jsou pro svoji spolehlivost a jednoduchost používány zejména v oblasti Asie, Afriky a jižní Evropy. Navzdory faktu, že jsou značnými producenty pevných částic, předpisy regulující jejich provoz jsou obecně méně přísné. Dle grafu na obrázku č. 7 připadalo v roce 2015 v zemích Evropské unie na provoz dvoudobých vozidel, nejčastěji zastoupených motocykly, pouze 1% celkové spotřeby paliva. Dokonce i s takto nízkým podílem mohou být hlavním zdrojem produkce některých škodlivých látek, jako jsou polycyklické aromatické uhlovodíky, benzen, toluen či xylen. V souvislosti s tím již v devadesátých letech Čína v některých městech zakázala nebo omezila provoz dvoudobých motocyklů, což snížilo výskyt těchto škodlivin mnohdy až o polovinu. [27]



Obrázek 7: Podíl vozidel se dvoudobým motorem na celkové spotřebě paliva [27]

2.4.1 Pevné částice

Dle americké agentury pro ochranu životního prostředí se za pevné částice považuje směs pevných nebo kapalných částic, nacházejících se v ovzduší. Některé z těchto částic, jako prach, saze nebo kouř jsou dostatečně velké na to, aby je bylo možno pozorovat pouhým okem. Pozorování ostatních z nich je možno pouze za použití elektronového mikroskopu. [28]

Pevné částice představují souhrnný systém aerosolů, vzniklých přírodními pochody nebo spalováním anorganických i organických látek. Pevné částice ve formě kapalné, či pevné se dále dělí na rozpustnou a nerozpustnou složku. Kromě svého neblahého vlivu na živé organismy a životní prostředí mohou být přesto pevné částice užitečné v průmyslových pecích, kde jejich přítomnost zvyšuje zářivý výkon plamene, což napomáhá značně zrychlit přenos tepla. [29], [30]

Emise pevných částic ze dvoudobých motorů nejsou zanedbatelné a svou úrovní jsou často srovnatelné s emisemi částic z diesellových vozidel, které nejsou vybaveny DPF filtry. Rozdílný je proti částicím diesellových motorů však mechanismus vzniku i složení částic dvoudobých motorů. Hlavním důvodem vzniku pevných částic je u dvoudobých motorů obsah mazacího oleje v palivu. Maziva mají bod varu vyšší než benzín, ve válci nedojde k jejich dokonalému rozptýlení se vzduchem a tím i k jejich dokonalému spálení. Částice emitované dvoudobými motory se skládají většinou z velmi malých kapiček těžkých uhlovodíků pocházejících z maziva. V pevných částicích dvoudobých motorů dominuje z devadesáti procent těkavá organická frakce, zatímco v částicích diesellových motorů převažují saze. Z hlediska svého chemického složení částice sestávají mimo jiné z potenciálně toxických sloučenin, jako jsou polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH) a prekurzory ozonu. PAH jsou všudypřítomné kontaminanty tvořeny benzenovými jádry, která se formují nedokonalým spalováním fosilních paliv. Jednou z prvních chemických látek PAH, uznanou za karcinogenní je mj. i benzo(a)pyren. [25]

Pevné částice produkované vznětovými motory vznikají obvykle v oblasti bohaté směsi paliva, při zvýšené teplotě a za nedostatečné koncentrace kyslíku. Vliv zde má i kvalita rozprášení paliva při vstřiku do válce. Jádro částic tvoří uhlík sestávající z neodpařených kapek paliva.

Emise pevných částic dvoudobých motorů se mohou významně lišit v závislosti na zdvihovém objemu motoru, druhu mazacího oleje, zatížení motoru, jízdních podmínkách či dodatečné úpravě spalin. Různé studie dokázaly, že kvalita mazacího oleje je významným

faktorem v oblasti produkce pevných částic. Obecně platí, že oleje plně syntetické produkují méně pevných částic než oleje minerální. [3],[25]

2.4.1.1 Procesy ovlivňující tvorbu pevných částic

Vlastnosti pevných částic nejsou ovlivňovány pouze ve spalovacím prostoru motoru, nicméně řada procesů probíhá i ve výfukovém potrubí a následně i po jeho opuštění. Částice emitované motorem mohou mít rozdílnou velikost i vlastnosti v závislosti na teplotě, místě měření, či naředění vzduchem po opuštění výfukového potrubí. Známé jsou procesy tvorby nových částic označovány jako nukleace, procesy kondenzace či adsorpce složek plynné fáze na povrchu částic a procesy aglomerační. [29], [31]

2.4.1.1.1 Nukleace

Nukleací se rozumí proces, který má značný vliv na produkci nových částic a velikost částic. Nukleací se počet částic rychle a snadno zvyšuje díky obsahu reakčních složek v plynné fázi. Tento proces dává za vznik částicím, z nichž nejmenší dosahují velikosti do 2 nm, až po částice s průměrem 30 nm. Některé z takto vytvořených částic se shlukují do větších aromatických molekul. Částice vytvořené nukleací významně nepřispívají k celkové hmotnosti pevných částic. Dopad jejich přítomnosti se projeví až s následnou adsorpcí, která zapříčiní nárůst povrchu. Proces nukleace je omezen na oblast blízkou primární reakční zóně, která dosahuje předepsaných teplot. Při nukleaci je za určitých podmínek dáno za vznik i polycyklickým sloučeninám. [29], [31]

2.4.1.1.2 Kondenzace a adsorpce

Vedle homogenní nukleace, která byla popsána výše, může ve výfukovém potrubí docházet také k heterogenní nukleaci, tj. ke kondenzaci plynných složek na povrch částic. Mimo kondenzaci vede ke zvýšení průměrné velikosti pevných částic i adsorpce, kdy na povrch částic sorbují mnohdy i sloučeniny síry. Původně hydrofobní částice uhlíku mohou na svůj povrch absorbovat při vysoké relativní vlhkosti dokonce i vodu, přičemž její vliv na nárůst hmotnosti je zanedbatelný. Adsorpce je považována za hlavní mechanismus, díky kterému částice získávají svoji rozpustnou frakci (SOF). Rozpustná frakce v sobě zahrnuje těžké uhlovodíky derivované z paliva a mazacího oleje, přičemž termín rozpustný pochází z metody měření, kdy se používalo organických rozpouštědel. [31]

2.4.1.1.3 Koalescence a aglomerace

Koalescence a aglomerace jsou oba dva procesy, které spojují částice. Koalescence, také známá jako koagulace, nastává již ve spalovacím prostoru, když suspendované částice splynou v jednu sféricky tvarovanou částici, čímž se počet částic sice sníží, ale jejich hmotnost zůstane zachována. Tvar takto vzniklých sférických částic závisí na provozních podmínkách motoru. Aglomerace nastává, když se samotné nebo koagulované částice shlukují do velkých skupin – aglomerátů. Takto vytvořené aglomeráty se dále řetězí a rozměry mohou dosáhnout až dvou mikrometrů. Částice v aglomerátu drží pohromadě díky Van der Waalsovým silám nebo povrchovým napětím. Tyto procesy mohou významně ovlivnit výsledky analýzy velikosti částic. [29], [31]

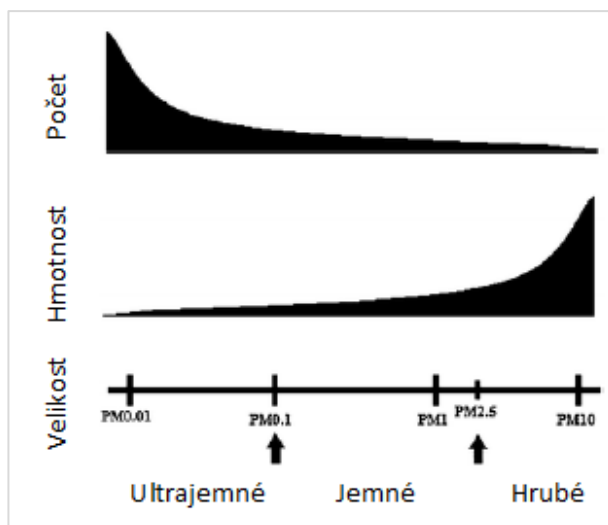
2.4.1.2 Vliv pevných částic na zdraví člověka

Podle světové zdravotnické organizace stojí znečištění ovzduší pevnými částicemi každoročně 800 tisíc předčasně ukončených lidských životů, což je celosvětově třináctou hlavní příčinou úmrtí. Pevné částice obsahují kapičky kapalin s kyselinami, organickými chemikáliemi, kovy a částicemi prachu. Velikost částic má přímý vliv na potenciál vyvolat zdravotní problémy. Dle vlivu na lidské zdraví je normou kvality ovzduší ČSN ISO 7708 velikost částic rozdělena na:

- Inhalabilní frakci – Částice prachu, které mohou vstupovat do dýchacího ústrojí.
- Extrathorakální frakci – Pevné částice zachycené v dutině nosní a ústní řasinkovým epitelem o velikosti do 10 μm (PM_{10}). Obecně se takovéto pevné částice nazývají jako “hrubé”.
- Thorakální frakci – Složka pevných částic, pronikajících za hrtan.
- Tracheobronchiální frakci – Hmotnostní zlomek pevných částic pronikajících za hrtan, ale nepronikajících do dýchacích cest bez řasinkového epitelu, který napomáhá sliznicím v jejich odstranění.
- Respirabilní frakci – Částice “jemné” zachycené na počátku plic, kde se již nenachází řasinkový epitel. Svoji velikostí nepřevyšují 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) a jejich charakteristická část, zvaná ultrajemná frakce (velikost částic do 100 nm - $\text{PM}_{0,1}$) má schopnost proniknout do plicních sklípků a zasáhnout do procesu přenosu dýchacích plynů. [32],[33],[34]

Z obrázku č. 8 vyplývá, že celkový počet a plocha částic zachycených ve vzorku stoupá exponenciálně s poklesem průměru částic, naproti tomu se s klesajícím průměrem částic

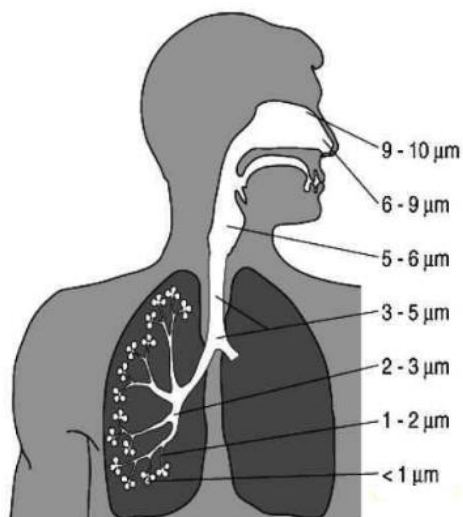
snižuje exponenciálně jejich hmotnost. Jako problematický se tedy u malých částic jeví fakt, že jejich velká povrchová plocha má schopnost adsorbovat např. polycyklické aromatické uhlovodíky, což jsou pro buňky toxické látky.



Obrázek 8: Rozčlenění pevných částic [32]

Dospělé lidské plíce se svým povrchem 40 – 120 m² denně přichází do styku s deseti až dvaceti tisíci litry vzduchu. Na obrázku č. 9 je znázorněn průchod a zachycení částic dýchacím ústrojím. Prvním místem záchytu největších částic jsou horní cesty dýchací, odkud mohou být částice vykašlány, vykýchány, vyloučeny nosním hlenem nebo mohou pokračovat do trávicího traktu. Takto zachycené částice velikostí převyšují průměr 10 μm, dráždí sliznice a mohou způsobovat až záněty dýchacích cest či bronchitidu. Částice o průměru větším než 10 μm mají poměrně malý poločas rozpadu a jsou z velké části filtrovány nosem a horními dýchacími cestami. Částice nezachyceny v horních cestách dýchacích o velikostech 1 až 2 μm pronikají skrze průdušky až k plicním sklípkům. Zde dlouhodobě způsobují jejich zanášení, čímž zhoršují okysličování krve a dávají za vznik srdečním onemocněním. Hrozbou pro organismus jsou také nejjemnější částice PM_{0,1}, které jsou sice ve velké míře vydechovány, nicméně mají schopnost vstoupit plicními sklípkami do krevního řečiště a tudý následně napadnout nervový systém, játra a srdce. Výskyt ultrajemných částic po vdechnutí byl lokalizován až na úrovni fibroblastů, což je základní buňka vazivové tkáně. Mechanismus pohybu částic na úrovni buněčného epitelu však doposud není dostatečně objasněn. Dlouhodobé působení nejjemnějších částic na organismus může působit také neurodegenerativně. Mozek bývá saturován zpravidla čichovým bulbem v dutině nosní a hematoencefalitickou bariérou, což může mít za následek poruchu zásobování mozku kyslíkem a živinami. [34], [35], [36], [37], [38]

Reakce organismu, byť jen na krátkodobé působení pevných částic, se projevuje v podráždění očí a dýchacích cest, což má za následek následné zvracení, záchvaty kašle, dušnost, případně až infekci dýchacích cest. Dle [32] stojí pevné částice za častějším užíváním léků, opakovaným využívání zdravotní péče a za zvýšenou úmrtností.



Obrázek 9: Zachycení částic v dýchací soustavě člověka

Zdroj: <https://cleanairhouston.com/Ozone-PM25-Houston-TX.htm>

Výskyt onemocnění způsobených pevnými částicemi je odrazem hospodářské vyspělosti a vztahu k životnímu prostředí. Bylo prokázáno, že náchylnějšími k nepříznivým účinkům pevných částic jsou senioři, děti, jedinci s diabetem, či se zvýšeným BMI indexem. Konkrétně děti jsou více ohroženy respiračními problémy než dospělí, díky své nízké hmotnosti a větší dechové frekvenci. U dospělé populace se s rostoucím věkem snižuje schopnost odbourávat pevné částice z dýchací soustavy, což s sebou opět nese náchylnost k respiračním a kardiovaskulárním onemocněním. Epidemiologické studie dokazují, že senioři nad 75 let věku jsou náchylnější k předčasným úmrtím, byť jen při krátkodobém vystavení částicím $\text{PM}_{2,5}$ a PM_{10} . Současně byl zjištěn vliv pohlaví, který přisuzuje ženám zvýšené riziko kardiovaskulárních problémů. [39]

Světová zdravotnická organizace stanovuje doporučenou nejvyšší koncentraci částic $\text{PM}_{2,5}$ v ovzduší na $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a částic PM_{10} na $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ jako roční průměr. Ve většině obydlených míst však dochází k překračování této hodnoty. Směrnice Evropského parlamentu o kvalitě vnějšího ovzduší současně doposud neurčila minimální hodnotu pro pevné částice, pod níž by nepředstavovaly zdravotní riziko. [40],[41]

Pevné částice produkované vozidly nepocházejí pouze z výfukových plynů, jako produkt spalování, nicméně mohou být i produktem opotřebení brzd a pneumatik. Dle [31] obsahoval vzorek městského aerosolu přibližně 5% pevných částic asfaltu a pryže. Zejména malé částice, které se ve vzduchu vznášejí déle, mohou být větrem přenášeny na velké vzdálenosti. Doba, po kterou částice setrvávají v atmosféře, se pohybuje v řádu hodin (PM_{10}) až týdnů ($PM_{0,1}$). Rozptýlení jemných částic ($PM_{2,5}$) ve vzduchu, je hlavní příčinou snížené viditelnosti a tím i snížením intenzity na povrch dopadajících paprsků. Pevné částice působí škody i vodním tokům, které okyselují a mění tím jejich přirozenou bilanci živin. [33]

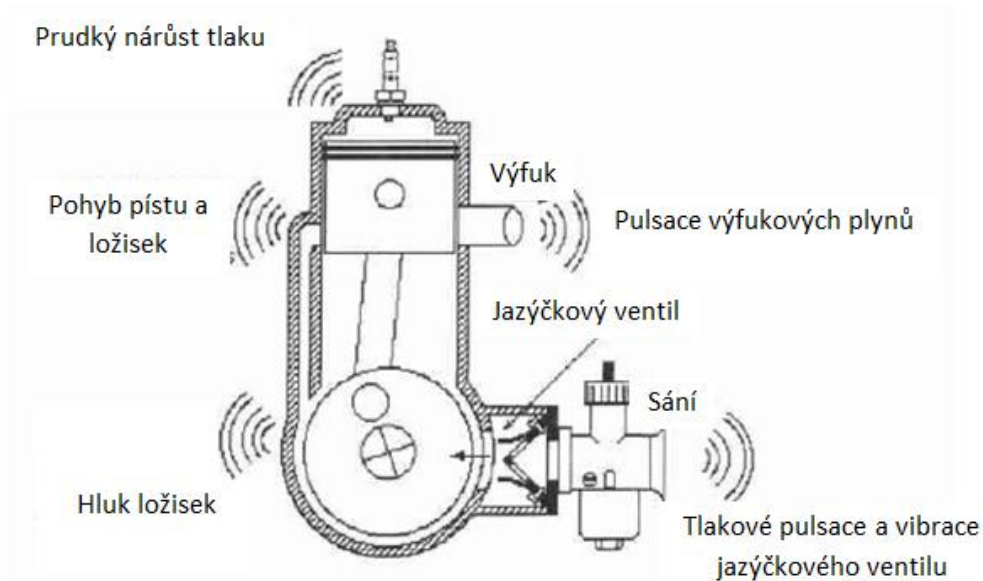
2.4.2 Akustické emise

Akustické emise v sobě zahrnují hluk a vibrace, které spolu úzce souvisí. Při nižších rychlostech vozidla převládá hluk pohonné jednotky a při vyšších rychlostech převládají hluk a vibrace od valení pneumatik. V publikacích zabývajících se emisemi hluku z vozidel je hluk popisován jako „nežádoucí zvuk“ a jeho posouzení je subjektivní. Z dlouhodobého hlediska člověku akustické emise způsobují poruchy spánku, únavu, případně mohou podněcovat vývin některých civilizačních chorob.

