

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Analýza hybridního vozidla z pohledu emisí

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

Autor práce: Bc. Jakub Čáslavský

PRAHA 2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jakub Čáslavský

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Analýza hybridního vozidla z pohledu emisí

Název anglicky

Analysis of the hybrid vehicle focused on emissions

Cíle práce

Cílem práce je analyzovat produkci škodlivých emisí vozidel na hybridní pohon. Dále změřené hodnoty porovnat s vozidly poháněnými pouze spalovacím motorem.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Metodika práce – návrh postupů získávání dat
4. Přehled řešené problematiky – hybridní pohon, měření emisí,
5. Vlastní zpracování
6. Výsledky a diskuze
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů
9. Přílohy

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

elektromotor, emise, spalovací motor

Doporučené zdroje informací

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. TECHNICKÁ FAKULTA, – HROMÁDKO, J. *Speciální spalovací motory*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2011. ISBN 978-80-213-2168-7.

HROMÁDKO, J. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.

KAMEŠ, J. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA AUTOMOBILŮ A TRAKTORŮ. *Speciální motorová vozidla : část: spalovací motory*. [Praha]: Česká zemědělská univerzita, 2010. ISBN 978-80-213-2337-7.

M.F. M. Sabri et al., A review on hybrid electric vehicles architecture and energy management strategies, Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 53, 2016

VLK, F. *Koncepce motorových vozidel : koncepce vozidel, alternativní pohony, komfortní systémy, řízení dynamiky, informační systémy*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. ISBN 80-238-5276-0.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 26. 1. 2018

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 27. 03. 2019

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Analýza hybridního vozidla z pohledu emisí 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: 30.3.2019

Podpis: _____
Jakub Čáslavský

Poděkování

Touto cestou bych chtěl mnohokrát poděkovat panu Ing. Jakobovi Maříkovi, Ph.D. za jeho cenné rady a připomínky při zpracování mé diplomové práce. Poté bych rád poděkoval panu Davidu Macounovi za případné konzultace a odbornou pomoc při získávání a zpracování dat.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za veškerou podporu při studiu.

Abstrakt

Tato diplomová práce komplexně pojednává o emisích, jež produkuje vozidla využívající hybridní pohon. Rešeršní část je složena ze tří tematických okruhů. V prvním okruhu rešeršní části se práce zabývá podrobným rozбором vozidel využívajících ke svému pohonu elektrický motor v kombinaci s jiným zdrojem energie či pohybu. Tato část začíná historickým přehledem, charakteristikou hybridního pohonu, dále pojednává o dělení hybridních vozidel dle strukturalizace jednotlivých komponentů a stupně hybridního nasazení ve vozidle. Končí popisem jednotlivých komponentů, které tvoří hybridní vozidlo. V druhém okruhu jsou podrobně popsány dva jízdní cykly, při kterých probíhají testy emisí využívané pro Evropskou unii. Jeden z nich je aktuálně využíván a druhý se používal dříve. Třetí okruh obsahuje popis problematiky emisí, což obnáší přehled emisních EURO norem, popis jednotlivých škodlivých emisních látek vyskytujících se ve výfukových plynech a způsoby jejich redukce. V části praktické se tato práce zabývá testováním hybridního vozidla z pohledu produkce emisí. Dále obsahuje popisy testovaných vozidel, aplikovaných měřících přístrojů a příslušného softwarového vybavení. Hodnoty emisí byly získávány při měření hybridního vozidla a též konvenčního vozidla využívajícího spalovací motor k pohonu. Vozidla prošla aktuálním testovacím jízdním cyklem WLTP. Získaná data z měření emisí byla následně vyhodnocena a komparována.

Klíčová slova: hybridní pohon, elektrický motor, spalovací motor, energie, jízdní cykly, emise, EURO normy, vozidla

Summary

This thesis comprehensively discusses the emissions that are produced by vehicles utilizing the hybrid propulsion system. The research section is composed of three thematic parts. In the first part of the research section the thesis delves deep into the construction of vehicles using an electric motor in combination with another energy source or motion. This part begins with a historical overview, states the characteristic of the hybrid system and continues with the classification of hybrid vehicles according to the structure of the individual components and the degree of their hybrid deployment in the vehicle. Ends with a description of the individual components that make up a hybrid vehicle. The second part in detail describes two driving cycles, during which the emission tests for the European Union are conducted. One of them is in current use, and the other one was used previously. The third part contains a description of the emission issues and includes an overview of the EURO emission standards, description of each harmful emission substance present in the exhaust gases and the ways of their reduction. In the practical section, this thesis deals with the testing of hybrid vehicles from the perspective of the emissions production. It also contains descriptions of the tested vehicles, measuring instruments and software applied at testing. Emission values were obtained while measuring a hybrid vehicle and also a conventional vehicle that uses a combustion engine for propulsion. The vehicles went through the present WLTP driving cycle test. The data obtained from the emission measurements were subsequently evaluated and compared.

Keywords: hybrid propulsion system, electric motor, combustion engine, energy, driving cycle, emissions, EURO standards, vehicles

Obsah

| | | |
|---------|--|----|
| 1 | Úvod..... | 1 |
| 2 | Cíl práce | 2 |
| 3 | Metodika práce..... | 3 |
| 4 | Hybridní pohon | 5 |
| 4.1 | Historie a vývoj..... | 5 |
| 4.2 | Charakteristika hybridního pohonu | 8 |
| 4.2.1 | Účinnost hybridního pohonu..... | 9 |
| 4.2.2 | Pracovní cyklus hybridního pohonu..... | 10 |
| 4.3 | Rozdělení hybridních pohonů vozidel dle uspořádání komponentů..... | 11 |
| 4.3.1 | Sériové uspořádání..... | 11 |
| 4.3.2 | Paralelní uspořádání | 12 |
| 4.3.3 | Kombinované uspořádání | 13 |
| 4.4 | Rozdělení hybridních pohonů vozidel dle úrovně hybridizace..... | 14 |
| 4.4.1 | Micro hybrid | 14 |
| 4.4.2 | Mild hybrid | 14 |
| 4.4.3 | Full hybrid..... | 14 |
| 4.4.4 | Plug – in hybrid..... | 15 |
| 4.5 | Jednotlivé komponenty hybridního vozidla..... | 16 |
| 4.5.1 | Spalovací motor | 16 |
| 4.5.1.1 | Zážehový motor | 16 |
| 4.5.1.2 | Vznětový motor..... | 18 |
| 4.5.1.3 | Spalovací turbína..... | 20 |
| 4.5.2 | Palivové články | 22 |

| | | |
|---------|--|----|
| 4.5.3 | Elektrický motor | 23 |
| 4.5.3.1 | Asynchronní elektromotor | 24 |
| 4.5.3.2 | Stejnoseměrný BLDC elektromotor | 25 |
| 4.5.4 | Systém skladování energie | 26 |
| 4.5.4.1 | Olověný akumulátor | 28 |
| 4.5.4.2 | Nikl–kadmiový akumulátor (NiCd) | 29 |
| 4.5.4.3 | Nikl–metal hydridový akumulátor (NiMH) | 29 |
| 4.5.4.4 | Lithium–iontový akumulátor (Li–ion) | 30 |
| 4.5.4.5 | Lithium–železo–fosfátový akumulátor (LiFePO ₄) | 31 |
| 4.5.4.6 | Ultrakapacitor | 31 |
| 4.5.5 | Převodové ústrojí | 32 |
| 4.5.6 | Výkonová elektronika | 33 |
| 5 | Jízdní cykly | 34 |
| 5.1 | NEDC | 34 |
| 5.2 | WLTP | 35 |
| 6 | Emise | 37 |
| 6.1 | Škodlivé emisní látky | 38 |
| 6.1.1 | Oxid uhličitý (CO ₂) | 38 |
| 6.1.2 | Oxid uhelnatý (CO) | 38 |
| 6.1.3 | Oxidy dusíku (NO _x) | 38 |
| 6.1.4 | Oxid siřičitý (SO ₂) | 39 |
| 6.1.5 | Nespálené uhlovodíky (HC) | 39 |
| 6.1.6 | Benzen (VOC – těkavé organické sloučeniny) | 40 |
| 6.1.7 | Pevné částice (PM – saze) | 40 |
| 6.2 | Způsoby redukce emisí spalovacího motoru | 41 |

| | | |
|---------|---|----|
| 6.2.1 | Oxidačně redukční katalyzátor..... | 42 |
| 6.2.2 | Sběrný katalyzátor..... | 42 |
| 6.2.3 | Recirkulace spalin | 43 |
| 6.2.4 | Oxidační katalyzátor (dvojčinný)..... | 44 |
| 6.2.5 | Filtr pevných částic | 44 |
| 6.2.6 | Selektivní katalytická redukce | 45 |
| 7 | Praktická část..... | 47 |
| 7.1 | Testovaná vozidla | 47 |
| 7.1.1 | Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid | 48 |
| 7.1.2 | Toyota Yaris 1,5 VVT-iE..... | 49 |
| 7.2 | Aplikované měřicí přístrojové a softwarové vybavení | 50 |
| 7.2.1 | Válcová zkušebna | 50 |
| 7.2.2 | Odsávací ventilátor FILCAR AL – 1500/C | 52 |
| 7.2.3 | Plynový analyzátor MATRIX MG – 5 | 53 |
| 7.2.4 | Spektrometr velikosti pevných částic – EEPS | 56 |
| 7.2.5 | Diagnostické zařízení Bosch KTS 520 | 58 |
| 7.2.6 | Softwarové vybavení..... | 58 |
| 7.2.6.1 | Diagnostický software ESI [tronic] 2.0..... | 59 |
| 7.2.6.2 | ControlWeb – Jízdní cykly | 59 |
| 7.2.6.3 | OPUS GA..... | 60 |
| 7.2.6.4 | Software EEPS | 61 |
| 7.3 | Metodika měření | 62 |
| 7.3.1 | Přepoččet pevných částic | 64 |
| 7.4 | Výsledky a diskuze | 66 |
| 7.4.1 | Emisní hodnoty Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid..... | 66 |

| | | |
|-------|---|----|
| 7.4.2 | Emisní hodnoty vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – iE..... | 69 |
| 7.4.3 | Porovnání testovaných vozidel | 72 |
| 8 | Závěr..... | 77 |
| 9 | Seznam použité literatury..... | 79 |
| 10 | Seznam zkratk | 86 |
| 11 | Seznam obrázků | 88 |
| 12 | Seznam tabulek | 91 |
| 13 | Seznam grafů..... | 92 |
| 14 | Přílohy..... | 93 |

1 Úvod

Vývoj v automobilovém průmyslu postupuje stále kupředu. Cílem nynější doby je alespoň zčásti nahradit konvenční vozidla vozidly s alternativním pohonem. Alternativní pohon vozidel je stále více rozvíjen, a to hlavně v hybridním a čistě elektrickém odvětví. Směr automobilového průmyslu je udáván globální problematikou. V první řadě se jedná o navýšení množství konvenčních dopravních prostředků pohybujících se po celé planetě. To má za následek zvýšení emisních hodnot výfukových plynů. Zvyšující se hodnoty emisních škodlivin mají dopad na celkové životní prostředí, tedy i na lidský organismus. Dále emise obsahují i látky, které nejsou zdravotně závadné, ale podporují oteplování celé planety. Takovou látkou je například oxid uhličitý. Druhým aspektem pro vytváření alternativních pohonů vozidel je úspora fosilních paliv. U vozidel je potřebné snižovat spotřebu paliva na minimum, nebo fosilní palivo vyměnit za elektrickou energii. Touto snahou se opět sníží i množství vypouštěných emisních plynů. Také se tím sníží tempo spotřeby ropných zásob, kterých se již po celé planetě nachází o mnoho menší množství, nežli tomu bylo ve 20. století. Množství ropných zásob není možné přesně určit, ale jejich výskyt se odhaduje přibližně ještě na 40 let v konvenčním stavu. Dále se ropa může vyskytovat v ropných pískách, těžkých olejích, olejových jílech anebo jako produkt tmavé břidlice ve stavu neobvyklého složení. Tato problematika vede k počátku využívání elektrické energie nebo její kombinace k pohonu vozidel. Mezinárodní panel pro změnu klimatu uvádí, že produkce oxidu uhličitého z hlediska veškerých využívaných dopravních složek má působnost v celkovém množství CO₂ světové produkce přibližně 2,6 %. Jednou z dopravních složek jsou osobní vozidla a ta se účastní na celkové světové produkci CO₂ ani ne z 1,04 %. [4], [10], [42]

Současná doba je z pohledu produkce emisí vcelku v pokročilém stavu. Proto je zapotřebí životnímu prostředí každým možným způsobem ulehčit. Nynější doba je, co se týče dopravních prostředků, o hodně lepší než ta minulá a stále se zdokonaluje z hlediska úbytku emisí, tudíž je aseptická. Evropská unie stále naléhá na následnou a opětovnou redukci emisí, jelikož živobyті ve městech je sice v lepším stavu než dříve, ale rozhodně se nedá říct, že tento stav je takřka dokonalý. Evropská unie má vizi, že do roku 2030 by se měly snížit emise u vozidel až o 40 %, což je číslo, kterého se bude složitě dosahovat v tak krátké době. Takový prudký pokles vozidel s konvenčními spalovacími motory a nárůst vozidel využívající elektropohon vede k následným potížím. Například dobíjecí centra pro elektropohony stále nejsou v tak rozvinutém stavu a nepokrývají potřebnou rozlohu, aby dokázaly napájet plně vpuštění elektropohonů do oběhu. Dále materiál potřebný ke konstrukci elektropohonu a akumulátoru vede k obrovskému zvýšení těžby nerostných surovin. EU klade nátlak na nynější automobilový průmysl, že už roku 2025 se budou muset vyrábět vozidla s nízkou produktivitou emisí z více jak 20 %. Vozidlo produkující nízké emise se vyznačuje tím, že vytváří méně než 50 gramů oxidu uhličitého na jeden kilometr. [67]

Produkce emisních složek by se u hybridních vozidel měla pohybovat v nižších hodnotách nežli u konvenčních vozidel využívajících samostatný spalovací motor.