2.4.2.1 Zdroje hluku ve dvoudobých motorech

Zdroje hluku dvoudobých motorů jsou znázorněny na obrázku č. 10. Hlavními zdroji je sací a výfukový systém, kudy pronikají tlakové vlny plynu do atmosféry. Obecné mínění má za hlučnější část výfukovou, což lze pouze potvrdit. Ani za použití sofistikovaných tlumičů výfuku nelze zajistit, že hluk neopustí motor sáním, proto je žádoucí tlumit hluk sání i výfuku současně. Tlumič sání se stává značně složitým v případě rozvodu sání s jazýčkovým ventilem, který emituje za provozu svůj charakteristický vysokofrekvenční zvuk. [9]

Jakýkoliv vibrující kovový povrch může působit jako zdroj hluku obdobně jako membrána reproduktoru. U motorů chlazených vzduchem, kde válce a hlavy jsou opatřeny žebry, nastává riziko, že tlakový ráz ze spalovacího prostoru by z nich způsobil již zmíněnou membránu. Tomu lze předejít použitím pryžových elementů vložených mezi žebrování. Tento problém u motorů kapalinou chlazených účinně eliminuje ona kapalina, která působí jako tlumič hluku. Ani kapalinovým chlazením nedojde však k úplné minimalizaci hluku, protože hluk může být prostřednictvím pístu přenášen na ojnici, odtud ložisky klikového hřídele do klikové skříně a okolí. Použití kluzných ložisek na klikovém hřídeli se díky hydrodynamické olejové vrstvě pro minimalizaci přenosu hluku a vibrací osvědčilo lépe než ložiska kuličková, válečková nebo jehlová.[9]



Obrázek 10: Zdroje hluku dvoudobého motoru [9]

V porovnání s obdobným čtyřdobým motorem jsou zde vytvářeny tlakové vlny s dvojnásobnou frekvencí a otevírání kanálů probíhá rychleji, čímž se vytváří větší spektrum vysokofrekvenčních zvuků. Mnoho aplikací dvoudobých motorů ze své podstaty ani nedává prostor pro tlumení hluku čistě pro zachování nízké hmotnosti. Tlumení hluku dvoudobých motorů škrcením výfuku má do jisté míry pozitivní vliv na průběh výkonu, točivého momentu a měrné spotřeby motoru.[9]

2.5 Měření emisí pevných částic

V důsledku neustálého vývoje a zdokonalování systémů pro zachycování a redukci pevných částic, ale i motorů samotných dochází k celkovému snižování počtu i velikosti pevných částic emitovaných vozidly. V případě vozidel se čtyřdobým motorem, vyvstávají v poslední době vlivem technických optimalizací s důrazem na snižování spotřeby nové problémy, mezi které se může řadit např. produkce pevných částic vozidly se zážehovými motory opatřenými přímým vstřikem paliva do válce. Problém motorů s přímým vstřikem je ten, že se palivo za určitých provozních podmínek nedokonale spálí a vznikají tak saze. Produkované pevné částice dosahují velmi malých rozměrů, a proto musí být citlivost měřících metod neustále zvyšována, aby zůstaly použitelné i pro emisní analýzy do budoucna. Iniciativa evropských orgánů zodpovědných za regulaci emisí pevných částic vyústila ve vytvoření Programu pro měření částic (PMP). Tento program byl vytvořen Evropskou hospodářskou komisí při OSN a zaštiťuje jej Pracovní skupina pro znečištění a energii

(GRPE). Cílem programu je definovat nejlepší metody a určit vhodné nástroje pro jejich realizaci.[42],[43]

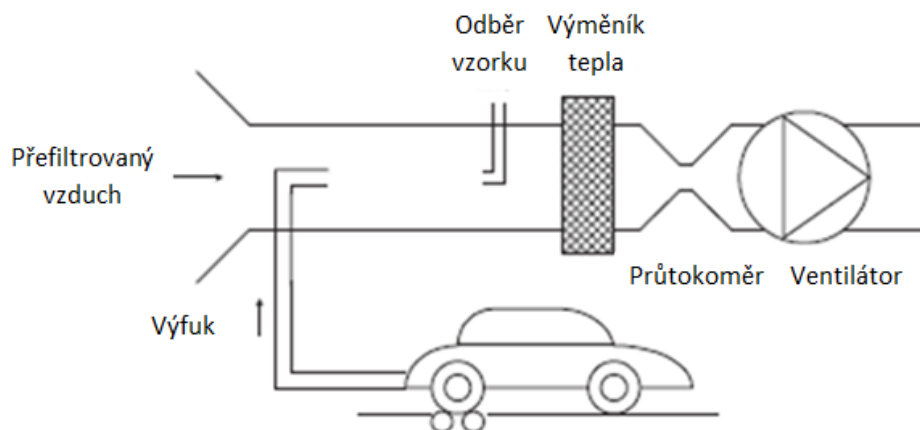
Pro charakterizaci a porovnání emisí z různých motorů je třeba postupovat podle stanovených metod odběru vzorků a jejich ředění. Principem je zachycení reprezentativního vzorku zkoumaných spalin, jeho prvotní ředění vzduchem nebo inertním plynem, případné odstranění kondenzátu a konečné zředění vzorku. Ředění vzorku emisí se provádí proto, aby teplota a počet pevných částic odpovídaly měřitelnému rozsahu analyzačního přístroje. Mnohé přístroje umožňují měření výfukových plynů i za vysokých teplot, nicméně zředění napomáhá k zastavení nebo zpomalení procesů koagulace a kondenzace. Po zředění následuje přenos vzorku k dalším analyzačním zařízením.

2.5.1 Ředění vzorku

Prosté ochlazení vzorku bez náležitého zředění způsobuje silnou nukleaci, či kondenzaci a většina těkavých sloučenin by tím přešla do pevné fáze. Dostatečným zředěním přehřátým vzduchem lze kondenzaci a nukleaci oddálit. Rozeznávají se čtyři hlavní proměnné, které ovlivňují dopad zředění na vlastnosti aerosolu, jmenovitě poměr ředění, teplota a vlhkost ředícího média a doba mezi ředěním a odběrem vzorku. Používají se nejčastěji dva principy ředění, systém ředění plného toku plynu (Constant volume sampler) a systém částečného ředění toku plynů (Partial exhaust flow dilution tunnel). [31], [42]

Systém CVS ředí celý tok výfukových plynů motoru, tudíž je nutný vysoký průtok média a hodí se spíše pro menší objemy spalin. Cílem systému CVS je dosáhnout konstantního objemového toku zředěných plynů bez ohledu na provozní podmínky motoru kvůli zjednodušení procesu odběru vzorků. Schéma systému je vyobrazeno na obrázku č. 11, vzdálenost mezi vstupem plynů od výfuku a místem odběru zředěného vzorku je konkrétně předepsána, stejně jako celkový průtok aparaturou, který je snímán průtokoměrem.[31], [42]

Ředící vzduch použitý k primárnímu ředění výfukového plynu v tunelu CVS musí projít médiem, které je schopno zachytit více než 99,95 % částic procházejících filtrem. Pro tento účel se používá druh filtrů s vysokou účinností zachycování částic ze vzduchu (tzv. HEPA filtr). Ředící vzduch lze případně pročistit pomocí průchodu přes aktivní uhlí ještě před průchodem filtrem HEPA. Doporučeno je navíc umístit doplňkový hrubý filtr částic před filtr HEPA a za čistič s aktivním uhlím, jestliže je použit. [44]



Obrázek 11: Schéma systému ředění výfukových plynů CVS [42]

Pro snížení celkových nákladů byly vyvinuty ředící tunely s částečným ředěním toku plynů, které odebírají pouze přesně definovanou část výfukových plynů. To vyžaduje měření celkového průtoku výfukových plynů, které je ale zejména v přechodných provozních podmínkách obtížné. Současně je zapotřebí pružně měnit tok plynů v měřicím tunelu. Obvykle je měřena rychlost nasávaného vzduchu motoru s ohledem na spotřebu paliva a průtok výfukových plynů je zpětně vypočten. Pro složitost systému, který reguluje změnu toku plynu v tunelu, je tento způsob ředění používán pouze pro stabilní spektrum otáček. [42]

2.5.2 Nástroje pro měření pevných částic

Obsah následující kapitoly bude věnován metodám pro měření hmotnosti, koncentrace, chemického složení a velikostního rozdělení pevných částic. Většinu metod předchází ředění výfukových plynů systémem CVS, jelikož měřicí přístroje většinou vyžadují pro přesnou analýzu ochlazené a naředěné vzorky spalin pro zamezení výše zmíněných fyzikálně chemických procesů.

2.5.2.1 Měření hmotnosti částic

Hmotnost pevných částic je vyhodnocována na základě vážení gravimetrického filtračního elementu. Vozidlem emitovaný aerosol je nutno před průchodem filtračním elementem zředit, a to z důvodu snížení jeho teploty a ovlivnění kondenzačních a nukleačních procesů. Pro ředění se používá již zmíněné metody ředění konstantního objemového toku a to přímo během jízdního cyklu vozidla. Hmotnost pevných částic odpovídá rozdílu hmotností filtračního elementu před a po odběru vzorků. Materiály filtračních elementů se volí běžně na bázi borosilikátů, polyvinylchloridu, či na bázi celulózy. Filtrační element

je umístěn ve filtrační patroně (znázorněna na obrázku č. 12), která je instalována v odběrném potrubí pomocí rychlospojky. [45], [46], [47]



Obrázek 12: Gravimetrická filtrační patrona opatřena rychlospojkami [47]

Filtrační element je nutno před prvotním zvážením uchovat v podmínkách s konstantní teplotou a vlhkostí. Změny teploty a vlhkosti jsou přesně regulovány, stejně jako čistota a kalibrace váhy. Současně musí být filtrační element před vážením elektricky neutralizován např. radioaktivním zdrojem nebo ionizátorem, aby se předešlo ovlivnění měření statickou elektřinou. Samozřejmostí je umístění váhy mimo pole vibrací, z důvodu své velké citlivosti. Pro takto citlivé měření hmotnosti je brán v úvahu i vliv atmosférického tlaku. [45],[46]

Pro gravimetrické měření hmotnosti částic jsou v následující tabulce sumarizovány základní měřicí podmínky.

Měřicí podmínky	Předpis
Teplota povrchu filtru (°C)	20-52
Rychlost aerosolu při průchodu filtrem ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)	20-105
Okolní teplota váhy (°C)	22±2
Relativní vlhkost filtru (%)	45±8
Přesnost váhy (μg)	1

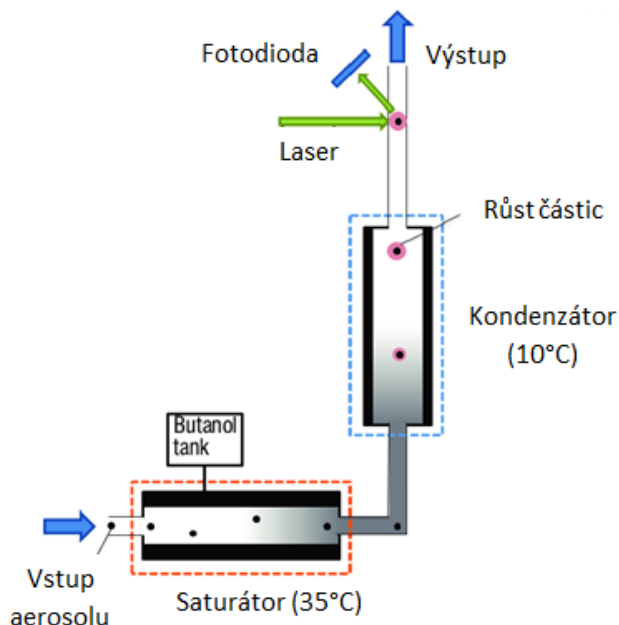
Tabulka 3: Základní měřicí podmínky gravimetrického měření [45]

2.5.2.2 Měření koncentrace pevných částic

Pro účely měření koncentrace částic se využívá nejčastěji kondenzačních čítačů, které pevné částice vystaví přesyceným parám pracovní tekutiny. Následná kondenzace par na povrchu částic usnadní optickým přístrojům výpočet jejich množství.

2.5.2.2.1 Kondenzační čítač částic (CPC)

Kondenzační čítače částic se používají zejména k detekci ultrajemných částic od velikosti 5 nm. Hlavním problémem měření koncentrace částic jsou jejich změny způsobené koagulací. Vstupu aerosolu do přístroje proto předchází jeho zředění v tunelu CVS a také prvotní filtrace hrubých částic, které nebyly produktem spalování. Čítač je složen ze saturátoru, kondenzátoru a laserového detektoru. V saturační části je aerosol za zvýšené teploty nasycen parou pracovní tekutiny, v tomto případě butanolem. Částice společně s parou butanolu pokračují v pohybu do kondenzátoru, kde díky snížení teploty butanol kondenzuje a ulpívá na částicích. Takto obohacené částice zvětšují svoji velikost až na 12 μm a následně procházejí laserovým paprskem směřujícím na fotodiodu, čímž je rozptýlí, což fotodioda transformuje na elektrický impuls. Závislost počtu impulsů a počtu pevných částic je přímo úměrná, schéma zařízení CPC je znázorněno na obrázku č. 13. [31],[42],[48]



Obrázek 13: Kondenzační čítač částic [48]

2.5.2.3 Metody rozdělení velikosti částic

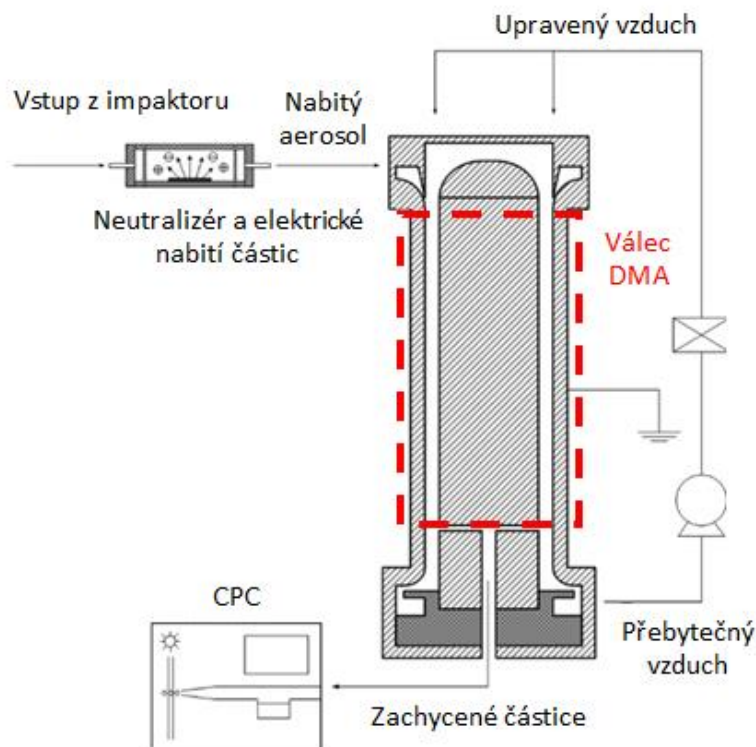
Následující část stručně charakterizuje nejběžnější nástroje měření velikosti částic využívající elektrostatičké nabití částic, případně setrvačnosti pohybu částic.

2.5.2.3.1 Přístroje založené na principu elektrické pohyblivosti částic

Analyzátory aerosolové elektrické mobility jsou založeny na sledování pohybu částic, nesoucích známý elektrický náboj směrem k elektrodě s opačným nábojem. Tyto techniky mají schopnost velmi dobrého rozlišení velikosti pohybujících se částic.

2.5.2.3.1.1 Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)

Zařízení SMPS je schopno rozlišit elektricky nabitě, pohybující se částice v rozmezí průměrů 4nm až 1 μm . Částice o průměru větším než 1 μm jsou odstraněny na vstupu v jedноступňovém impaktoru, jelikož mohou přenášet větší počet elektrostatických nábojů. Současně s tím jsou částice neutralizovány pomocí radioaktivního zdroje. Aerosol poté podstupuje elektrické nabití částic, ty následně procházejí elektrickým polem diferenciálního analyzátoru mobility (DMA), kde se částice zachytí a jsou tříděny dle svého elektrického náboje, tudíž dle velikosti a následně sčítány, např. pomocí CPC. Intenzita elektrického pole v DMA je proměnná a sčítání v CPC probíhá v intervalu až desetkrát za sekundu. DMA tvoří průtočný válec se záporně nabitou elektrodou ve svém středu, průtok válcem DMA je nutno vytvořit laminární. Průtok aerosolu se pohybuje v rozmezí od 0,1 do 10 l/min, běžná hodnota průtoku pak činí 0,3 l/min. Intenzita elektrického pole, díky které jsou částice nabíjeny, se může měnit pro docílení změny velikosti měřených částic. Částice menší jednoho nanometru jsou obtížně nabíjíitelné a proto i neměřitelné. Systém SMPS pro analýzu požaduje ředění v rozmezí 10-30:1, které je v ředících zařízeních běžně dostupné. Nicméně je zde riziko znečištění přístroje, proto se analyzuje zpravidla při ředění 1:100. Konfigurace systému SMPS je znázorněna na následujícím obrázku. [31], [42], [49]



Obrázek 14: SMPS [49]

2.5.2.3.1.2 Differential Mobility Particle Sizer (DMPS)

V přístroji DMPS je aerosol vystaven bipolárnímu zdroji a následně, jako v předchozím případě, putuje do analyzátoru elektrické mobility. Analyzátozem mohou procházet a být měřeny pouze částice se specifickým rozsahem elektrické mobility. Rozdílná oproti předchozímu způsobu je hodnota napětí v analyzátoru elektrické mobility, naopak shodná je potřeba zabránit vstupu částicím o větším průměru než 1 μm . [31]

2.5.2.3.2 Přístroje založené na principu setrvačného pohybu

2.5.2.3.2.1 Kaskádový impaktor

Kaskádový impaktor je zařízení sloužící ke zjištění aerodynamického průměru částic (d_{ae}) na základě jejich setrvačnosti. Impaktor je složen ze série trysek, pod nimiž je v předepsané vzdálenosti umístěno ploché sběrné médium. Zkoumaný aerosol je veden tryskami, nasměrovanými kolmo na sběrné médium, což zde způsobí ulpívání částic s vysokou setrvačností. Částice se setrvačností dostatečně nízkou na udržení se v proudu plynu pokračují v pohybu do dalšího stupně sběrného média. Zachycené částice každého média jsou po měření zváženy a vypovídají o rozložení velikostí částic pro jednotlivé stupně. [31]

2.5.2.3.2.2 Elektrický nízkotlaký impaktor (ELPI)

Přístroj ELPI slouží k měření velikosti aerosolových částic o aerodynamickém průměru od 30 nm do 10 μm . Přístroj kombinuje princip detekce elektrickým proudem a kaskádového impaktoru uvedeného výše. Při vstupu aerosolu do zařízení jsou částice elektrostaticky nabitý za pomoci vysokého napětí, způsobujícího korónový výboj na elektrodě. Částice následně pokračují do kaskádového impaktoru, který pracuje při sníženém tlaku. Zmenšení tlaku mění vlastnosti plynu spojené se setrvačností částic, což umožňuje detekci ještě menších částic, než za normálních podmínek. Desky kaskádového impaktoru jsou vzájemně izolovány a připojeny na proudové zesilovače, které měří výboje z elektrostaticky nabitých částic. Proud měřený z každého stupně odpovídá počtu usazených částic dané velikosti. Průtok aerosolu zařízením dosahuje až 10 l/min. [31], [42]

2.5.2.4 Metody měření chemického složení pevných částic

Mnohé z látek se při neúplném spalování považují za silné karcinogeny, zejména již zmíněné polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH). Pro detekci PAH vázaných na pevné částice byly vyvinuty aerosolové snímače, jež budou blíže specifikovány v následující kapitole.

2.5.2.4.1 Fotoemisní aerosolové přístroje

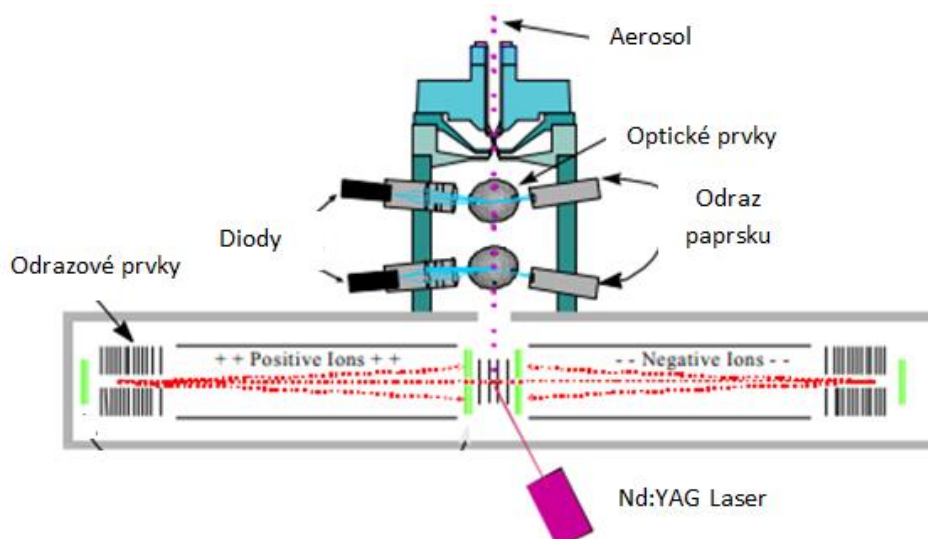
2.5.2.4.1.1 Fotoelektrický aerosolový snímač (PAS)

Systém PAS sloučí ke kvantifikaci celkového obsahu PAH vázaného na pevné částice. Vzorek aerosolu prochází elektrickým kondenzátorem, aby byl z částic odstraněn elektrický náboj. Následuje jeho ozáření UV paprsky ve fotoemisní komoře, kde se z molekul PAH díky fotoelektrickému jevu stanou pozitivní ionty. Elektrické pole ve fotoemisní komoře následně separuje elektrony a negativní ionty, přičemž pozitivní ionty se zachytí na filtru, čímž vznikne měřitelný proud. Intenzita fotoemise částic je lineárně závislá na množství PAH vázaných na částice. Tato metoda bohužel nedokáže kvantitativně určit jednotlivé sloučeniny PAH. [31], [42]

2.5.2.4.2 Přístroje hmotnostní spektroskopie

2.5.2.4.2.1 Aerosol Time-of-flight Mass Spectrometer

Přístroj ATOFMS je schopen analyzovat chemické složení a aerodynamický průměr jednotlivých pevných částic polydisperzního aerosolu v reálném čase. Technologie hmotnostní spektroskopie dokáže analyzovat až 600 částic za minutu do průměru 0,3 μm . Aerosol je přiváděn do přístroje pomocí trysek, jež dodají částicím rychlost, která je úměrná jejich aerodynamickému průměru. V měřicí oblasti je rychlost částic snímána dvojicí neodymových diod. Ze známé rychlosti částic je znám okamžik příchodu částic do středu spektrometru, kde je ve vhodný okamžik spuštěn Nd:YAG laser, který desorbuje chemické látky z pevné částice. Různé chemické látky zde produkují buď kationty (např. sodík a kovy), či anionty (např. látky s vysokou afinitou elektronů, jako je chlor, brom, dusičnany a sírany). Konfigurace spektrometru je znázorněna na obrázku č. 15. [31], [50]



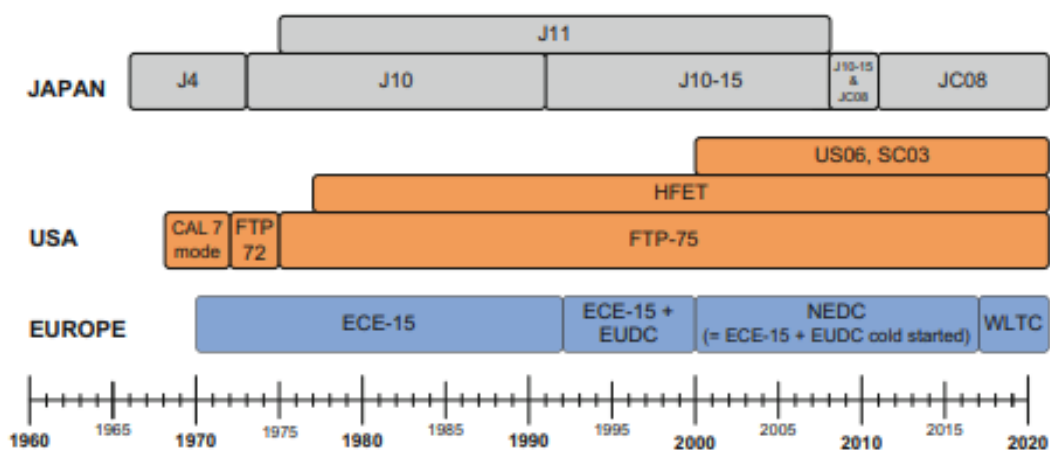
Obrázek 15: ATOFMS spektrometr [50]

2.5.3 Jízdní cykly

Význam jízdních cyklů tkví v opakované možnosti stanovení spotřeby paliva a produkce emisí, například i při vzájemném srovnání různých vozidel. Jízdní cykly, jakožto vyjádření rychlosti v závislosti na čase, jsou neustále zdokonalovány. Typický jízdní cyklus je složen ze série zrychlení, zpomalování a zastávek. Jízdní cykly jsou zpravidla prováděny s využitím vozidlových dynamometrů, simulujících reálnou jízdu a emisních analyzátorů vyhodnocujících produkci škodlivin. Výjimku v použití vozidlových dynamometrů představují užitková vozidla, u nichž se jízdní cyklus simuluje změnou otáček a zatěžovacího momentu dynamometrem na samotném motoru. Existují dvě hlavní kategorie jízdních cyklů, a sice cykly homologační, jež jsou stanoveny legislativou pro schvalování nově vyráběných vozidel a ostatní cykly, jež nalezly uplatnění v hodnocení spotřeby paliva a hodnocení emisí. [51],[52]

Osobní a lehká užitková vozidla byla první, jejichž emise podléhaly emisním normám. Vývoj jízdních cyklů je datován do konce šedesátých let minulého století a prvenství lze připsat japonskému cyklu nazvanému "J4". Celosvětově lze za uplynulých třicet let označit jako hlavní inovátory v oblasti jízdních cyklů státy Evropy, USA a Japonsko. Historicky nalezly uplatnění dva druhy cyklů, a sice modální cykly, které se sestávají z přímých zrychlení a konstantních rychlostí a příliš nereprezentují skutečnou jízdu a cykly přechodové, lépe reflektující skutečné podmínky provozu. Typickým představitelem modálních jízdních cyklů je evropský jízdní cyklus NEDC. Modální jízdní cykly jsou však v současnosti stále méně prosazovány ve prospěch cyklů přechodových, jakými jsou např. WLTP, Artemis, či FTP-75. Jízdní profil je jedním z hlavních aspektů vývoje jízdních cyklů, pokud není

odrazem skutečného chování řidičů v dané oblasti, výsledky lze považovat za zkreslené. Vybrané jízdní cykly by měly vhodně ilustrovat skutečnou dopravní síť a typické dopravní toky ovlivněné prostorovými nebo časovými podmínkami. V následujících podkapitolách budou vybrané jízdní cykly blíže popsány. [51], [52], [53], [54]



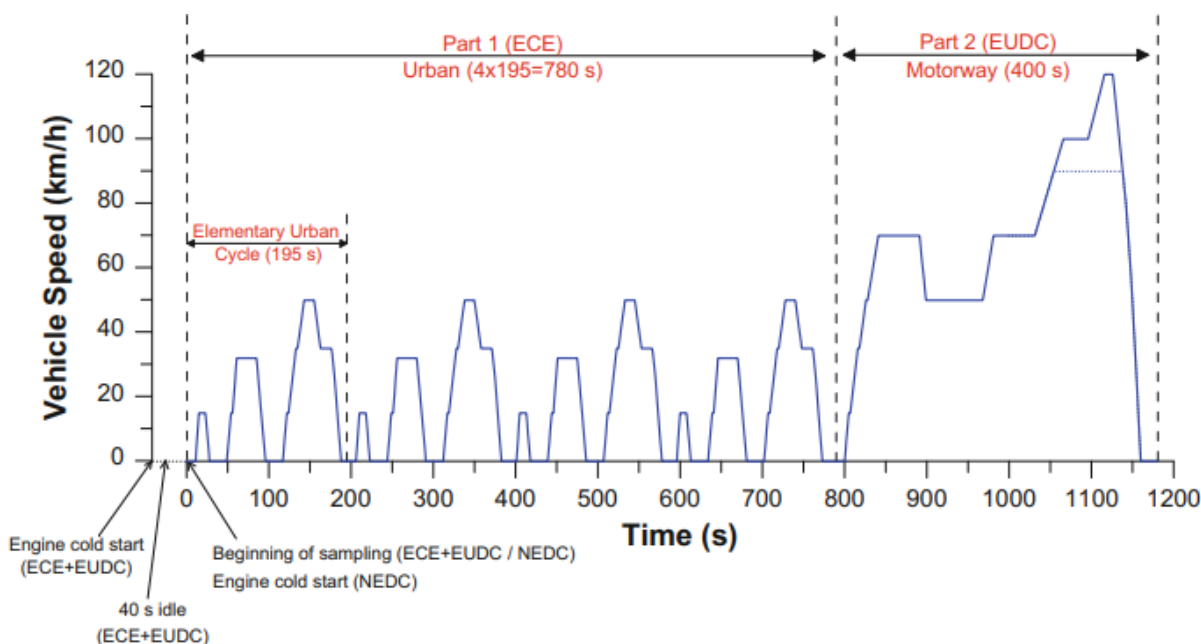
Obrázek 16: Výběr z jízdních cyklů osobních automobilů [54]

2.5.3.1 Cyklus NEDC

“Nový evropský jízdní cyklus“, jak prozrazuje zkrácené pojmenování, byl používán jako referenční cyklus homologace vozidel od devadesátých let až do září roku 2018. Ačkoliv byl původně cyklus vyvinut pro vozidla se zážehovými motory, našel uplatnění i pro testování vozidel se vznětovými motory a současně pro odhad spotřeby elektrické energie a dojezdu elektromobilů. [54]

Zkouška probíhá na dynamometru počínaje studeným startem, následují čtyři opakující se městské fáze nazvané ECE a cyklus uzavírá mimoměstská fáze nazvaná EUDC. Městský jízdní cyklus ECE byl navržen ve snaze reprezentovat jízdní podmínky v evropských metropolích, vyznačuje se nízkou rychlostí vozidla a malým zatížením motoru. Mimoměstský cyklus představuje agresivnější režim jízdy, kdy vozidlo dosahuje maximální rychlosti 120 km/h, která je pro vozidla s malým výkonem snížena na 90 km/h. [54]

Jak již bylo zmíněno, tento cyklus je typickým představitelem tzv. modálních jízdních cyklů, což byl i podnět pro jeho nahrazení procedurou WLTP. Cyklus obsahuje mírná zrychlení, velký počet úseků s konstantní rychlostí a úseků kdy poháněná kola stojí. Průběh rychlosti v závislosti a čase při cyklu NEDC znázorňuje následující obrázek.



Obrázek 17: Nový evropský jízdní cyklus [54]

Podmínky jízdního cyklu NEDC	
Doba trvání cyklu (s)	1180
Doba stání (%)	22,6
Ujetá vzdálenost (m)	10 931
Maximální rychlost (km/h)	120 / 90
Průměrná rychlost (km/h)	33,35
Teplota na testovacím stanovišti (°C)	20-30

Tabulka 4: Podmínky jízdního cyklu NEDC [51],[55]

2.5.3.2 Cyklus WLTC

Pojem “Světově harmonizovaný testovací cyklus“ slouží rovněž jako NEDC ke zjišťování spotřeby paliva a emisí výfukových plynů osobních vozidel. Jízdní cykly WLTC byly vyvíjeny na základě jízdních údajů získaných z celého světa Evropskou hospodářskou komisí Spojených národů (UNECE) v letech 2009 až 2014. V roce 2014 byly následně poprvé formulovány jako 15. dodatek publikace “Global technical regulation“. Jízdní cykly WLTC podléhají homologačním procedurám WLTP, jež jsou od září roku 2018 povinné pro všechna nově registrovaná vozidla v Evropě. Jejich součástí je kromě jízdního cyklu absolvovaného na dynamometru také testování v reálném provozu, tzv. RDE (Real Driving Emissions). [51], [55]

Procedura WLTP zahrnuje čtyři třídy zkušebních cyklů WLTC, lišící se dle poměru výkonu k pohotovostní hmotnosti daného vozidla. Výběr vhodného cyklu závisí současně na nejvyšší dosažitelné rychlosti vozidla uvedené výrobcem a to bez použití dodatečných zařízení omezujících rychlost. [51]

Jízdní cyklus 1. třídy je určen pro vozidla s poměrem výkonu k pohotovostní hmotnosti nižším nebo rovno 22 W/kg. Reprezentativním je pro vozidla řízená v Indii a sestává ze dvou pomalých a jednoho středně rychlého úseku. Tento cyklus celkově trvá necelých 27 minut, z nichž poháněná kola vozidla stojí necelých 6 minut, překonána je vzdálenost 11428 metrů a nejvyšší rychlost dosahuje 64 km/h. Jízdní cyklus 2. třídy je sestaven pro indická, japonská a evropská vozidla, jejichž poměr výkonu k hmotnosti leží v intervalu mezi 22 a 34 W/kg. Během třiceti minut zde po sobě následují čtyři úseky od nízké po velmi vysokou rychlost. Poháněná kola jsou zastavena přesně 4 minuty a překonaná vzdálenost je oproti předchozímu skoro dvojnásobná. Poslední, třetí cyklus, je rozdělen na dvě podtřídy. Poměr výkonu k hmotnosti přesahuje 34 W/kg. Kritériem je, zda nejvyšší konstrukční rychlost přesahuje 120 km/h či nikoliv. Oba tyto cykly trvají shodně 30 minut, z nichž hnací kola stojí přibližně 4 minuty a překonaná vzdálenost činí v obou případech okolo 23200 metrů. [51]

2.5.3.3 Jízdní cyklus Artemis (CADC)

Projekt Artemis je rovněž jako předchozí jízdní cykly uskutečňován na vozidlovém dynamometru a sestává ze tří konfigurací, jmenovitě městského, venkovského a dálničního cyklu. Na rozdíl od předchozích jmenovaných cyklů se tento nepoužívá pro homologaci vozidel. Tento cyklus byl využíván výrobcí vozidel, ještě před uzákoněním cyklu WLTC, protože lépe reflektoval skutečné jízdní podmínky než cyklus NEDC a poskytl jim věrohodnější informace o skutečné spotřebě paliva a produkci emisí. Data, jež se pro tento cyklus stala podkladem, pochází ze studie vybraných reprezentativních cest z Francie, Velké Británie, Německa a Řecka z let 2000-2004. Analyzováno bylo 77 vozidel po dobu 2000 dnů, při kterých vozidla uskutečnila 10300 cest a překonala vzdálenost 88000 km. Na základě získaných dat pak byly s ohledem na jízdní podmínky vyvinuty tři základní cykly, uvedené v následující tabulce, přičemž cyklus dálniční byl dále rozdělen dle nejvyšší dosažené rychlosti. Jízdní cykly sestávají z pasáží kongesce, hustého provozu a stále i proměnlivé rychlosti. Věrohodnost metodiky Artemis potvrdilo např. Švédsko, které ji počátkem milénia aplikovalo do své agendy týkající se kvality ovzduší v blízkosti komunikací.[51],[54]

Jízdní cyklus Artemis počítá s prohřátým motorem a podrobnosti týkající se jednotlivých konfigurací jsou uvedeny v následující tabulce:

	Městský cyklus	Venkovský cyklus	Dálnice (130 km/h)	Dálnice (150 km/h)
Doba trvání cyklu (s)	993	1082	1068	1068
Doba stání (%)	21	2	1	1
Ujetá vzdálenost (m)	4 874	17 275	28 737	29 547
Maximální rychlost (km/h)	57,3	111,1	131,4	150,4
Průměrná rychlost (km/h)	17,6	57,5	96,9	99,6
Teplota na stanovišti	Není stanoveno			

Tabulka 5: Podmínky jízdního cyklu Artemis [51], [52]

3 Cíl práce

Obecným cílem této diplomové práce je zjištění závislosti mezi množstvím a typem oleje ve směsi s benzínem na produkci pevných částic dvoudobého motocyklového motoru. Teoretická část práce tvořená rešerší si klade za cíl blíže specifikovat problematiku dvoudobých motorů, používaných maziv a jimi produkovaných pevných částic. Prostor je zde současně věnován i běžně používaným analyzátorům pevných částic a jízdním cyklům, užívaným pro opakované měření emisí.