2 Cíl práce

Cílem této práce z hlediska rešeršní části je provést komplexní přehled týkající se vozidel, v nichž je aplikován hybridní pohon. Dále se zaměřit na popis testovacích jízdních cyklů pro osobní vozidla, které slouží ke zjišťování emisních hodnot vozidel aplikovaných v současné době ve státech EU. Z tohoto pohledu vyplývá, že se tato práce má též zabývat emisemi, jež zahrnují přehled evropských emisních norem, popis jednotlivých emisních škodlivých látek vylučovaných spalovacími motory a jejich následnou redukci.

Cílem praktické části této práce je analyzovat vozidlo využívající hybridní pohon z hlediska produkce emisních škodlivých látek. Náležitými měřícími prostředky a poskytnutými technickými prostory za podpory Katedry vozidel a pozemní dopravy sídlící na Technické fakultě České zemědělské univerzity se má uskutečnit emisní měření vozidla s hybridním pohonem a poté i vozidla využívající konvenční zážehový motor. Naměřené emisní hodnoty obou testovaných vozidel mají být následně zpracovány a vzájemně porovnány.

3 Metodika práce

Metodika této práce, týkající se rešeršní části, se skládá ze tří spolu souvisejících témat. Prvním tématem je podrobný popis hybridního pohonu u osobních vozidel. Stručně je popsán historický vývoj hybridního pohonu. Dále je podrobněji rozebrána jeho koncepce a charakteristika funkce. Následuje podrobné rozdělení hybridního pohonu a popis jak z hlediska uložení jednotlivých komponentů ve vozidle, tak i z hlediska stupně hybridizace. Poté jsou detailně popsány jednotlivé komponenty, ze kterých je hybridní vozidlo zkonstruováno a díky kterým je uváděno do pohybu. Ve druhém tématu je následně proveden popis dvou jízdních testovacích cyklů, které jsou aplikovány pro měření emisních hodnot. Podrobně je popsán aktuální jízdní cyklus a jízdní cyklus, který byl využíván již dříve ve státech EU. A posledním, třetím tématem v rešeršní části jsou emise. Ty zahrnují popis evropských emisních norem, také charakteristiku jednotlivých škodlivých látek vyskytujících se v emisích produkovaných spalovacími motory. V neposlední řadě je též vhodné vyjmenovat a stručně popsat, jakými způsoby jednotlivé škodlivé emisní látky u spalovacích motorů redukovat. Celá rešeršní část sestavena z výše uvedených témat je zpracována za podpory informací čerpaných z odborné literatury pocházející z internetových stránek, článků a knižních publikací, jež se vyskytovaly jak v českém, tak i cizím jazyce.

Praktická část se zabývá měřením vozidla na hybridní pohon a následně vozidla využívající konvenční zážehový motor. Tato část se skládá z popisu jednotlivých testovaných vozidel, popisu aplikovaných měřících přístrojů, s tím související softwarové vybavení, metodiky měření a deskripce výsledků. Obě tato vozidla jsou stejné automobilové značky, a dokonce i modelu. Zážehový motor u obou vozidel má srovnatelný zdvihový objem s tím, že hybridní pohon vozidla je dále vybaven elektromotorem. Testované vozidlo bylo hnacími koly uloženo pomocí ustavovacího pneumatického zařízení mezi dva válce a zabezpečeno popruhy a parkovací brzdou proti pohybu na válcovém dynamometru v laboratoři. Tento dynamometr byl poskytnut (jako i ostatní měřící přístroje) Katedrou vozidel a pozemní dopravy sídlící na Technické fakultě České zemědělské univerzity. Před vozidlo byl umístěn vzduchový ventilátor, který zajišťuje přívod potřebného vzduchu při probíhající testování. Následně bylo vozidlo opatřeno potřebnými měřícími prostředky, které při daném testovacím jízdním cyklu WLTP zachycovaly případné emisní hodnoty. Jedním z těchto měřících přístrojů byl plynový analyzátor (FTIR). Z tohoto přístroje vedla izolovaná hadice, na jejímž konci byla umístěna sonda, která se vložila do koncovky výfukového potrubí. K tomuto přístroji přísluší software OPUS GA, který vyhodnocuje a zaznamenává hodnoty přicházející z plynového analyzátoru. Vedle sondy plynového analyzátoru byla uložena sonda vedoucí přes ředící zařízení do přístroje EEPS. Tento přístroj slouží k získávání hodnot pevných částic z výfukových plynů a je opatřen patřičným softwarem EEPS, pomocí něhož jsou data vyhodnocována a zapisována. Ke zjišťování parametrů vozidla v průběhu testování byl využit diagnostický přístroj Bosch KTS 520, který byl prostředníkem mezi řídicí jednotkou vozidla a počítače, ve kterém byl nainstalován odpovídající diagnostický software ESI [tronic] 2.0. Ten potřebné hodnoty diagnostikoval a zaznamenával. Diagnostické zařízení KTS 520 bylo s řídicí jednotkou vozidla

propojeno prostřednictvím diagnostického standardu OBD II. Do zorného pole obsluhy testovaného vozidla byl umístěn LCD monitor, na kterém byl jízdní cyklus WLTP při průběhu měření zobrazován. Nejprve byla provedena obsluha a konfigurace přístrojů vozidla. Poté se přístrojové vybavení aplikovalo na testovaná vozidla. V dalším kroku byly spuštěny a nastaveny patřičné softwary k jednotlivým měřícím přístrojům, jež byly instalovány na třech daných počítačích. Pokud bylo vše připravené, mohlo započít samotné testování vozidla spuštěním jízdního cyklu WLTP v softwaru ContolWeb. U obou vozidel bylo měření prováděno třikrát z důvodu vymezení chyby měření přístrojů. Příslušné naměřené teploty, které se takřka shodovaly, byly poté zprůměrovány. Data, která byla zaznamenána příslušnými softwary do textových souborů či souborů Excel od MS Office, musela být následně zpracována a poté exportována do jednotného excelového souboru. Pro každé vozidlo byl zhotoven samostatný soubor s daty. V tomto Excel souboru byla umístěna data rychlosti vyvinuté na válcovém dynamometru při průběhu jízdního cyklu WLTP. Do tohoto souboru byla dále přidána data ze softwarů OPUS GA a EEPS, tudíž hodnoty potřebných emisních plynných složek a pevných částic. Vybraná naměřená data bylo nutné buď převzorkovat pomocí lineární interpolace, nebo přepočítat pomocí kalibračního certifikátu. Z těchto nashromážděných dat byly následně zhotoveny grafické charakteristiky obou testovaných vozidel z hlediska emisí. Dále byly výsledky z měření shrnuty, popsány a navzájem komparovány. Podrobnější popis průběhu celého měření a zpracování je umístěn v části praktické, v podkapitole *7.3 Metodika měření*.

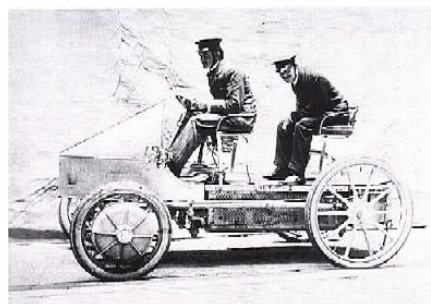
4 Hybridní pohon

Hybridní pohon jako takový lze rozložit do dvou pohonných složek. Většinou se skládá z konvenčního spalovacího motoru a elektrického motoru. Jako shromaždiště elektrické energie pro pohon elektromotoru jsou využity akumulátory. Ty mohou být dobíjeny buď spalovacím motorem, přebytečnou energií získávanou z brzdění a také ze sítě, dle toho, o jaký model hybridního pohonu se jedná. Jednotlivé pohonné jednotky, jako je spalovací motor a elektromotor, lze rozebírat dle jejich účinnosti. [3]

4.1 Historie a vývoj

První zmínky o kombinaci pohonů ve vozidlech byly zaznamenány již v sedmnáctém století, a to konkrétně v období mezi rokem 1665 a 1680. V těchto letech byly vytvořeny návrhy a plány pro zhotovení malého povozu, který byl poháněn párou, ale taktéž mohl být vláčen koňským spřežením. Zasloužil se o to vlámský jezuita Ferdinand Verbiest, astronom a kněz, když tento projekt zhotovoval čínskému císaři Khang – hsi. V té době byl navrhován trochu jiný princip hybridního pohonu, než na který jsme v současnosti zvyklí. Už se ovšem nedochovaly žádné informace o tom, jestli byl tento povoz sestaven.

Poté trvalo několik let vyvíjení parních povozů a později i elektrických. Ale další, po tak dlouhé době teprve druhou zmínkou o hybridních pohonech, byla ta z roku 1898. Tohoto roku se na světě objevilo první opravdové hybridní vozidlo, jehož objevitelem byl Ferdinand Porsche. Toto vozidlo je vyobrazeno na Obr. 1. V tehdejší rakouské firmě Lohner, zabývající se konstrukcí kočárů, začal Porsche působit jako konstruktér. Tato společnost měla snahu vyvinout a vyrábět kočáry bez potřeby koní. Porsche využil zážehového motoru jako hlavní zdroj energie k pohánění dynamu, pomocí kterého se dobíjely akumulátory. Elektrická energie z akumulátorů napájela dva elektromotory, které byly uloženy v jednotlivých předních kolech. Tento způsob se jeví jako paralelní rozložení pohonné soustavy. V tomto vozidle nebylo zapotřebí žádné převodovky ani řetězu, a dokonce prý mělo dosahovat účinnosti 83 %. Název celého elektrokočáru, se kterým sbíral celosvětový úspěch, byl Mixte. Tento elektrokočár dokázal jet maximální rychlostí 50 km/h, a ujet dokonce až 50 kilometrů. V roce 1903 byla tato verze vozidla zmodernizována a dosahovala rychlosti až 110 km/h díky uložení elektromotorů ke všem čtyřem pojezdovým kolům.



Obr. 1 Vozidlo s hybridním pohonem vynalezeno F. Porsche [39]

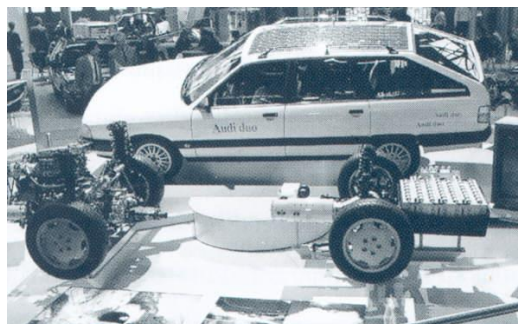
K dalšímu vývoji došlo v roce 1915, kdy byl vytvořen hybridní pohon s názvem „Dual Power“ společností Woods Motor Vehicle, která sídlila v Americe. V tomto hybridním pohonu byl způsob uspořádání systému pohonné jednotky paralelní. To znamená, že elektromotor byl využíván jen tehdy, pokud vozidlo jelo nízkou rychlostí. Jakmile se rychlost zvýšila na určitou mez, spustil se zážehový motor. [37]

Roku 1969 se se svými koncepty využívajícími hybridního pohonu zvýraznila společnost Galt Motor sídlící v Kanadě. Toho roku představila svůj hybridní model s označením plug – in hybrid, viz Obr. 2. Tento typ vozidla byl zkonstruován na krátké cesty. Byl navržen v provedení hatchback a disponoval třemi dveřmi. Jako pohon v tomto vozidle využili zážehového motoru o dvou válcích s obsahem 573 cm³ a zároveň elektromotoru. Do vozidla bylo také instalováno šest akumulátorů s celkovým napětím 12 V, které se dobýjely elektrickou energií ze sítě. Ty poháněly elektromotor. Na pohon elektromotoru tento vůz dokázal vyvinout maximální rychlost pouze 16 km/h a ve spojitosti se zážehovým motorem byla dosažena maximální rychlost tohoto vozidla 100 km/h. Společnost Galt Motor o několik let později v roce 1998 na autosalonu, který se konal v Detroitu, předvedla svoje koncepty využívající hybridního pohonu. Byly to čtyři typy hybridních pohonů. Jeden z nich využíval vznětového motoru v paralelním systému zapojení s elektrickým motorem. Další měl řešen pohon v sériovém provedení doplněn o plynou turbínu, která vytvářela energii pro elektromotor. Třetí typ vozidla využíval pro svůj pohon palivových článků a poslední, čtvrté vozidlo se pohybovalo díky stlačenému zemnímu plynu.



Obr. 2 Plug – in hybrid společnosti Galt Motor [39]

Ve výčtu společností vyrábějících vozidla a zabývajících se vývojem hybridních pohonů nesmí chybět firma Audi. Ta na sebe upozornila na autosalonu v Ženevě v roce 1990, kde převedla svůj prototyp využívající hybridní pohon, znázorněné na Obr. 3. Toto vozidlo bylo typizováno jako „plug – in paralel hybrid“ a dostalo název Duo. Vozidlo bylo vybaveno nikl – kadmiovými akumulátory. Možnost jejich nabíjení byla řešena z elektrické sítě. Tento akumulátor poháněl elektromotor, který byl vyroben firmou Siemens.



Obr. 3 Plug – in paralel hybrid Audi [39]

Elektromotor byl využíván pro zadní nápravu jako podpora spalovacího motoru, který poháněl přední kola. Elektromotor mohl fungovat i samostatně a využíval se pro jízdu ve městech, a naopak pro jízdu mimo město se spouštěl pouze spalovací motor. Bohužel díky hmotnosti akumulátorů umístěných ve vozidle mělo vozidlo zvýšenou spotřebu paliva, a tím ztrácelo efektivitu. Další typ hybridního vozidla od společnosti Audi byla vylepšená předchozí verze a dostala název Duo III. Světu tento model automobilka představila roku 1997. Nutno ovšem podotknout, že toto vozidlo bylo, jako první ve své oblasti, vyráběno sériově a prodáváno na spotřebním trhu. Automobilka vyprodukovala jen šedesát kusů vozidel, což není příliš. Toto vozidlo využívalo klasický vznětový motor 1.9 TDI. Ke spalovacímu motoru byl nakombinován elektromotor, který mohl pohánět vozidlo i samostatně. Elektrický motor byl