Praktická část práce se konkrétně zaměřuje na analýzu vlivu tří různých motorových olejů, vždy použitých ve dvou koncentracích, na produkci pevných částic. V návaznosti na praktickou část je cílem vhodně popsat použitá měřicí zařízení včetně měřícího postupu a vhodným zpracováním dat poskytnout přehled o produkovaných pevných částicích.

4 Metodika práce

Zdrojem informací pro tvorbu teoretické rešerše je odborná literatura, ať už tuzemská či zahraniční, popisující problematiku dvoudobých motorů, používaných maziv, emisí a jejich dopadu na životní prostředí. Dále jsou také použity odborné články popisující principy funkce analyzátorů pevných částic nebo problematiku jízdních cyklů.

Samotné měření produkce pevných částic, kterému je věnována praktická část, proběhlo pod patronací Katedry vozidel a pozemní dopravy České zemědělské univerzity v Praze. Využity byly prostory a zařízení zdejší výukové haly, přičemž použité zařízení společně s postupem měření a vyhodnocení budou v následujících kapitolách blíže představeny.

5 Praktická část práce

Praktická část diplomové práce se zabývá měřením produkce pevných částic v závislosti na použitém motorovém oleji a míšícím poměru u dvoudobého zážehového motoru. Měření bylo uskutečněno v prosinci roku 2018 za použití válcové zkušebny v prostorách Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze. Pro měření byl použit motocykl Jawa 350/639 a tři druhy motorových olejů, vždy ve dvou koncentracích. Zkušební jízda pak probíhala podle jízdního cyklu Artemis Urban, zkráceného na 600 sekund. V následující části bude popsáno přístrojové vybavení použité k měření, představeny budou naměřené hodnoty produkce pevných částic a praktickou část ukončí závěr shrnující celou práci.

5.1 Přístrojové vybavení

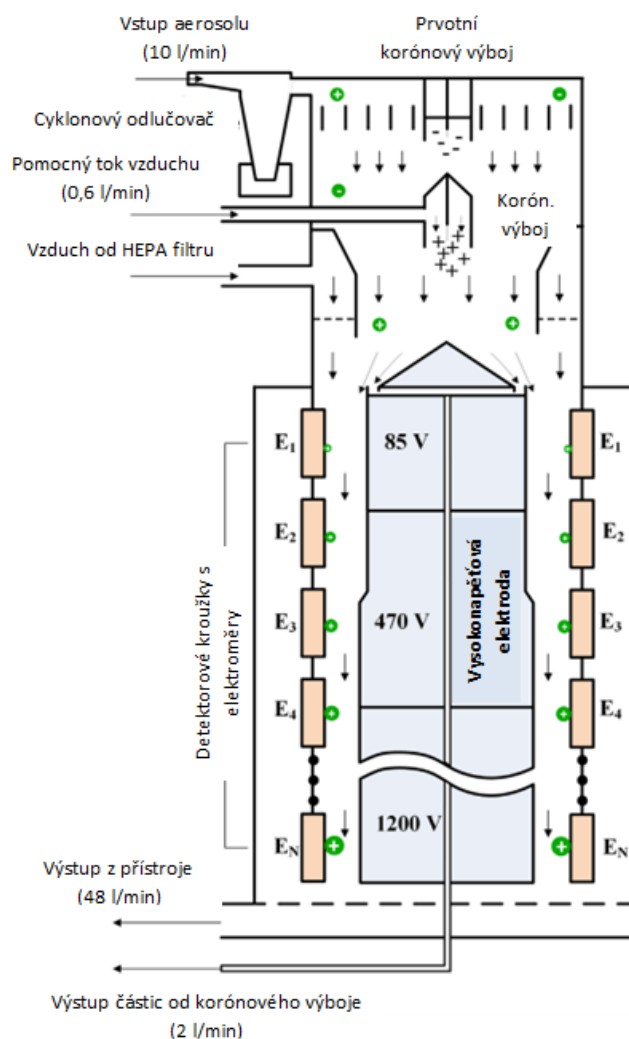
Následující kapitola obsahuje stručnou charakteristiku veškerého přístrojového vybavení použitého pro měření. Pozornost je zde věnována analyzátoru pevných částic, vozidlovému dynamometru včetně ventilátorů a softwarovému zázemí celého měření. Veškeré použité přístroje byly pro měření propůjčeny Katedrou vozidel a pozemní dopravy ČZU.

5.1.1 Přístroj pro rozdělení velikosti pevných částic EEPS 3090

Princip funkce přístroje EEPS je obdobný jako zařízení typu SMPS, zmíněného v teoretické rešerši. Částice vstupující do přístroje jsou zde rovněž nabitý elektrickým nábojem a následně podle velikosti elektroměrem tříděny. Výhodou přístroje EEPS oproti SMPS je schopnost měřit emise částic i během přechodových zkušebních cyklů motoru. Znázornění EEPS je umístěno na další straně, na obrázku číslo 18.

Při vstupu aerosolu do přístroje jsou odstraněny částice větší jednoho mikrometru v cyklonovém odlučovači, aby se vyloučil jejich potenciál ovlivnit měření. Částice aerosolu jsou nejprve zbaveny svého počátečního náboje díky korónovému výboji a následně jsou díky dalšímu výboji nabitý kladně. Pro usnadnění nabití částic a jejich promísení s aerosolem je do oblasti korónového výboje přiveden proud přefiltrovaného vzduchu o objemovém toku 0,6 l/min. V těsné blízkosti korónového výboje se mohou vyskytovat specifické částice, za jejichž vznik je odpovědný právě korónový výboj. Takto vytvořené částice by rovněž ovlivňovaly výsledek měření, proto je pro jejich odvod ze zařízení zavedena trubice přímo do místa jejich tvorby.[56], [57]

Tok částic postupuje do mezikruží, jehož středem je centrální elektroda s proměnlivým průměrem. Elektroda je rozdělena na tři části s odlišným napětím pro optimální elektrické pole, vnější obal mezikruží se pak sestává z detekčních kruhů, připojených k elektroměrům. Průtok mezikružím napomáhá tok vzduchu zbavený částic pomocí HEPA filtru, dosahující průtoku až 39,4 l/min. Částice jsou z toku plynu separovány podle své elektrické mobility a ulpívají vlivem elektrického pole na vnějším obalu (menší částice jsou odkloněny dříve a větší později při průchodu). Dopadem částic na detekční kruhy je jejich náboj zaznamenán elektroměry a následně vyhodnocen. [56], [57]



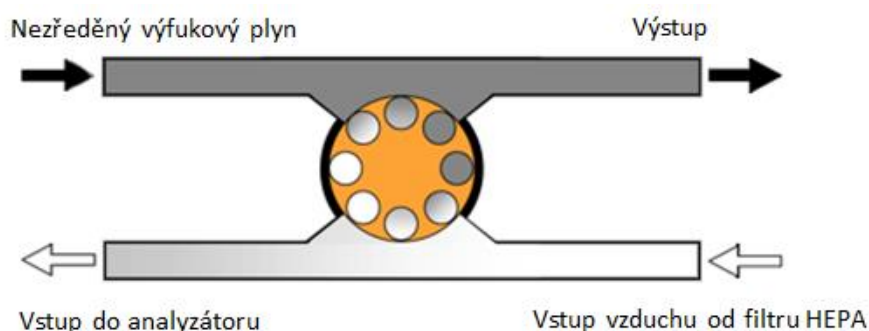
Obrázek 18: Princip funkce přístroje EEPS 3090 [56]

Přístroj rozděljuje částice do 32 velikostí, počínaje 6,4 až 560 nm. Výstupem může být barevný 2D diagram tvořený v reálném čase pro rychlou analýzu cyklu, 3D graf rozdělení velikosti částic a jejich koncentrace v čase nebo tabulka obsahující číselné koncentrace pro každý velikostní kanál.

5.1.2 Ředící zařízení s rotačním diskem, model 379020A

Toto zařízení zprostředkovává analyzátoru EEPS ředění zkoumaného aerosolu v poměru od 15:1 až do 3000:1. Ředící zařízení také umožňuje volbu teplot aerosolu od 80°C do 150°C pro zabránění kondenzace těkavých látek.

Tok nezředěných výfukových plynů do zařízení činí přibližně 1 l/min. Část nezředěného plynu je zachycena v dutinách rotačního disku a smíšena se vzduchem bez částic od HEPA filtru. Tento proces je ilustrován na obrázku č. 19. Ředící poměr závisí na objemu dutin rotačního disku, otáčkách disku a průtoku ředícího vzduchu. Poslední dvě jmenované veličiny lze řídit pomocí řídicí jednotky přístroje, znázorněné vpravo na obrázku č. 20.



Obrázek 19: Proces ředění výfukových plynů [42]



Obrázek 20: Vyobrazení ředícího zařízení spolu s řídicí jednotkou

Zdroj: <https://www.indiamart.com/tsi-incorporated/aerosol-diluters.html>

5.1.3 Válcová zkušebna

Válcová zkušebna Katedry vozidel a pozemní dopravy ČZU slouží pro zkoušky provozních parametrů vozidel do 3,5 t. V kontaktu s pneumatikou jsou dva válce s průměry 365 mm, vzájemně spojeny pomocí řetězu. První konec válců je možno spojit se setrvačníky simulujícími setrvačnou hmotnost vozidla. Tyto setrvačníky lze libovolně připojit či odpojit

a přídatná hmotnost tak může narůst od 112,5 kg až po 900 kg. Druhý konec válců je spojen pomocí drážkovaného řemene s vířivým dynamometrem o maximálním brzděm momentu 478 Nm a výkonu 125 kW. Dále se zde nachází stejnosměrný elektromotor s výkonem 56 kW za účelem simulace odporu vzduchu. Další technické parametry válcové zkušebny jsou uvedeny v následující tabulce. [58]

Technické parametry		
Stejnoseměrný elektromotor	Max. brzděm výkon	56 kW
	Max. brzděm moment	305 Nm
	Max. rychlost	3000 ot/min
Vířivý dynamometr	Max. brzděm výkon	125 kW
	Max. brzděm moment	478 Nm
	Max. rychlost	8000 ot/min
Nastavení setrvačníků	Základní hmotnost válců	680 kg
	Přídavná hmotnost setrvačníků	900 kg, 450 kg, 225 kg, 120 kg, 112,5 kg

Tabulka 6: Technické parametry válcové zkušebny [58]

Pro velkou hmotnost válců byl při experimentu v nízkých otáčkách nápomocen elektromotor, který motocyklu pomohl s překonáním odporů válcové zkušebny, protože při nízkých rychlostech jsou odpory zkušebny vyšší, než by na motocykl ve skutečnosti působily. Při vyšších rychlostech se situace otočila a stejnosměrný elektromotor již simuloval odpor vzduchu.

Motocykl byl na válcové zkušebně upevněn pomocí ocelového stojanu, který zachycoval síly působící ve směru jízdy. Boční stabilitu motocyklu zajistilo částečně připevnění předního kola ke stojanu, ale významně jí přispěla fixace zadní partie motocyklu upínacími pásy ke kotevním šroubům v podlaze haly. Jako vhodné body pro upnutí pásů byly vybrány horní úchyty zadních tlumičů pérování. Pro upnutí motocyklu do stojanu musel být sejmout blatník předního kola. Instalace motocyklu na válcové zkušebně je vyobrazena na následujícím obrázku.



Obrázek 21: Instalace motocyklu na válcové zkušebně

5.1.4 Ventilátor

Průtok vzduchu chladícími žebry motoru zajišťovaly v průběhu měření radiální ventilátor FILCAR a axiální ventilátor VENTRA. Průtok vzduchu radiálním ventilátorem byl úměrný otáčkám válců, podrobnější parametry obou ventilátorů budou uvedeny dále.

	FILCAR AL – 1500/C	VENTRA ALM 800 - 3
Maximální průtok vzduchu (m ³ /h)	12 000	32 000
Příkon (kW)	11,0	4,0
Otáčky motoru (min ⁻¹)	2 940	1 440
Napájení	400 V (50 Hz)	400 V (50 Hz)

Tabulka 7: Parametry ventilátorů

5.1.5 Software válcové zkušebny

Pro sledování a zaznamenávání aktuálního průběhu jízdního cyklu bylo pracovníky Katedry vozidel a pozemní dopravy naprogramováno prostředí ControlWeb. Tento program umožňuje korigovat nastavení ventilátoru v závislosti na pojezdové rychlosti, zobrazovat okamžik řazení rychlostních stupňů a hlavně sledovat průběh cyklu.

Průběh zkušebního cyklu je promítnut do osy “x“, zobrazující čas v sekundách a do osy “y“, zobrazující rychlost v kilometrech za hodinu. Po celou dobu jízdního cyklu je zde vyobrazena horní a dolní toleranční mez, udávající okamžitou rychlost v daném čase.

Odchyłka obou mezí činí 5 km/h a požadovaná rychlost by se měla nacházet v této toleranci. Informace o průběhu jízdního cyklu byly díky vzdálené obrazovce počítače promítány přímo do zorného pole řidiče, jak je znázorněno na obrázku č. 22.



Obrázek 22: Informace o průběhu cyklu v zorném poli řidiče

5.2 Zkušební motocykl

Jako zkušební byl vybrán motocykl JAWA 350/639 se dvoudobým dvouválcovým, vzduchem chlazeným motorem. Motocykl byl vyroben v roce 1991, v době měření jeho nájezd činil přibližně 39 tisíc kilometrů a jeho bližší technické podrobnosti jsou uvedeny v následující tabulce.

Parametry motoru a převodovky	
Uspořádání válců	řadové
Zdvihový objem válců (cm ³)	344
Kompresní poměr	9,8:1
Příprava směsi	karburátor
Druh vyplachování	vratné
Řízení rozvodu motoru	pístem
Vrtání/zdvih (mm)	58/65
Výkon	17 kW při 5250 min ⁻¹
Točivý moment	32 Nm při 4750 min ⁻¹
Sekundární převod	řetěz
Počet rychlostních stupňů	4
Fyzické parametry	
Pohotovostní hmotnost (kg)	167
Rozvor (mm)	1370
Typ rámu	trubkový, kolébkový
Druh brzd přední/zadní	kotoučová/čelist'ová
Pneumatiky	přední 3,25-18
	zadní 3,50-18

Tabulka 8: Parametry zkušebního motocyklu

5.3 Použité motorové oleje

Pro měření byly použity celkem tři oleje různých výrobců, vždy ve dvou mísících poměrech s automobilovým benzínem. Volba prvního mísícího poměru odpovídá hodnotě předepsané výrobcem motoru, tedy 1:45, druhá hodnota byla zvolena pro vyšší obsah oleje 1:30. Historicky byla na našem území hodnota 1:30 výrobcem běžně předepisována až do osmdesátých let minulého století.

Každý z použitých olejů je běžně dostupný v prodejní síti a svojí cenou nepřesahuje hranici 200 Kč/l. Dva ze tří olejů byli minerální a oba shodně splňovali výkonnostní třídu JASO FB, jmenovitě šlo o oleje značek Stihl a Castrol. Posledním testovaným olejem se stal polosyntetický Mogul TSF, který splňuje výkonnostní specifikaci JASO FD. Následující tabulka tyto oleje blíže charakterizuje.

	Mogul TSF	Castrol 2T	Stihl HP
Hustota při 20°C (kg/m³)	880	879	886
Kinematická viskozita při 100°C (mm²/s)	9,2	10,75	113,9 ¹
Bod vzplanutí (°C)	280	Neudává se	245
Bod tuhnutí (°C)	-30	-12	-30

¹ Výrobce udává pouze kinematickou viskozitu při 40 °C

Tabulka 9: Charakteristika olejů [59],[60],[61]

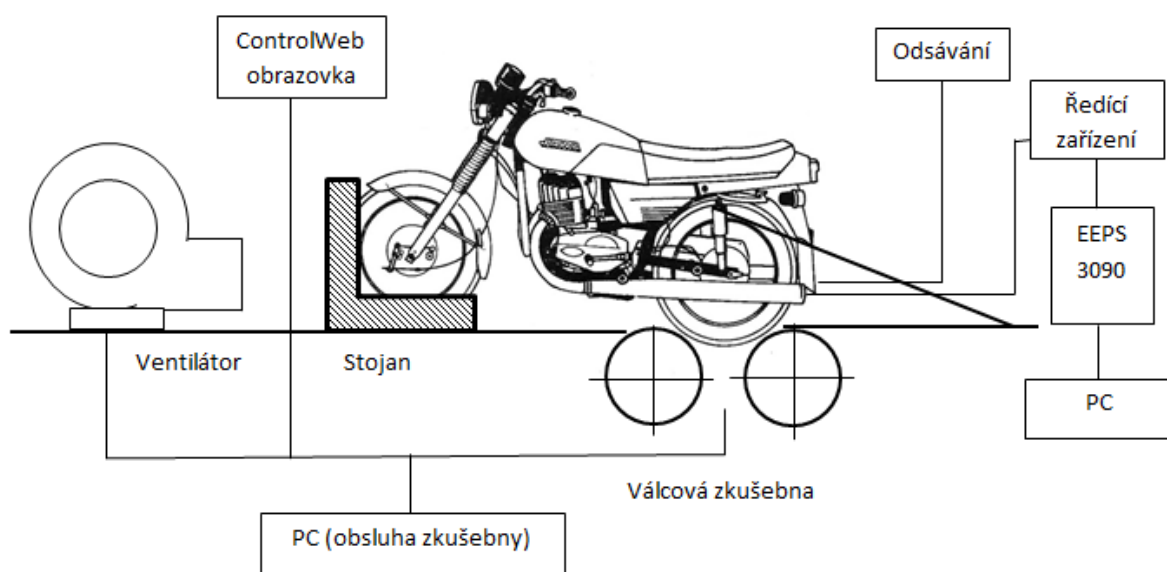
Tabulka vychází z informací v bezpečnostních listech, poskytovaných výrobcí olejů na základě nařízení Evropského parlamentu a rady č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek.

5.4 Postup měření

Samotnému měření předcházela souhrn úkonů, který zde bude ve stručnosti popsán. Měření proběhlo ve výukové hale, vytemperované přibližně na 21 °C a motor zkušebního motocyklu byl předem prohřátý na provozní teplotu. Ještě před upevněním motocyklu do stojanu byl zapnut analyzátor EEPS pro nutnou časovou prodlevu, která musí před každým uvedením v činnost následovat. Tato prodleva trvá 10 minut, během nichž se přístroj zahřívá na provozní teplotu a zbavuje se elektrických nábojů na detekčních kruzích od předchozího měření. V činnost je také uvedeno řídící zařízení nastavením teploty, v tomto konkrétním případě na hodnotu 120 °C. Řídící zařízení musí být zařazeno před analyzátozem EEPS.

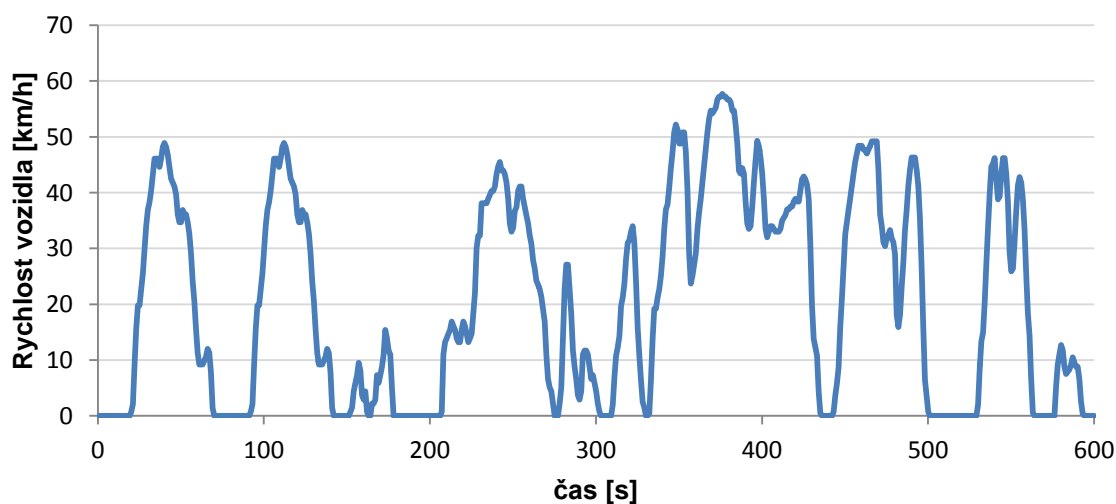
Následovalo přizpůsobení ocelového stojanu rozvoru motocyklu tak, aby zadní kolo bylo rovnoměrně v kontaktu s oběma válci válcové zkušebny. Ocelový stojan byl rovněž připevněn ke kotevním bodům v podlaze haly. Konečně pak byl motocykl připevněn za přední kolo ke stojanu a upínacími pásy za rám k zadním kotevním bodům v podlaze. Před motocykl byl umístěn ventilátor, zajišťující průtok vzduchu chladícími žebry motoru, odpovídající aktuálním otáčkám válců. Do zorného pole byla rovněž umístěna obrazovka, promítající software ControlWeb. K výfuku byla zavedena sonda přístroje EEPS, vzorek spalin byl odebírán pouze z jednoho válce, tedy z jednoho výfuku. Na druhý zbývající výfuk bylo instalováno odsávání výfukových plynů mimo výukovou halu. Schéma rozmístění jednotlivých použitých přístrojů zobrazuje obrázek č. 23. Na závěr přípravy měření

byla synchronizována činnost válcové zkušebny a ventilátoru pomocí počítače na stanovišti obsluhy zkušebny a současně ověřena činnost analyzátoru EEPS.



Obrázek 23: Rozmístění přístrojů

Po úspěšném dokončení veškerých příprav byla v činnost uvedena aparatura potřebná k měření a samotné měření započalo. Jako první byla jízdním cyklem Artemis Urban zjištěna produkce pevných částic směsi paliva s olejem Stihl v poměru 1:45 a následně 1:30. Ve stejném pořadí mísících poměrů následoval olej Castrol a závěrem Mogul. Jízdní cyklus byl z časových důvodů zkrácen na 600 sekund a jeho průběh je znázorněn na následujícím obrázku.



Obrázek 24: Jízdní cyklus Artemis Urban 600 s

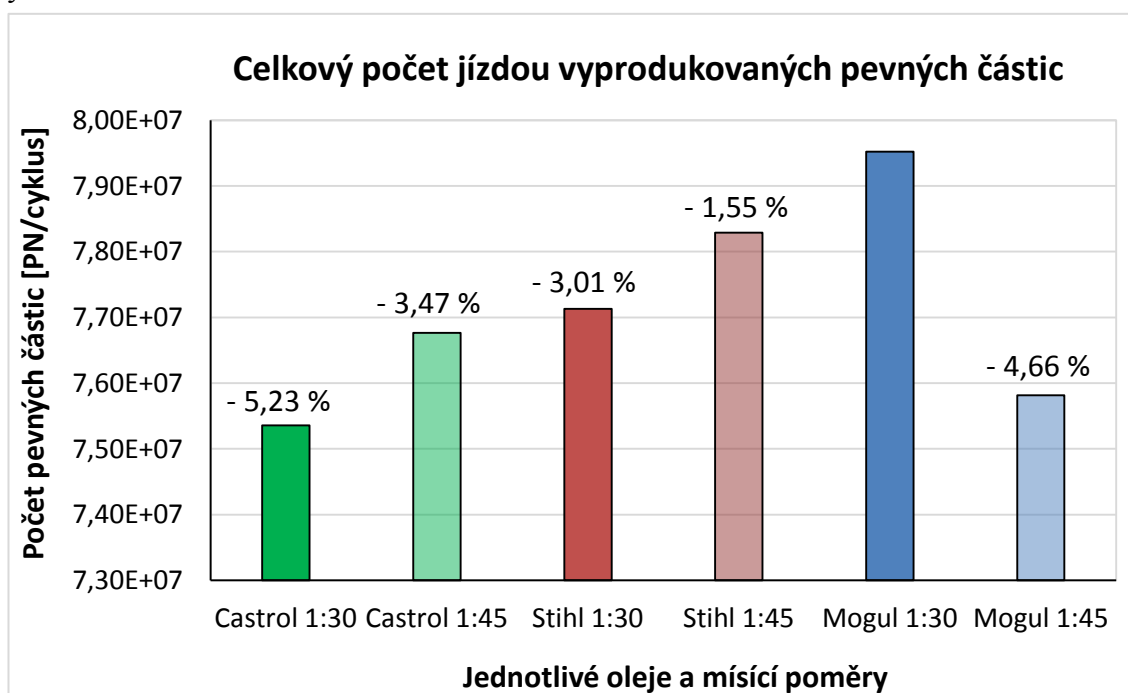
Tento upravený jízdní cyklus je oproti původnímu zkrácen o skoro 400 sekund, za nichž by vozidlo dosáhlo několika dalších akcelerací, nejvýše však na rychlost přibližně 40 km/h.

6 Výsledky měření a diskuse

Všechna měření byla uskutečněna těsně po sobě v průběhu tří hodin. Následně po ukončení měření došlo k exportu dat z válcové zkušebny a analyzátoru EEPS do programu MS Excel 2010, kde byla data utříděna a zpracována. Mezi hlavní zkoumané závislosti patřila celková produkce pevných částic za použití různých olejů a mísících poměrů při jízdních cyklech a koncentrace částic v závislosti na jejich velikosti.

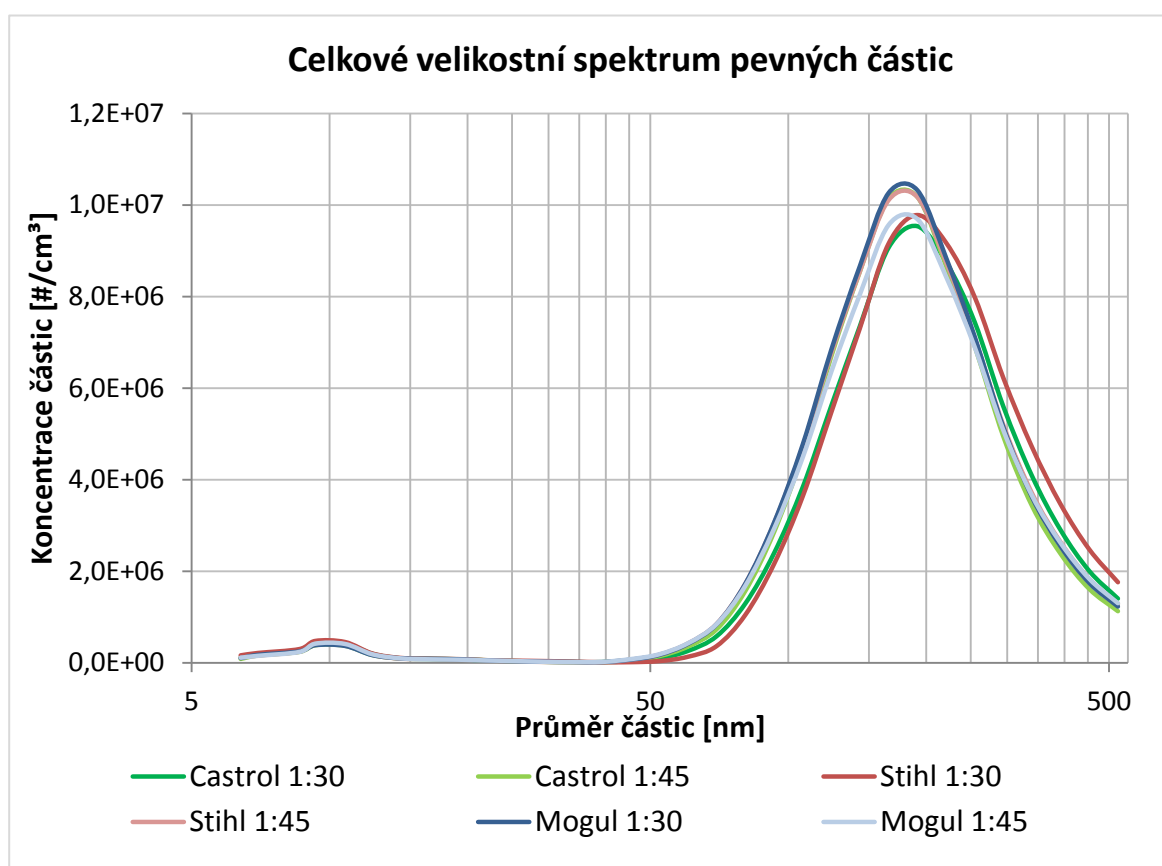
6.1.1 Celková produkce pevných částic

Data, jež se stala podkladem pro zhodnocení celkové produkce pevných částic, jsou součtem koncentrací všech velikostních kanálů přístroje EEPS (6,4-560 nm) za dobu jízdního cyklu. Okamžitý průběh produkce pevných částic jednotlivých olejů je umístěn v přílohách práce. Nejvyšší počet částic byl zaznamenán při použití oleje značky Mogul, při mísícím poměru 1:30. K tomuto výsledku jsou v grafu č. 1 vztaženy počty pevných částic ostatních vzorků, přičemž rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším naměřeným počtem činí více než 5 procent. Neočekávané hodnoty součtu pevných částic vykazala měření za použití olejů Castrol a Stihl, při použití většího množství oleje totiž produkovaly v obou případech méně pevných částic.



Graf 1: Celkový počet pevných částic vyprodukovaných během jízdního cyklu

Předchozí histogram poskytuje obraz o veškerých emitovaných částicích bez ohledu na jejich velikost. Přehled o emitovaných velikostech pevných částic poskytuje následující graf č. 2. Tento graf vychází ze součtů koncentrací pevných částic z jednotlivých velikostních kanálů v průběhu celého jízdního cyklu. Pro přehlednější zobrazení jsou hodnoty koncentrací spojeny do tvaru křivek. Na svislé ose je zobrazena koncentrace pevných částic na 1 cm^3 po jejich zředění, na ose vodorovné je pomocí logaritmického měřítka vynesena předpokládaný průměr pevných částic, získaný na základě separace částic dle jejich elektronické mobility v přístroji EEPS.



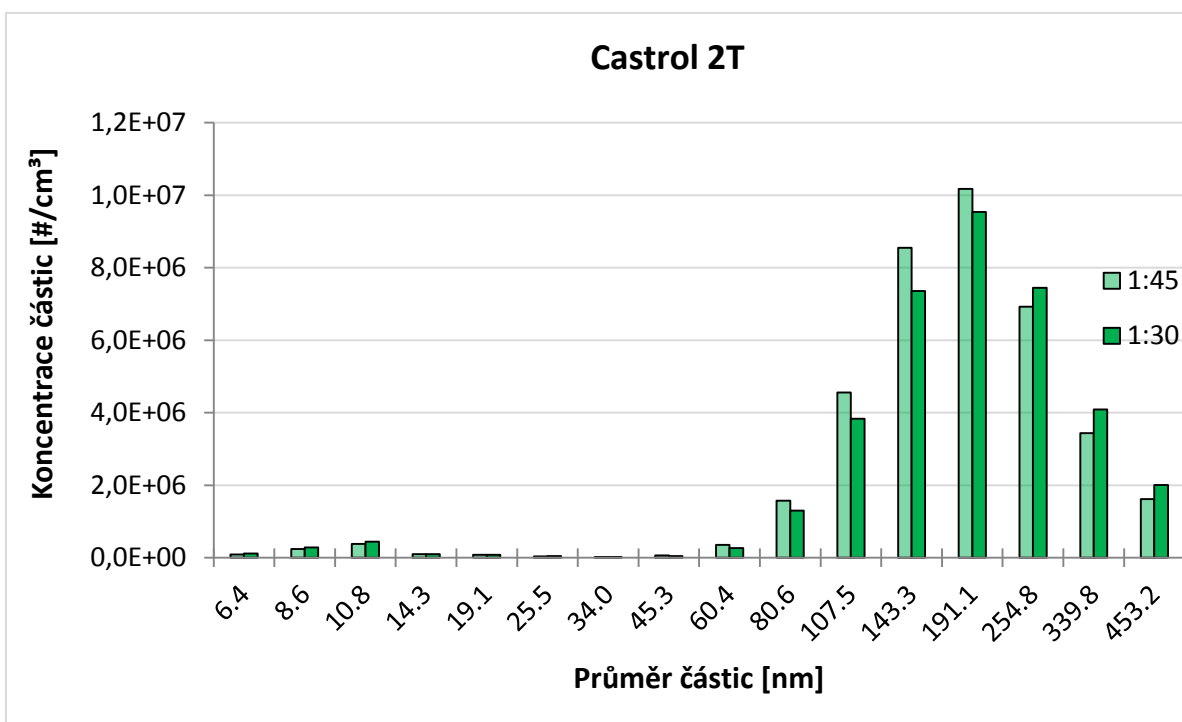
Graf 2: Celkové velikostní spektrum částic vyprodukovaných jízdou

Nejhojněji zastoupenými se staly částice o průměru blízcímu se 191,1 nm, naopak nule se blížila koncentrace částic tzv. nukleačního módu o velikosti do 30 nm. Hranici deseti milionů částic o zmíněném průměru na 1 cm^3 zředěného vzorku pak překročily pouze dvě ze zkoumaných směsí. Jednalo se o směsi paliva s olejem Mogul v poměru 1:30 a s olejem Stihl v poměru 1:45. Tyto směsi podle předchozího grafu rovněž produkovaly nejvyšší počty pevných částic v průběhu jízdního cyklu.