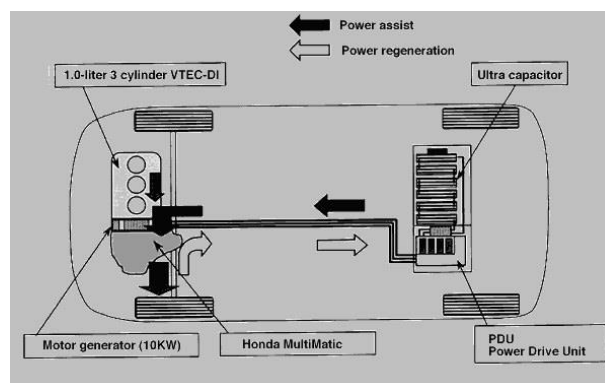
napájen pomocí olovených akumulátorů. Ty mohly získávat elektrickou energii ze sítě, anebo při vlastní jízdě. [39]

Japonská společnost Honda předvedla a následně přivedla na americký automobilový trh hybridní vozidlo Insight, viz Obr. 4. K tomuto kroku firma Honda přistoupila v roce 1999. Vozidlo bylo na tehdejší dobu velice lehké díky tomu, že jeho konstrukce byla zhotovena z větší části pomocí hliníku a dalším materiálem byly plasty. Insight disponoval pouze dvěma místy pro převoz osob, řidič a spolujezdec. Tento model dostal ohodnocení



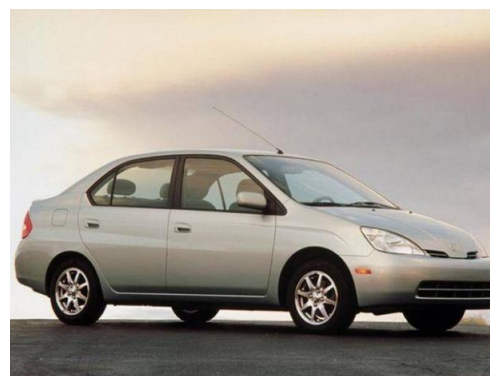
Obr. 4 Honda Insight – rok 1999 [39]

Super Ultra Low Vehicle, právě kvůli minimální spotřebě při kombinaci obou motorů a také nízkým emisím. Toto hodnocení probíhá na základě průměrné produkce emisí konvenčních spalovacích motorů za daný rok, kde představuje vozidla mající 10 % emisí z celkové průměrné produkce emisí spalovacích motorů. Vozidlo bylo poháněno tříválcovým spalovacím motorem v kombinaci s elektrickým motorem. Mezi spalovacím motorem a převodovkou se nachází právě elektromotor, a tak tvoří jeden celkový segment. Elektromotor se hned napojuje na klikový hřídel spalovacího motoru. Pro napájení elektrického motoru se využívalo nikl – metal hydridových akumulátorů. Ty byly umístěny mezi zadní nápravou a sedadly. Toto vozidlo bohužel nedokázalo využívat čistě samotného elektrického pohonu. Elektrický motor byl v působnosti pouze při akceleraci anebo při potřebě vozidlo nastartovat. O tento způsob rozložení pohonného systému se zasloužila jednotka Integrate Motor Assist, první generace. Rozložení jednotky pohonu hybridního vozidla Honda Insight je vidět na Obr. 5.



Obr. 5 Dislokace pohonné jednotky – Honda Insight [39]

Intenzivně se do vývoje hybridního pohonu pustila i automobilka Toyota, která jako první začala vyrábět a prodávat vozidla s hybridním pohonem ve velkém rozsahu. Model vozidla, kterým si Toyota zasloužila přední místo v žebříčku výrobců vozidel s hybridním pohonem, je Prius, viz Obr. 6. Tato automobilka nastartovala prodej tohoto hybridního modelu v roce 1997, ale pouze pro japonský trh. Vývoj tohoto vozidla probíhal po celé tři roky. Na americký a evropský trh se tento typ vozidla dostal až roku 2001, poté co byl vyřešen problém s nízkou kapacitou akumulátorů. Název „Prius“ byl stvořen ze slova „prior“, což znamená v překladu „prvenství v řadě nebo vpřed“. [39]

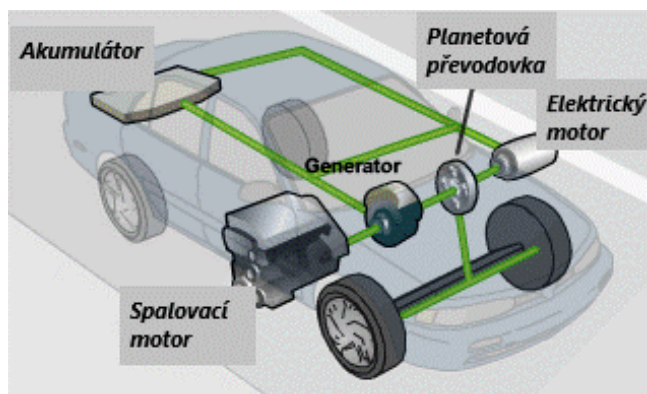


Obr. 6 Toyota Prius první typ – rok 1997 až 2003 [39]

4.2 Charakteristika hybridního pohonu

Vozidla pohybující se díky hybridnímu pohonu využívají dva pohonné systémy. Jedním z nich je spalovací motor a druhým je elektrický motor. Díky tomu je u vozidel s hybridním pohonem spotřeba výrazně nižší než u konvenčních vozidel, využívajících pouze motorů spalovacích. To vede i k nižší produkci výfukových plynů. Pokud vezmeme v potaz pouze elektromotor, jenž je využíván taktéž k pohonu vozidla pomocí elektrické energie, tak ten z pohledu pohybu vozidla neprodukuje žádné škodlivé plyny do ovzduší. Ve spojitosti s akumulátory, které jsou vyráběny z materiálů méně toxických, než je olovo, což může být například nikl nebo lithium, jsou elektromotory o to více ekologičtější, pokud se tedy nebude brát v úvahu těžba materiálů a samotná produkce elektromotorů a akumulátorů. [64]

V nynější době je hybridní pohon využíván především u osobních vozidel. Struktura hybridních vozidel je založena na jednotlivých hlavních částech pohonné jednotky. Jsou to spalovací motor, elektromotor – generátor elektrického proudu, planetová převodovka a nesmí chybět akumulátor, jak je vidět na Obr. 7. Planetová převodovka přenáší výkon na hnací nápravu vozidla a je umístěna mezi elektromotorem a generátorem.