6.1.2 Závislost velikosti a počtu PM na mísicím poměru

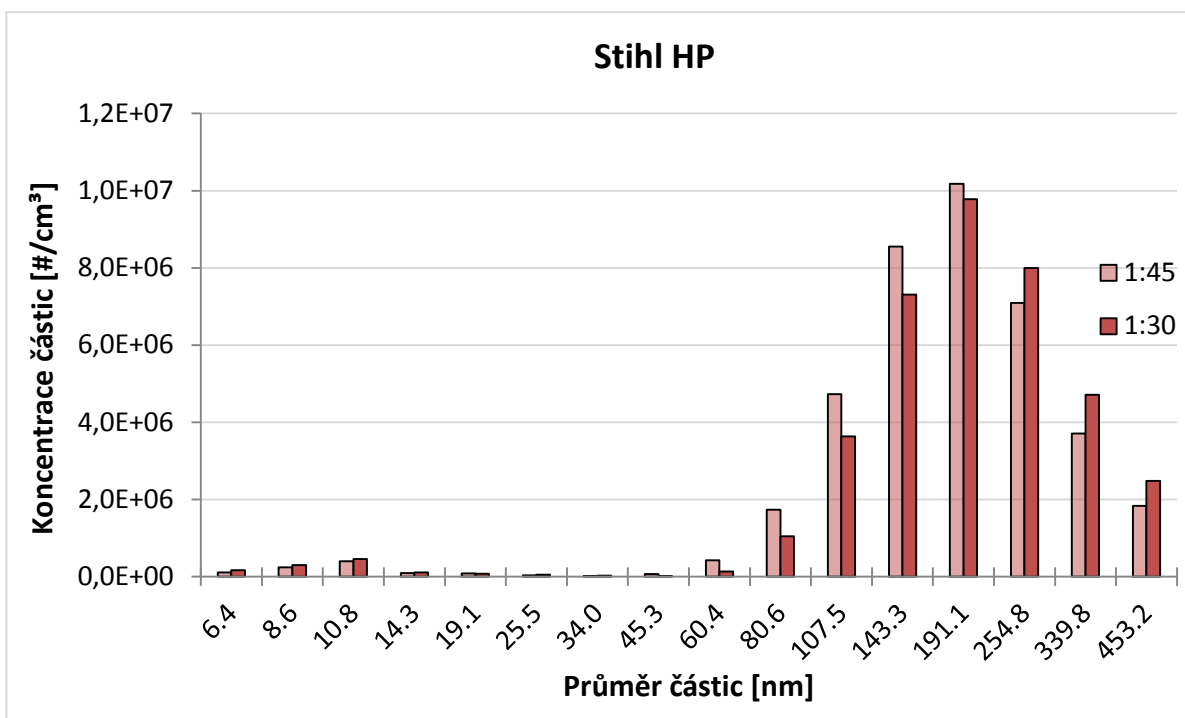
Ve snaze objasnit závislost mezi mísicím poměrem a počtem pevných částic byl pro každý druh motorového oleje vynesena sloupcový graf znázorňující závislost celkové koncentrace pevných částic v jednotlivých velikostních kanálech za dobu celého jízdního cyklu. Porovnány zde v tomto ohledu jsou oba mísicí poměry daného oleje.

Osa vodorovná vždy vynáší průměr částic dle ekvivalentní elektrické mobility a osa svislá pak koncentraci pevných částic v 1 cm^3 zředěného vzorku spalin. Zdrojová data pochází opět z přístroje EEPS, jež pevné částice třídil dle jejich elektronové mobility do 32 velikostních kanálů. Prvním z analyzovaných olejů byl olej Castrol 2T a velikostní spektrum jím vyprodukovaných částic znázorňuje následující graf.



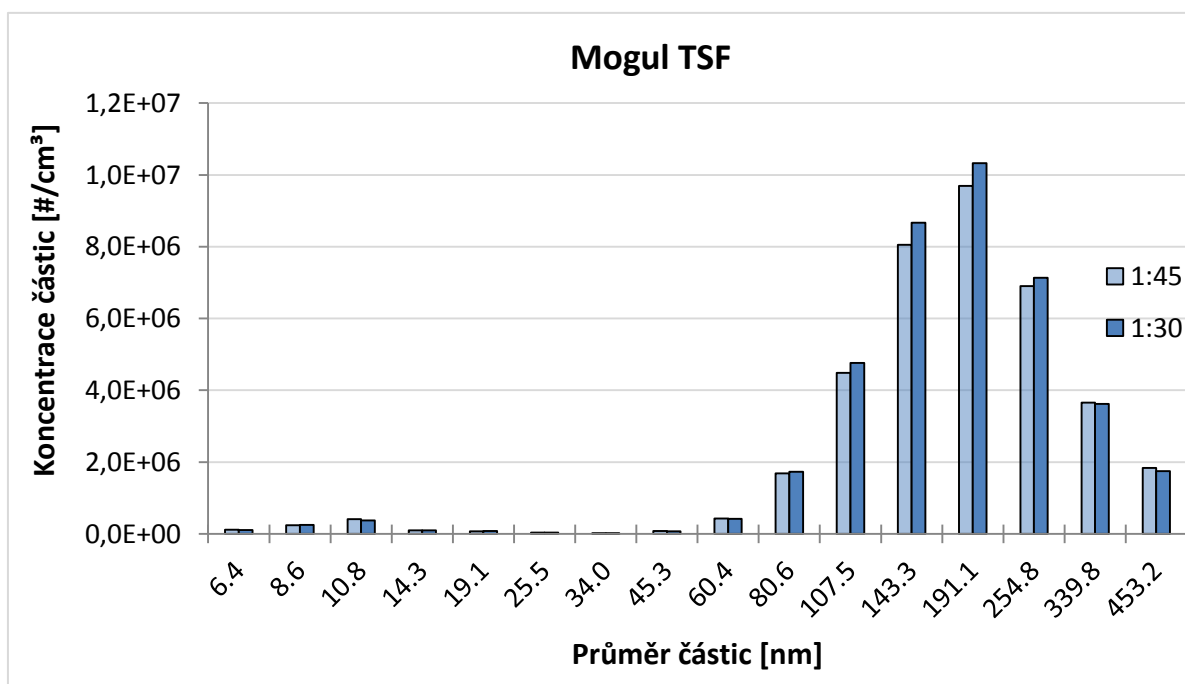
Graf 3: Závislost velikosti a počtu PM na mísicím poměru oleje Castrol 2T

Jak vyplývá z grafu, motor během jízdního cyklu emitoval minimum částic nukleačního módu, dominantní pak byly zbylé částice velikostního spektra počínaje průměrem 80,6 nm. Navzdory očekávání, do průměru částic 191,1 nm převažovaly částice vyprodukované směsí s nižším obsahem mazacího oleje. Od zmíněné velikosti až do konce velikostního spektra již převládaly částice ze směsi s větším množstvím oleje. Téměř shodný průběh lze pozorovat i v případě použití oleje Stihl HP, jak ilustruje následující graf.



Graf 4: Závislost velikosti a počtu PM na mísícím poměru oleje Stihl HP

Oproti předchozím olejům, poslední z testovaných dal za vznik většímu počtu pevných částic za použití většího množství maziva ve všech kanálech velikostního spektra. Použití oleje Mogul TSF dalo za vznik nepatrnému množství částic o velikosti do 10,8 nm, opět dominovaly částice s průměrem větším než 80,6 nm.



Graf 5: Závislost velikosti a počtu PM na mísícím poměru oleje Mogul TSF

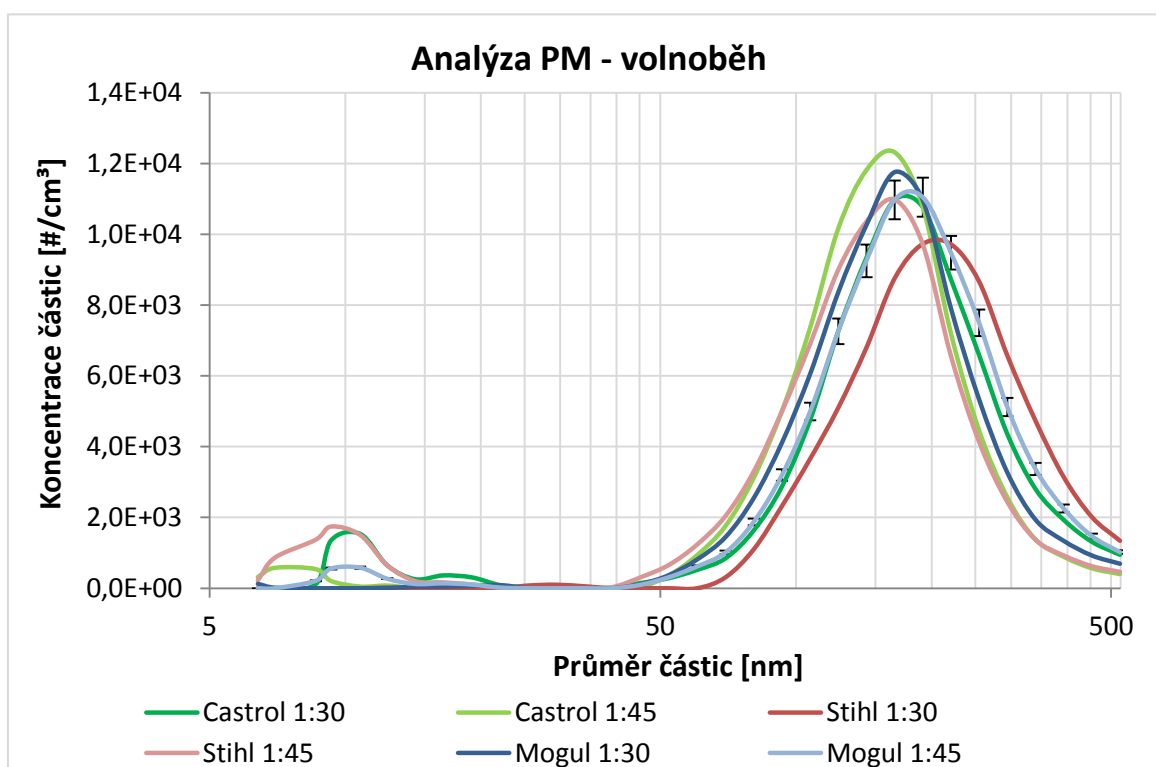
6.1.3 Porovnání produkce PM při odlišných jízdních konfiguracích

Pro zjištění charakteru pevných částic v závislosti na provozních podmínkách byly z jízdního cyklu vybrány dva měřicí body, přičemž zde bude představena okamžitá koncentrace částic při nich zaznamenaná. Výsledkem obou měřících bodů jsou křivky koncentrací jednotlivých směsí, reprezentující počet částic určité velikosti. Primárně jsou v grafech porovnávány koncentrace PM vůči směsi benzínu s olejem Mogul v poměru 1:45. Jedná se totiž o nástupce doporučeného maziva a míšící poměr, doporučený výrobcem motoru. Pro účel porovnání byla využita funkce chybových úseček.

Vodorovná osa s logaritmickým měřítkem představuje velikostní spektrum částic, tvořené 32 kanály přístroje EEPS. Osa svislá znázorňuje četnost částic dané velikosti ve zředěném vzorku emisí.

6.1.3.1 Analýza PM – volnoběh

Prvním ze zkoumaných bodů je volnoběh, kdy se otáčky nezatíženého motoru pohybují přibližně okolo hodnoty 1700 ot./min. Produkce PM ve vybraném měřícím bodě je znázorněna v následujícím grafu.

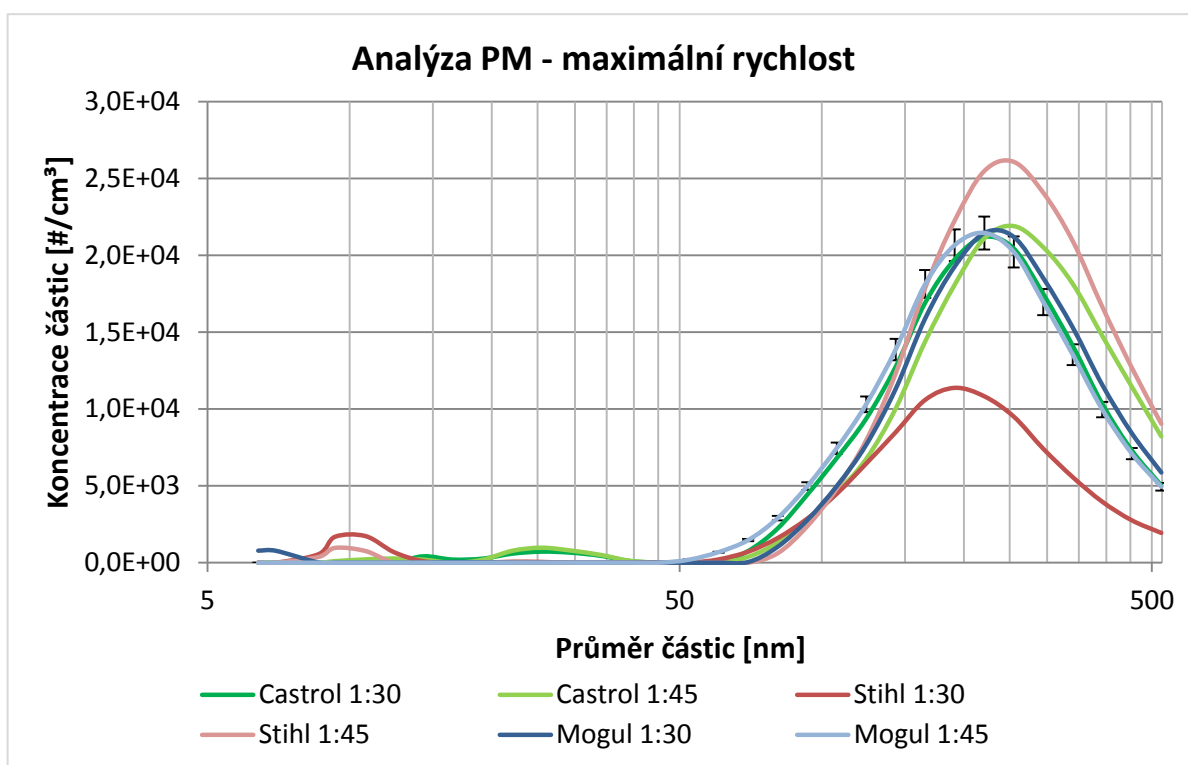


Graf 6: Analýza PM při 1700 ot./min a nezatíženém motoru

S výjimkou použití olejů Stihl v poměru 1:45 a Castrol v poměru 1:30 lze konstatovat, že produkce částic nukleačního módu je při volnoběžných otáčkách zanedbatelná. Většina směsí produkovala nejvíce částic o velikosti 191,1 nm a to přibližně v počtu jedenácti až dvanácti tisíci částic na 1 cm^3 zředěného vzorku. Toto nelze tvrdit o směsi benzínu s olejem Stihl v poměru 1:30, která produkovala nejvíce částic o velikosti 220,7 nm a to v počtu necelých $10\,000 \cdot \text{cm}^{-3}$ zředěného vzorku. Z pohledu koncentrace PM směs benzínu s olejem Castrol v poměru 1:45 jako jediná v daném velikostním kanálu překročila počet částic $12\,000 \cdot \text{cm}^{-3}$.

6.1.3.2 Analýza PM – maximální rychlost

Druhým ze zkoumaných bodů byl vybrán takový, při němž bylo v upraveném jízdním cyklu Artemis Urban dosaženo nejvyšší rychlosti, tj. $57 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Výsledky produkce PM v závislosti na použité směsi benzínu s olejem jsou uvedeny v grafu č. 7.



Graf 7: Analýza PM při maximální rychlosti dosažené v jízdním cyklu

V tomto jízdním režimu se na produkci pevných částic nejvíce podílely ty, jejichž velikost přesáhla 80,6 nm. Částice menšího průměru byly zaznamenány v hojnějším počtu, přibližně $1700 \cdot \text{cm}^{-3}$ ve velikostním kanálu 10,8 nm a to za použití oleje Stihl v poměru 1:30 s benzínem. Nejhojněji byly ve většině případů zastoupeny částice velikostního kanálu

254,8 nm, přičemž se jejich koncentrace pohybovala okolo hodnoty $21\,000\cdot\text{cm}^{-3}$. Vyšší koncentrace částic byla zaznamenána pouze při použití oleje Stihl při míšicím poměru 1:45. Nejlépe z pohledu koncentrace dopadla směs benzínu opět s olejem Stihl, tentokrát při míšicím poměru 1:30, jejíž produkce částic v tomto velikostním kanálu byla přibližně o 50% nižší.

7 Závěr

Diplomová práce se zabývala problematikou produkce pevných částic dvoudobých zážehových motorů. Teoretická část poskytuje přehled o problematice dvoudobých motorů, emisí se zaměřením na pevné částice a jejich vlivu na živé organismy, dále poskytuje přehled o používaných analyzátoch pevných částic a ve svém závěru se věnuje jízdním cyklům, používaným pro zjištění produkce emisí.

Praktická část práce sestává z popisu potřebného přístrojového vybavení, zkoumaných olejů a v neposlední řadě také shrnuje postup celého měření. Tato část práce ale hlavně vyhodnocuje emise pevných částic různých motorových olejů za využití jízdního cyklu Artemis Urban, zkráceného na 600 sekund. Jako zkoumané motorové oleje byly vybrány produkty firem Castrol, Stihl a Mogul, smíchané s automobilovým benzínem vždy v poměru 1:30 a 1:45. Oleje byly vybrány s ohledem na svoji výkonnostní třídu s cílem porovnat produkci pevných částic dvou srovnatelných olejů vzájemně a také s olejem splňující vyšší výkonnostní třídu. Pro experiment byl použit motocykl Jawa 350/639, umístěný na válcový dynamometr laboratoře Katedry vozidel a pozemní dopravy ČZU.