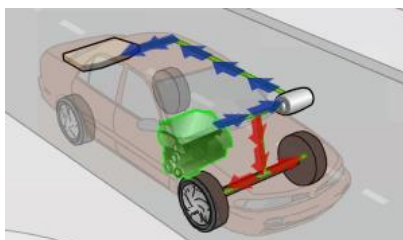


Obr. 7 Hlavní komponenty hybridní pohonné jednotky (upraveno) [41]

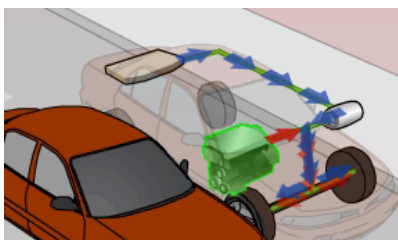
Elektromotor je přímo napojen na planetovou převodovku. Spalovací motor produkující točivý moment je využíván různě dle stupně hybridizace. Buď ho lze využít primárně k vytváření elektrické energie a jako sekundární pomocný pohon k elektromotoru, nebo naopak spalovací motor může být použit k primárnímu pohonu vozidla a přebytečnou energii převádět generátorem na elektrickou energii, tím se elektromotor stává sekundární pomocnou pohonnou jednotkou. Generátor přivádí do akumulátoru elektrickou energii, kde se akumuluje nebo ji přímo přivádí na elektromotor. Vhodně zvolený elektromotor může v hybridním vozidle plnit i funkci generátoru, pokud má schopnost přepólování. To znamená, že není nutností, aby elektrický motor a generátor byly odděleny. Elektrická energie nashromážděná v akumulátoru je poté přímo vedena do elektromotoru a napájí ho.

Spalovací motor je v tomto případě využit jako primární pohon hnacích kol a elektrický motor zastupuje pomocnou sekundární pohonnou jednotku. Mechanická energie nepotřebná k pohonu vozidla je následně převedena generátorem na energii elektrickou. Ta následně nabíjí akumulátor, což se děje při standardní jízdě, viz Obr. 8. Pokud je zapotřebí náhlé akcelerace nebo navýšení výkonu kvůli předjíždění či při jízdě do kopce, tak se ke spalovacímu motoru přidá elektrický motor. Tím se navýší točivý moment a rovněž i výkon celkové pohonné jednotky, jak je znázorněno na Obr. 9. Díky tomu lze aplikovat v hybridních vozidlech nízko obsahové spalovací motory. Při deceleraci, respektive při brzdění vozidla probíhá tzv. rekuperační neboli také užitečné brzdění, které je zprostředkováno kinetickou energií vozidla.

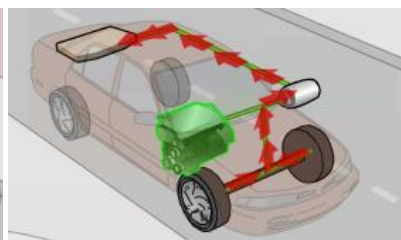
Následně je energie sbírána na brzděném ustrojí vozidla a pomocí generátoru převáděna na elektrickou energii, která se shromažďuje v akumulátoru, což je vidět na Obr. 10. Generátor napomáhá brzděnému účinku. Při pomalé městské jízdě je možné, že některá vozidla využívající hybridního pohonu jsou poháněna pouze elektrickým motorem, pokud je primární pohonnou jednotkou. To je proto, že spalovací motory při nízkých rychlostech ztrácí efektivitu. [2], [8], [41]



Obr. 8 Hybridní pohon – běžný provoz [18]



Obr. 9 Hybridní pohon – akcelerace (předjíždění) [56]



Obr. 10 Hybridní pohon – brzdění (decelerace) [38]

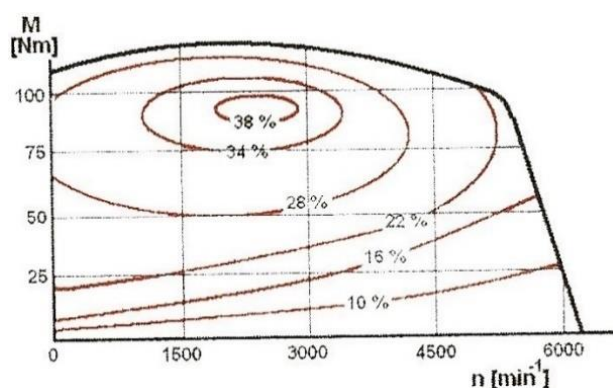
Spalovací motor společně s elektromotorem vhodně spolupracují a předávají si signály mezi moderním systémem řízení a hybridními komponenty. Řídicí systémy, které jsou sjednoceny ve vozidle s hybridním pohonem, zprostředkovávají komunikaci mezi elektrickými, hybridními a vnitřními pohonnými systémovými prvky. Díky tomu není ovlivněno pohodlí pasažérů.

Elektronický řídicí systém nepřetržitě získává prostřednictvím snímačů, senzorů spalovacího motoru, elektronické řídicí jednotky, stavu dobíjení akumulátorů atd. důležitá data k provozu hybridního pohonu. V reálném čase dochází, díky řídicímu systému, k regulaci a řízení obou pohonných jednotek, a to mezi elektrickým motorem a spalovacím motorem.

Chod a spojitost ozubených kol plynule obstarává adaptivní spojka, kterážto je jedním ze základních prvků soustavy. Během režimu změny chodu spalovacího motoru na elektromotor a opačně musí dojít k vyrovnání otáček obou pohonných systémů, a to má na starosti právě adaptivní spojka. To znamená, že by při přechodu z jednoho pohonného systému na druhý nemělo docházet k žádným náhlým změnám rychlosti a pohyb vozidla by měl být stále plynulý. [7]

4.2.1 Účinnost hybridního pohonu

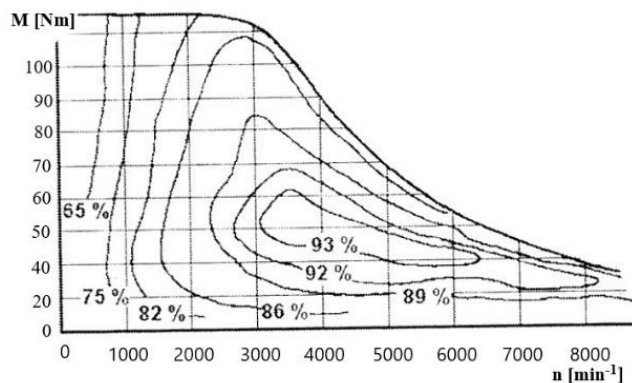
Účinnost hybridního pohonu se skládá z účinnosti spalovacího motoru a účinnosti elektromotoru. Hodnota účinnosti konvenčních spalovacích motorů se nachází v oblasti 30 až 40 %. Dále se mezi sebou z hlediska účinnosti lehce liší vznětové a zážehové motory a to tak, že účinnost vznětového motoru je o trochu větší v porovnání se zážehovým motorem. Pouze



Obr. 11 Účinnost – spalovací motor [2]

za optimálních předpokladů je dosaženo hraničních hodnot účinnosti spalovacích motorů. Spalovací motory využívající se na přerušovanou a nízko rychlostní jízdu, např. ve městech, nemají více jak deset procent efektivnosti. Co se týče účinnosti, jsou spalovací motory spíše vhodné pro vyšší rychlosti, vzdálenější trasy a nepřerušovaný styl jízdy. Na Obr. 11 jsou vyobrazeny oblasti účinnosti při různých otáčkách a točivých momentech. [2]