Výsledky měření poskytly informace nejen o celkově vyprodukovaném počtu částic za dobu celého jízdního cyklu a jejich velikostním rozdělení, ale také poskytly přehled o okamžité produkci pevných částic ve dvou vybraných měřících bodech.

Nejvyšší počet vyprodukovaných pevných částic, bez ohledu na jejich velikost, vykazala směs benzínu a oleje Mogul TSF v poměru ředění 1:30. Tento olej, jako jediný z použitých, zaznamenal snížení počtu emitovaných pevných částic se zmenšením množství oleje na mez, předepsanou výrobcem motoru. Snížení počtu částic zde bylo vyčísleno o více než čtyři procenta. Zbylé dva oleje při použití svého předepsaného množství (mísení v poměru 1:45), zaznamenaly nárůst počtu pevných částic, oproti směsi s přebytkem oleje (mísení 1:30). Toto chování lze přisoudit odlišnému složení motorových olejů, ale i faktu že oleje Stihl HP ani Castrol 2T nejsou přímo doporučované výrobcem motoru. Bližším zkoumáním velikostního spektra pevných částic z olejů Stihl a Castrol bylo zjištěno, že použití menšího množství oleje vykazalo větší produkci částic do velikosti 191,1 nm. Od této hodnoty již převažovaly částice směsi, mísené v poměru 1:30. Pro všechny tři oleje lze usuzovat, že použitím většího množství oleje, vzrostou počty pevných částic o velikostech 254,8 nm až 523,3 nm.

Obraz o velikosti a počtu pevných částic v závislosti na provozních podmínkách poskytla analýza pevných částic při volnoběhu a maximální rychlosti. Vzájemným porovnáním výsledků produkce částic při zmíněných jízdních konfiguracích bylo zjištěno, že produkce pevných částic při maximální rychlosti byla u většiny směsí takřka dvojnásobná oproti volnoběhu. Ve vysoké rychlosti také došlo ke zvětšení velikosti nejhojněji emitovaných částic. Zajímavé a neočekávané výsledky obou měřících bodů přineslo použití oleje Stihl HP ve směsi s benzínem v poměru 1:30. V obou případech zde totiž byly zaznamenány ze všech směsí nejnižší hodnoty počtu pevných částic a rovněž také nejméně markantní nárůst počtu částic při maximální rychlosti oproti volnoběhu. Je důležité podotknout, že se jedná pouze o dvě vybrané konfigurace skutečné jízdy, přičemž např. při prudké akceleraci mohou výsledky porovnání být zcela jiné.

Toto měření je zdrojem překvapivých výsledků v oblasti tvorby pevných částic dvoudobých zážehových motorů. V souvislosti s ním by obdobné práce přinesly naději na objasnění problematiky, čímž by v konečném důsledku třeba přispěly i ke zlepšení životních podmínek nejen obyvatel hustě osídlených oblastí, ale i např. pracovníků denně využívajících dvoudobou mechanizaci.

8 Použité zdroje

- [1] HROMÁDKO, Jan, Jiří HROMÁDKO, Vladimír HÖNIG a Petr MILER. *Spalovací motory*. Praha: Grada Publishing a.s., 2011. ISBN 978-80-247-3475.
- [2] UAMK. *Kde jezdí nejvíce aut?* [online]. 2016 [vid. 2018-11-03]. Dostupné z: <http://www.uamk.cz/aktuality/1310-kde-jezdi-nejvice-aut>
- [3] SINGH, A K. Castor oil-based lubricant reduces smoke emission in two-stroke engines. *Industrial Crops & Products* [online]. 2011, **33**(2), 287–295. ISSN 0926-6690. Dostupné z: doi:10.1016/j.indcrop.2010.12.014
- [4] DOC.ING. ADAMEC, VLADIMÍR, CSc. *Persistentní organické polutanty z dopravy - stav a vývoj* [online]. 2007 [vid. 2018-11-03]. Dostupné z: http://www.recetox.muni.cz/nc/res/file/2007/4_doprava.pdf
- [5] KOŇÁKOVÁ, Eva. *Honda si patentovala dvoutaktní motor se vstříkáním | Silničnimotorky.cz* [online]. 2015 [vid. 2018-11-03]. Dostupné z: <https://silnicnimotorky.cz/motorky/technika/honda-si-patentovala-dvoutaktni-motor-se-vstrikovanim/>
- [6] HEYWOOD, John B. a Eran SHER. *The Two-Stroke Cycle Engine, Its Development, Operation and Design*. New Yourk: Taylor & Francis Group, LLC, 1999. ISBN 1560328312.
- [7] VYKOUKAL, Rudolf. *Dvoudobé vozidlové motory* [online]. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1957 [vid. 2019-02-26]. Dostupné z: https://www.minory.cz/uploads/downloads/Vykoukal-dvoudobe_motory.pdf
- [8] MACEK, Jan. *Spalovací motory*. 2. Praha: ČVUT Praha, 2012. ISBN 978-80-01-05015-6.
- [9] BLAIR, Gordon P. *Design and Simulation of Two-Stroke Engines*. Warrendale: Society of Automotive Engineers, Inc., 1996. ISBN 1560916850.
- [10] *Scott Owners' Club: A brief history of Scott Motorcycles* [online]. [vid. 2018-11-03]. Dostupné z: http://www.scottownersclub.org/scott_motorcycle_history.htm
- [11] MYAUTOWORLD. *DKW Automobile - Jörgen Skaftø Rasmussen* [online]. [vid. 2018-11-03]. Dostupné z: <https://myautoworld.com/audi/cars/history/company/dkw/dkw.html>

- [12] ARCOUMANIS, C. a T. KAMIMOTO. *Flow and combustion in reciprocating engines* [online]. Berlin: Springer, 2009. ISBN 9783540641421. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-68901-0
- [13] RAUSCHER, Jaroslav. *Spalovací motory* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005. Dostupné z: http://www.iae.fme.vutbr.cz/userfiles/ramik/files/Spalovaci_motory_2005.pdf
- [14] HUSÁK, Pavel. *Motocykly s dvoudobým motorem.pdf*. Praha: SNTL, 1978. ISBN 04-225-78.
- [15] KRUGER, R. The two-stroke engine: A short review of a long revolution. *Ed Youngblood's motohistory* [online]. 2009 [vid. 2018-11-03]. Dostupné z: <http://www.motohistory.net/news2009/news-mar09.html>
- [16] MARTINS, Jorge. *RAVE (Rotax Automatic Valve Exhaust) [3]. / Download Scientific Diagram* [online]. 2016 [vid. 2019-02-13]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/RAVE-Rotax-Automatic-Valve-Exhaust-3_fig4_301243069
- [17] VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů*. 1. vydání. 2004. ISBN 80-239-1601-7.
- [18] VALVES "AEC" - *Forum 2temps* [online]. [vid. 2019-01-31]. Dostupné z: <http://forum.2temps.fr/viewtopic.php?t=13063>
- [19] KOUBEK, Jaroslav. *Dvoutaktní motory*. Praha: Nakladatel Josef Hokr, 1946.
- [20] *2-Stroke Lubrication | Bel-Ray Company, Inc* [online]. 2014 [vid. 2019-02-24]. Dostupné z: <http://www.belray.com/2-stroke-lubrication>
- [21] FERNANDES, Aline, Jonas O. VINHAL, Achilles Junqueira Bourdot DUTRA a Ricardo J. CASSELLA. Study of the extraction of Ca, Mg and Zn from different types of lubricating oils (mineral, semi-synthetic and synthetic) employing the emulsion breaking strategy. *Microchemical Journal* [online]. 2019, **145**, 1112–1118. ISSN 0026265X. Dostupné z: doi:10.1016/j.microc.2018.12.043
- [22] VENKATESAN, C, K VIGNESH, P KANNADASEN a G RAMASIVAM. Rapeseed Oil Based Lubricant Reduces Smoke Emission in Two-Stroke Petrol Engines. 2014, **2**(4), 168–179.
- [23] SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN. TWO CYCLE GASOLINE

- ENGINE OIL PERFORMANCE CLASSIFICATION (JASO M345)
IMPLEMENTATION MANUAL Appendix 6 - TEST LABORATORIES FOR TWO
CYCLE ENGINE OILS. *Two cycle gasoline engine oil performance classification
(JASO M345)* [online]. 2018. Dostupné
z: http://www.jalos.or.jp/onfile/pdf/2T_EV1812.pdf
- [24] *Specifikace motorových olejů* [online]. [vid. 2018-11-03]. Dostupné
z: <http://www.petroileum.cz/vyrobky/oleje-motorove-specifikace.aspx>
- [25] MARTINI, Giorgio. *Physical & Chemical Characterization of emissions from 2-Stroke
motorcycles Comparison with 4-stroke engines* [online]. 2009. ISBN 9789279135408.
Dostupné z: doi:10.2788/38196
- [26] ÅLANDER, Timo, Eero ANTIKAINEN, Taisto RAUNEMAA, Esa ELONEN, Aimo
RAUTIOLA a Keijo TORKKELL. Particle emissions from a small two-stroke engine:
Effects of fuel, lubricating oil, and exhaust aftertreatment on particle characteristics.
Aerosol Science and Technology [online]. 2005, **39**(2), 151–161. ISSN 02786826.
Dostupné z: doi:10.1080/027868290910224
- [27] PLATT, S. M., I. EL HADDAD, S. M. PIEBER, R. J. HUANG, A. A. ZARDINI, M.
CLAIROU, R. SUAREZ-BERTO, P. BARMET, L. PFAFFENBERGER, R.
WOLF, J. G. SLOWIK, S. J. FULLER, M. KALBERER, R. CHIRICO, J. DOMMEN,
C. ASTORGA, R. ZIMMERMANN, N. MARCHAND, S. HELLEBUST, B.
TEMIME-ROUSSEL, U. BALTENSBERGER a A. S.H. PRÉVÔT. Two-stroke
scooters are a dominant source of air pollution in many cities. *Nature Communications*
[online]. 2014, **5**(May), 1–7. ISSN 20411723. Dostupné z: doi:10.1038/ncomms4749
- [28] US EPA, OAR. Particulate Matter (PM) Basics [online]. nedatováno [vid. 2019-01-22].
Dostupné z: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>
- [29] DALE R. TREE, Kenth I. Svensson. Soot processes in compression ignition engines.
International Journal of Clinical and Experimental Pathology [online]. 2005, **10**(5),
272–309. ISSN 19362625. Dostupné z: doi:10.1016/j.pecs.2006.03.002
- [30] GLASSMAN, Irvin a Richard A. YETTER. *Combustion* [online]. Edinburgh:
Academic Press Elsevier, 2008. ISBN 9780120885732. Dostupné z: doi:10.1016/B978-
0-12-088573-2.X0001-2
- [31] MARJAMÄKI, Marko a Jorma KESKINEN. *PARTICULATES Characterisation of*

- Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles* [online]. 2001 [vid. 2019-01-23].
Dostupné z: <http://lat.eng.auth.gr/particulates/>
- [32] ANDERSON, Jonathan O., Josef G. THUNDIYIL a Andrew STOLBACH. Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health. *Journal of Medical Toxicology* [online]. 2012, **8**(2), 166–175. ISSN 15569039. Dostupné z: doi:10.1007/s13181-011-0203-1
- [33] US EPA, OAR. *Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM)* [online]. [vid. 2018-11-24]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>
- [34] HOLLEROVÁ, Jitka. *Prašnost na pracovišti, SZÚ* [online]. 2007 [vid. 2018-11-24]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/prasnost-na-pracovisti-1>
- [35] GEISER, Marianne, Barbara ROTHEN-RUTISHAUSER, Nadine KAPP, Samuel SCHÜRCH, Wolfgang KREYLING, Holger SCHULZ, Manuela SEMMLER, Vinzenz IM HOF, Joachim HEYDER a Peter GEHR. Ultrafine particles cross cellular membranes by nonphagocytic mechanisms in lungs and in cultured cells. *Environmental Health Perspectives* [online]. 2005, **113**(11), 1555–1560. ISSN 00916765. Dostupné z: doi:10.1289/ehp.8006
- [36] SHIH, Chi-Hsiang, Jen-Kun CHEN, Li-Wei KUO, Kuan-Hung CHO, Ta-Chih HSIAO, Zhe-Wei LIN, Yi-Syuan LIN, Jiunn-Horng KANG, Yu-Chun LO, Kai-Jen CHUANG, Tsun-Jen CHENG a Hsiao-Chi CHUANG. Chronic pulmonary exposure to traffic-related fine particulate matter causes brain impairment in adult rats. *Particle and Fibre Toxicology* [online]. 2018, **15**(1), 44 [vid. 2019-03-20]. ISSN 1743-8977. Dostupné z: doi:10.1186/s12989-018-0281-1
- [37] HOLOUBEK, Ivan. *Chemie životního prostředí III Atmosféra Další polutanty v atmosféře* [online]. Dostupné z: <http://www.recetox.muni.cz/res/file/prednasky/holoubek/chzp-iii/chzp-iii-atmosfera-08-dalsi-polutanty.pdf>
- [38] AKBAR, Sameer a Masami KOJIMA. *The Science of Health Impacts of Particulate Matter* [online]. 2003 [vid. 2019-03-18]. Dostupné z: <http://siteresources.worldbank.org/PAKISTANEXTN/Resources/UrbanAir/ScienceOfHealthImpact.pdf>

- [39] SACKS, Jason D., Lindsay Wichers STANEK, Thomas J. LUBEN, Douglas O. JOHNS, Barbara J. BUCKLEY, James S. BROWN a Mary ROSS. Particulate matter-induced health effects: Who is susceptible? *Environmental Health Perspectives* [online]. 2011, **119**(4), 446–454. ISSN 00916765. Dostupné z: doi:10.1289/ehp.1002255
- [40] JÁCHYM BRZEZINA. *Závěry a doporučení WHO – kvalita ovzduší | ČHMÚ Brno* [online]. 2018 [vid. 2019-01-22]. Dostupné z: <https://chmibrno.org/blog/2018/12/13/zavery-a-doporuceni-who-kvalita-ovzdusi/>
- [41] EVROPSKÝ PARLAMENT A RADA EVROPSKÉ UNIE. *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/50/ES ze dne 21. května 2008 o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu* [online]. 2008 [vid. 2019-01-22]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0050>
- [42] BURTSCHER, H. Physical characterization of particulate emissions from diesel engines: A review. *Journal of Aerosol Science* [online]. 2005, **36**(7), 896–932. ISSN 00218502. Dostupné z: doi:10.1016/j.jaerosci.2004.12.001
- [43] *Introduction - Transport - UNECE* [online]. [vid. 2019-01-26]. Dostupné z: https://www.unece.org/trans/main/wp29/meeting_docs_grpe.html
- [44] *Předpis č. 83 Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN)* [online]. 2012 [vid. 2019-01-31]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=CELEX%3A42012X0215%2801%29>
- [45] OTSUKI, Yoshinori, Hiroshi NAKAMURA, Masataka ARAI a Min XU. The methodologies and instruments of vehicle particulate emission measurement for current and future legislative regulations. *Measurement Science and Technology* [online]. 2015, **26**(9), 92. ISSN 13616501. Dostupné z: doi:10.1088/0957-0233/26/9/092002
- [46] General methods for sampling and gravimetric analysis of respirable, thoracic and inhalable aerosols MDHS14. *Health and Safety Executive* [online]. 2014 [vid. 2019-01-31]. Dostupné z: <http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/pdfs/mdhs14-4.pdf>
- [47] HEINZ BURTSCHER, W. ADDY MAJEWSKI, Imad A. Khalek. *PM Measurement: Collecting Methods* [online]. 2016 [vid. 2019-01-31]. Dostupné z: https://www.dieselnet.com/tech/measure_pm_col.php
- [48] ORTEGA, I.K., D. DELHAYE, F.-X. OUF, D. FERRY, C. FOCSA, C. IRIMIEA, Y.

- CARPENTIER, B. CHAZALLON, P. PARENT, C. LAFFON, O. PENANHOAT, N. HARIVEL, D. GAFFIÉ a X. VANCASSEL. Measuring Non-Volatile Particle Properties in the Exhaust of an Aircraft Engine. *Journal AerospaceLab* [online]. 2016, (11), 1–14. Dostupné z: doi:10.12762/2016.AL11-08
- [49] Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS). *Centre for Atmospheric Science* [online]. [vid. 2019-01-31]. Dostupné z: <http://www.cas.manchester.ac.uk/restools/instruments/aerosol/scanning/>
- [50] PRATHER, Kimberly A. *Aerosol Time-of-Flight Mass Spectrometry (ATOFMS) as a Real-Time Monitor of Individual Aerosol Particles in Field Studies Introduction to aerosol time-of-flight mass spectrometry* [online]. nedatováno [vid. 2019-01-30]. Dostupné z: <https://www.arb.ca.gov/research/apr/past/95-305.pdf>
- [51] *Emission Test Cycles* [online]. [vid. 2019-01-25]. Dostupné z: <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/index.php#iso>
- [52] ROMAIN, Nicolas. *Different drive cycles* [online]. 2013 [vid. 2019-01-25]. Dostupné z: <http://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/>
- [53] GALGAMUWA, Uditha, Loshaka PERERA a Saman BANDARA. Developing a General Methodology for Driving Cycle Construction: Comparison of Various Established Driving Cycles in the World to Propose a General Approach. *Journal of Transportation Technologies* [online]. 2015, **05**(04), 191–203 [vid. 2019-01-31]. ISSN 2160-0473. Dostupné z: doi:10.4236/jtts.2015.54018
- [54] GIAKOUMIS, Evangelos G. *Driving and engine cycles* [online]. B.m.: Springer International Publishing AG, 2017. ISBN 9783319490342. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-49034-2
- [55] WLTP | Audi Česká republika. *Audi.cz* [online]. 2019 [vid. 2019-01-31]. Dostupné z: <https://www.audi.cz/wltp>
- [56] WANG, Xiaoliang, Melissa A. GROSE, Aaron AVENIDO, Mark R. STOLZENBURG, Robert CALDOW, Brian L. OSMONDSO, Judith C. CHOW a John G. WATSON. Improvement of Engine Exhaust Particle Sizer (EEPS) size distribution measurement - I. Algorithm and applications to compact-shape particles. *Journal of Aerosol Science* [online]. 2016, **92**, 95–108. ISSN 18791964. Dostupné z: doi:10.1016/j.jaerosci.2015.11.002

- [57] THE, Simply, Best TOOL, F O R MEASURING, Particle EMISSIONS, Characterizing EXHAUST, After TREATMENT, Devices DURING a Transient Engine CYCLES. Engine Exhaust Particle Sizer TM Spectrometer Model 3090 Simply the Best Tool for Measuring Particle Emissions and the Most Reliable Particle Emissions. nedatováno.
- [58] MAŘÍK, Jakub, Martin KOTEK, Petr JINDRA, David MARČEV a Vladimír HÖNIG. XLVIII. INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE OF CZECH AND SLOVAK UNIVERSITIES' DEPARTMENTS AND INSTITUTIONS DEALING WITH THE RESEARCH OF COMBUSTION ENGINES. In: [online]. 2017, s. 243–250 [vid. 2019-03-13]. ISBN 9788074943546. Dostupné z: http://koka2017.tul.cz/downloads/KOKA_2017_Sbornik.pdf
- [59] *Stihl HP: Bezpečnostní list* [online]. nedatováno [vid. 2019-02-06]. Dostupné z: <https://www.stihl.cz/p/media/download/cz-cz/Olej-STIHL-HP-10-2017.pdf>
- [60] *Castrol 2T BEZPEČNOSTNÍ LIST* [online]. 2017 [vid. 2019-03-27]. Dostupné z: https://www.dfpartner.eu/Global/RowDocument/2T_BL_2200.PDF
- [61] *Mogul TSF: Technické informace* [online]. nedatováno [vid. 2019-02-06]. Dostupné z: https://eshop.paramo.cz/data/VyrobkovaDokumentace/ti_mogul_tsf_z5.pdf

8.1 Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Kruhový diagram dvoudobého zážehového motoru</i>	3
<i>Obrázek 2: Pracovní oběh dvoudobého zážehového motoru</i>	5
<i>Obrázek 3: Jazyčkový ventil</i>	10
<i>Obrázek 4: RAVE systém</i>	11
<i>Obrázek 5: Konstrukční řešení SAEC</i>	11
<i>Obrázek 6: Složení výfukových plynů zážehových motorů</i>	19
<i>Obrázek 7: Podíl vozidel se dvoudobým motorem na celkové spotřebě paliva</i>	19
<i>Obrázek 8: Rozčlenění pevných částic</i>	23
<i>Obrázek 9: Zachycení částic v dýchací soustavě člověka</i>	24
<i>Obrázek 10: Zdroje hluku dvoudobého motoru</i>	26
<i>Obrázek 11: Schéma systému ředění výfukových plynů CVS</i>	28
<i>Obrázek 12: Gravimetrická filtrační patrona opatřena rychlospojkami</i>	29
<i>Obrázek 13: Kondenzační čítač částic</i>	30
<i>Obrázek 14: SMPS</i>	31
<i>Obrázek 15: ATOFMS spektrometr</i>	34
<i>Obrázek 16: Výběr z jízdních cyklů osobních automobilů</i>	35
<i>Obrázek 17: Nový evropský jízdní cyklus</i>	36
<i>Obrázek 18: Princip funkce přístroje EEPS 3090</i>	41
<i>Obrázek 19: Proces ředění výfukových plynů</i>	42
<i>Obrázek 20: Vyobrazení ředícího zařízení spolu s řídicí jednotkou</i>	42
<i>Obrázek 21: Instalace motocyklu na válcové zkušebně</i>	44
<i>Obrázek 22: Informace o průběhu cyklu v zorném poli řidiče</i>	45
<i>Obrázek 23: Rozmístění přístrojů</i>	48
<i>Obrázek 24: Jízdní cyklus Artemis Urban 600 s</i>	48

8.2 Seznam tabulek

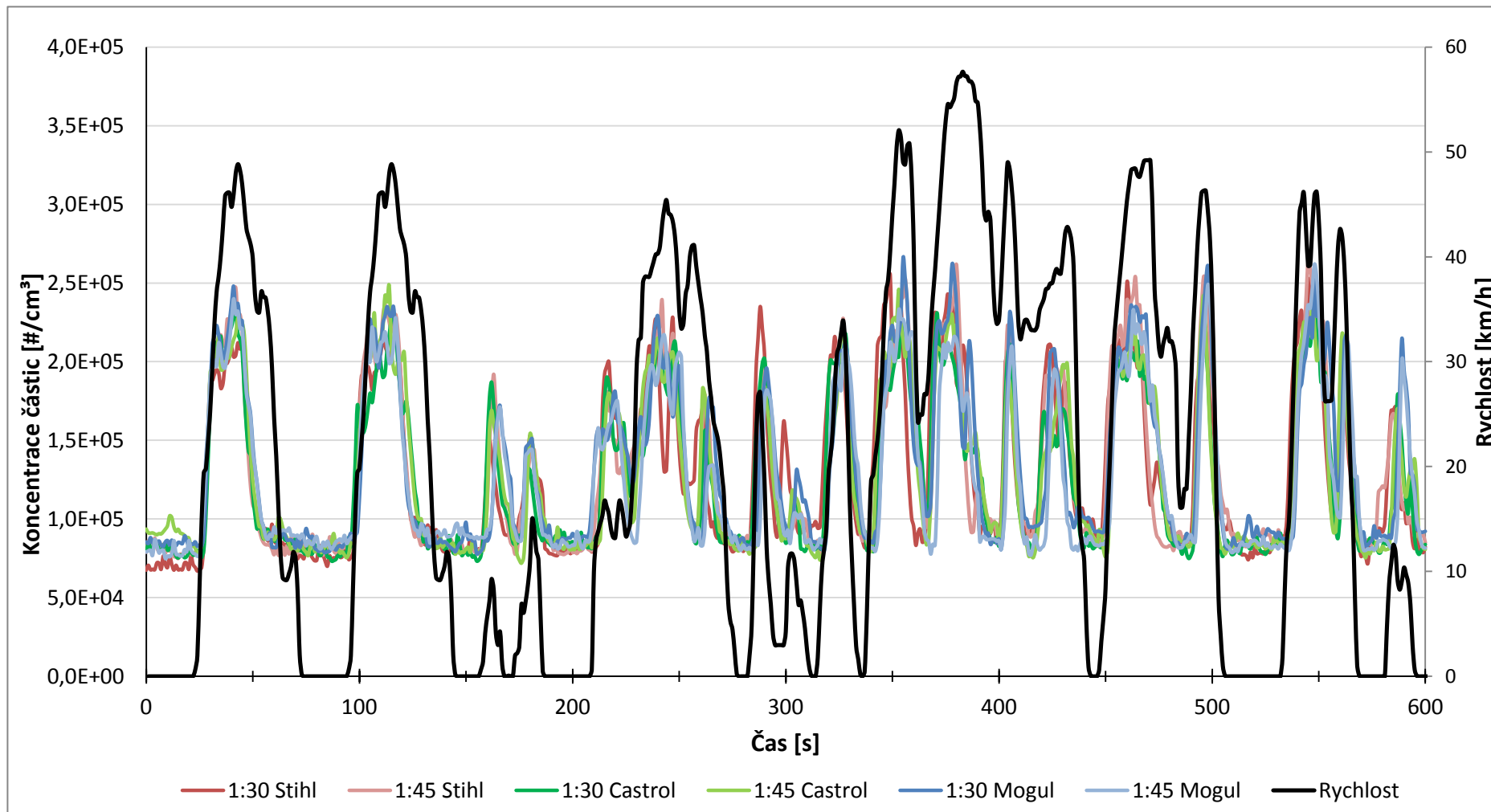
<i>Tabulka 1: Testování vlastností dvoudobého motorového oleje</i>	16
<i>Tabulka 2: Testovací procedury JASO a jejich indexy</i>	17
<i>Tabulka 3: Základní měřicí podmínky gravimetrického měření</i>	29
<i>Tabulka 4: Podmínky jízdního cyklu NEDC</i>	36
<i>Tabulka 5: Podmínky jízdního cyklu Artemis</i>	38
<i>Tabulka 6: Technické parametry válcové zkušebny</i>	43
<i>Tabulka 7: Parametry ventilátorů</i>	44
<i>Tabulka 8: Parametry zkušebního motocyklu</i>	46
<i>Tabulka 9: Charakteristika olejů</i>	47

8.3 Seznam grafů

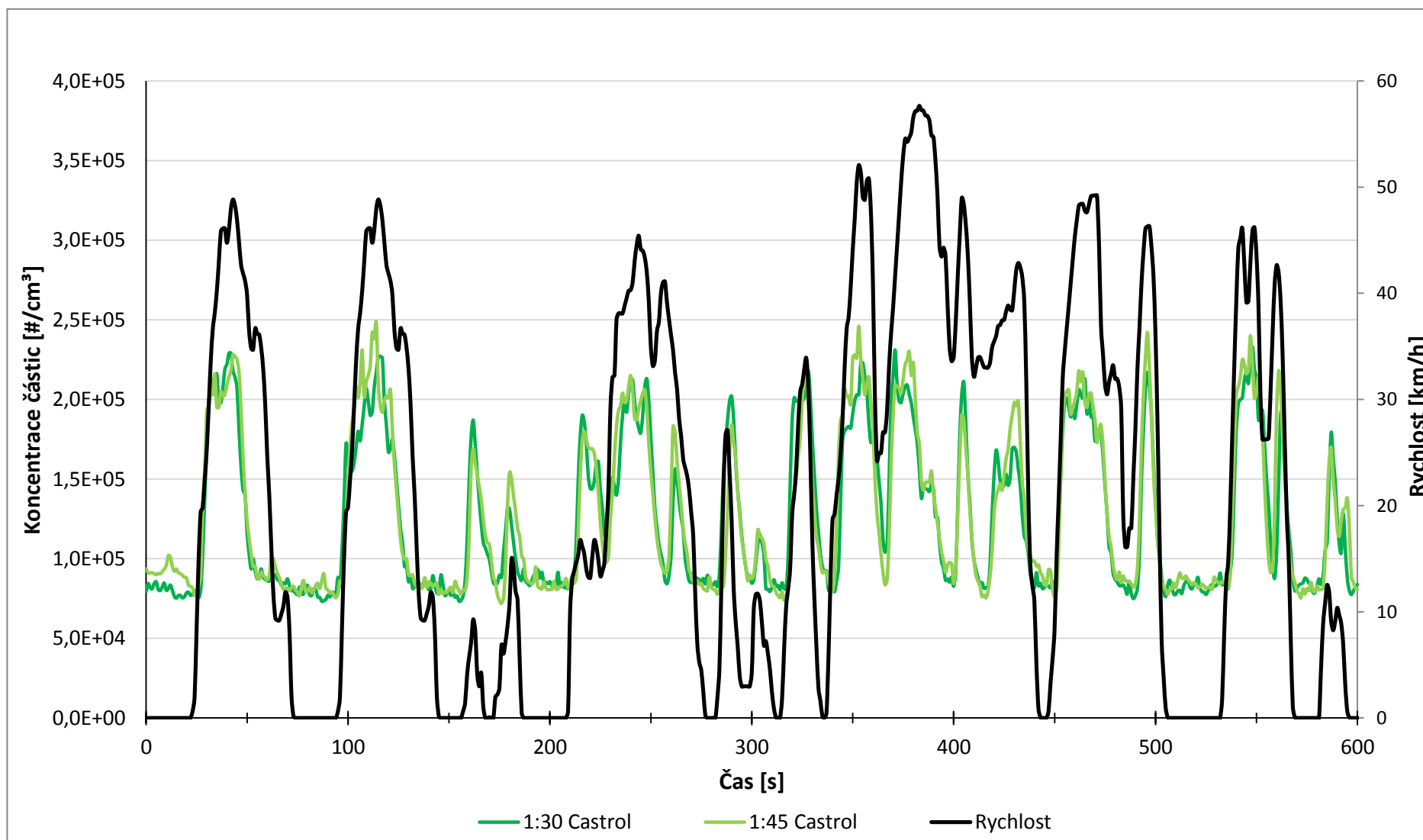
<i>Graf 1: Celkový počet pevných částic vyprodukovaných během jízdního cyklu</i>	49
<i>Graf 2: Celkové velikostní spektrum částic vyprodukovaných jízdou</i>	50
<i>Graf 3: Závislost velikosti a počtu PM na mísicím poměru oleje Castrol 2T</i>	51
<i>Graf 4: Závislost velikosti a počtu PM na mísicím poměru oleje Stihl HP</i>	52
<i>Graf 5: Závislost velikosti a počtu PM na mísicím poměru oleje Mogul TSF</i>	52
<i>Graf 6: Analýza PM při 1700 ot./min a nezátíženém motoru</i>	53
<i>Graf 7: Analýza PM při maximální rychlosti dosažené v jízdním cyklu</i>	54

9 Přílohy

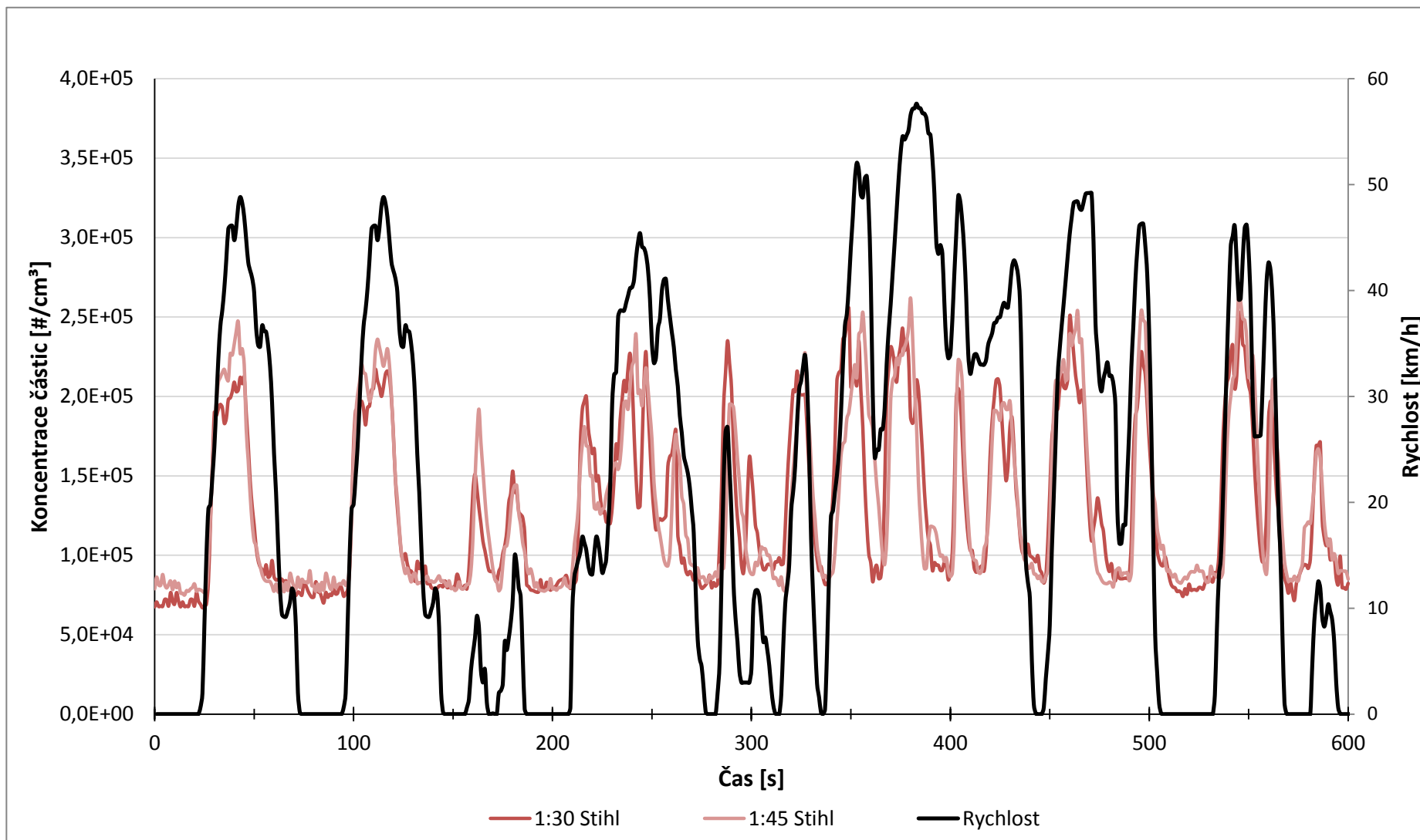
9.1 Produkce PM v průběhu jízdního cyklu Artemis Urban (600 s)



9.2 Produkce PM při použití oleje Castrol 2T v průběhu jízdního cyklu Artemis Urban (600 s)



9.3 Produkce PM při použití oleje Stihl HP v průběhu jízdního cyklu Artemis Urban (600 s)



9.4 Produkce PM při použití oleje Mogul TSF v průběhu jízdního cyklu Artemis Urban (600 s)