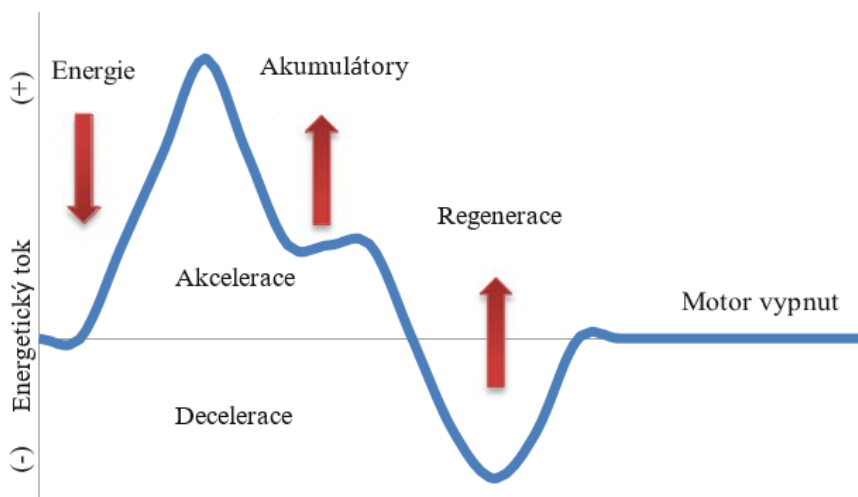
Důvod k přidávání elektrického motoru ke spalovacímu je ten, že při zastavení je elektromotor v nečinnosti, což znamená, že není zapotřebí dodávat žádnou energii. Při nízkých rychlostech jsou elektromotory taktéž ve výhodě oproti spalovacím motorům. Při jízdě ve městě, například v dopravní špičce, kde se stále stojí nebo popojíždí, je ve velké míře lepší elektromotor než spalovací motor. Elektromotory mají schopnost dosahovat až 90 % účinnosti, což je oproti spalovacím motorům podstatný rozdíl. Na Obr. 12 jsou znázorněné oblasti účinnosti u elektrického motoru, kde jsou hodnoty účinnosti určovány pomocí otáček a točivého momentu. [2], [23]



Obr. 12 Účinnost – elektrický motor [2]

4.2.2 Pracovní cyklus hybridního pohonu

Pracovní cyklus hybridního pohonu při jízdě je založen na třech fázích pohybu závislých na čase. Je to čas rozjezdu neboli akcelerace, dále následuje čas jízdy při stálé rychlosti a jako poslední je čas zpomalení (decelerace). Na Obr. 13 je vidět, že při akceleraci je zapotřebí dodat více elektrické energie. Při konstantní rychlosti energetický tok klesne, tudíž může část elektrické energie pohánět elektromotor a zbylá část je shromažďována v akumulátorech. Poslední fází pohybu je zpomalení vozidla, přičemž je získávána elektrická energie, která dobíjí akumulátory. Při zpomalování není do elektromotoru přiváděna elektrická energie, ale naopak elektromotor napomáhá zpomalování vozidla, a tím je elektrická energie získávána decelerací. Dále následuje zastavení a vypnutí motoru. [7]



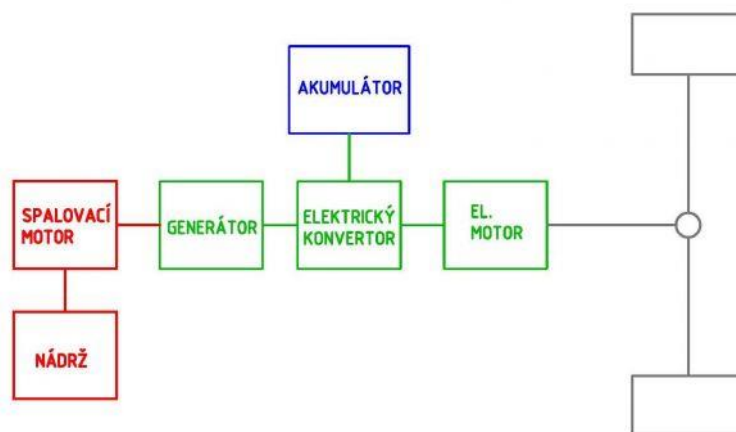
Obr. 13 Hybridní pohon vozidla – pracovní cyklus při jízdě (upraveno) [7]

4.3 Rozdělení hybridních pohonů vozidel dle uspořádání komponentů

Hybridní pohony je možné rozdělit do dvou kategorií, a to sériové a paralelní. Tyto dvě kategorie zapojení pohonných systémů lze též mezi sebou kombinovat dle struktury zařazení jednotlivých komponentů hybridního pohonu. [7]

4.3.1 Sériové uspořádání

Seřazení součástí tohoto typu hybridního pohonu je zhotoveno stylem za sebou. Pohonný systém u sériového uspořádání je tvořen ze dvou jednotek vyrábějících energii k pohonu elektrického motoru, a to z akumulátoru a spalovacího motoru. V tomto případě je elektromotor považován za hnací agregát vozidla. Spalovací motor (jeho otáčky) je udržován v oblasti nejvyšší účinnosti a je napojen na elektrický generátor, který pohání elektromotor anebo elektromotory, pokud jich je více, a přes usměrňovací zařízení nabíjí akumulátory. Elektromotor může být umístěn samostatně jako hnací ústrojí anebo také jako varianta s uložením pohonných agregátů v jednotlivých kolech. U elektromotoru není zapotřebí využívat převodového zařízení s početným ozubením kol. Využitím elektromotorů v jednotlivých kolech je umožněno mechanické spojení, a tudíž lze individuálně ovládat trakci vozidla. U každého kola zvlášť jsou regulovány elektromotory. Označení sériového uspořádání hybridního pohonu je uvedeno z toho důvodu, že systém urovnání jednotlivých komponentů, kterými protéká energie až k samotným kolům, je seřazen v sérii za sebou, což je zobrazeno ve schématu na Obr. 14. [2], [7], [58]



Obr. 14 Hybridní pohon – sériové uspořádání [40]

Kvůli efektivnosti a výfukovým plynům lze u tohoto typu uspořádání využívat spalovací motor jako hnací ústrojí vozidla pouze při neměnicích se otáčkách, respektive při optimálních provozních podmínkách. Chod spalovacího motoru probíhá téměř při konstantních otáčkách. Tímto způsobem jsou odstraněny pracovní cykly, které snižovaly úspornost provozu. To poukazuje na to, že spalovací motor lze nastavit tak, aby bylo dosaženo maximální efektivnosti a optimálního rozhraní otáček.

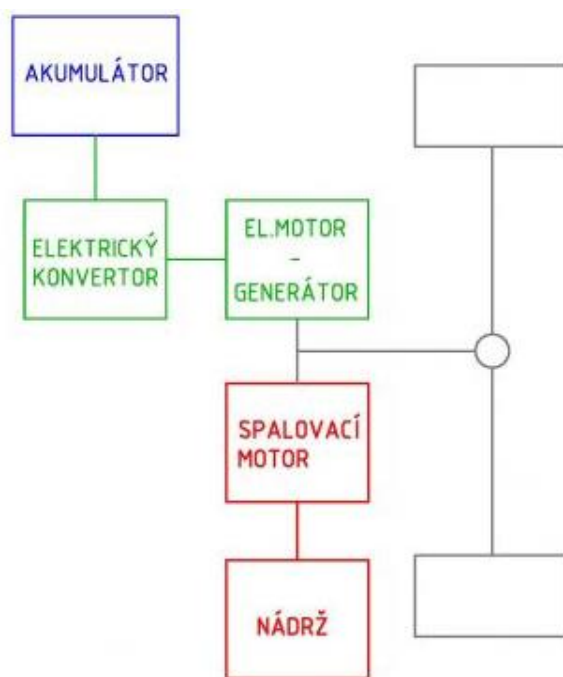
Spalovací motor je automaticky spuštěn, pokud akumulátory nejsou schopny zásobovat elektromotor elektrickou energií při navýšení potřebného výkonu vozidla. U tohoto typu uspořádání se jedná o mnohonásobné přetváření energie. Spalovací motor vytváří z mechanické energie elektrickou a díky elektromotoru je elektrická energie opětovně převáděna

na mechanickou energii, a to trakční. Využívá se třífázového elektrického motoru (generátoru), který produkuje střídavý elektrický proud. Akumulátory sériového řazení jednotlivých komponentů jsou značně menší než akumulátory vkládány do čistých elektrovozidel. [2]

Elektrické spojení, které působí přes měnič a generátor, jenž převádí elektrickou energii do elektromotoru a dále pak jako pohon kol, má účinnost kolem 70 až 80 %. Mechanické propojení, co se týče účinnosti, je na tom lépe než elektrické a pohybuje se až kolem 98 %. [40]

4.3.2 Paralelní uspořádání

Paralelní uspořádání hybridního pohonu je zkonstruováno tak, aby energie vytvořena spalovacím motorem i elektrickým motorem působila na hnaná kola. Oba tyto agregáty, jak spalovací, tak elektrický, jsou propojeny s osou kol, a to pomocí dvou převodových ústrojí. energii potřebnou k pohybu vozidla je možné vyprodukovat buď samostatným chodem elektromotoru, samostatným chodem spalovacího motoru, anebo také sloučením obou těchto pohonů. Propojení spalovacího motoru a elektromotoru je provedeno mechanicky, a to nejčastěji planetovou převodovkou. Využívá se třífázový elektrický motor produkující střídavý proud. Schéma paralelního uspořádání hybridního pohonu je zobrazeno na Obr. 15. [7], [58]

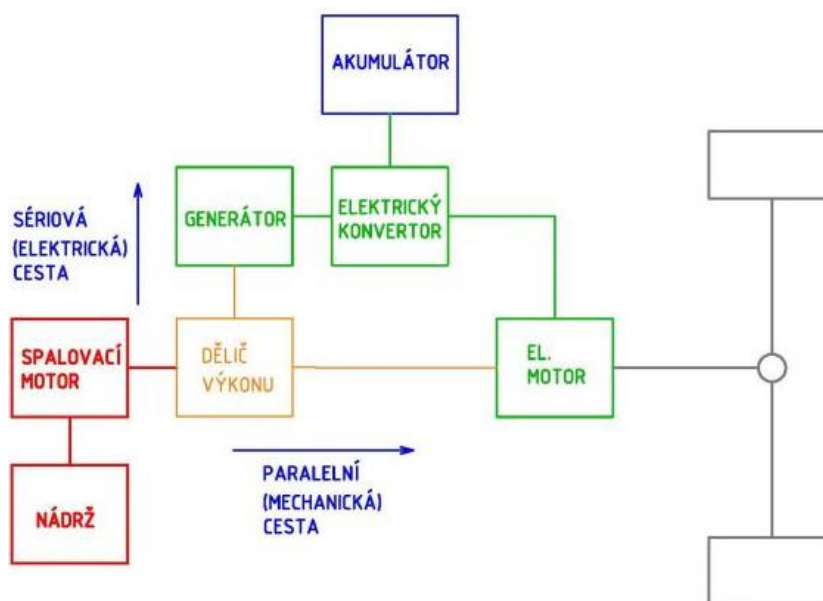


Obr. 15 Hybridní pohon – paralelní uspořádání [40]

Spalovací motor je propojen s hnacími koly, ale i s generátorem. Generátor slouží k akumulování elektrické energie do akumulátorů a také jako startér. Mezi převodové ústrojí a spalovací motor se vkládá elektromotor ve spojitosti s generátorem. Elektrický motor přebírá funkce pohonu klimatizační jednotky, posilovače řízení atd. Důvodem je navýšit efektivnost spalovacího motoru a nezatěžovat ho činnostmi dalších přístrojů. Momenty jednotlivých původců energie jsou sčítány a je vytvořen celkový moment kvůli mechanickému propojení. Mezi spalovacím motorem a elektromotorem bývá umístěna spojka z důvodu samostatného chodu spalovacího motoru nebo elektrického motoru, případně chodu obou motorů souběžně. Také lze využít možnosti spojení bez spojky, kde jeden motor bude v pracovním režimu a druhý se bude jen protáčet. Při zpomalování je možné využívat kinetickou energii k rekuperaci, a tak zpětně dobíjet akumulátory. V paralelním uspořádání hybridního pohonu koná většinu práce spalovací motor, ale pokud je zapotřebí náhlé akcelerace, přidá se ke spalovacímu agregátu i elektrický. [2]

4.3.3 Kombinované uspořádání

Vozidla využívající hybridního pohonu kombinovaného ze dvou předešlých tím slučují i dobré vlastnosti obou systémů. Je to sériově paralelní uspořádání jednotlivých komponentů. Snaha je tu zřejmá – maximalizace úrovně efektivity. Jednotlivé zdroje energie jsou využívány k pohonu vozidla v souvislosti s jízdními vlastnostmi. Tím je myšleno, že se může jednat o zvýšenou rychlost, nízkou rychlost, jízdu do kopce, nebo z kopce, akceleraci a taktéž zpomalování, až případné brzdění. Těmto podmínkám může vozidlo čelit a dle toho, ve kterém z režimů se ocitne, spíná a zapojuje systémem zvolený agregát. Oba motory mohou ale též pracovat současně. Mezi spalovacím motorem, elektrickým motorem a generátorem je umístěn dělič výkonu. Ten určuje, jakým způsobem bude převáděn výkon od spalovacího motoru na kola. Buď se bude jednat o elektrické propojení přes generátor, akumulátor, elektrický konvertor, až k elektromotoru, anebo bude propojení mechanické, a to tak, že výkon ze spalovacího motoru povede přímo na kola, případně přes elektromotor. Na Obr. 16 je znázorněné schéma uspořádání kombinovaného hybridního pohonu, složeného ze dvou částí, jimiž jsou sériová a paralelní. [7], [40], [58]



Obr. 16 Hybridní pohon – kombinace sériového a paralelního uspořádání [40]

4.4 Rozdělení hybridních pohonů vozidel dle úrovně hybridizace

Výrobci vozidel s využitím hybridního pohonu konstruují rozličné typy, kde si kladou za cíl zdokonalení a zvýšení celkové účinnosti vozidla, a tak i snížení spotřeby paliva. Tímto lze rozdělovat hybridní pohony kromě sériového, paralelního a kombinovaného uspořádání dále na micro, mild (power – assist), full, a plug – in hybrid. [2], [36]

4.4.1 Micro hybrid

Tento typ rozmístění a funkce hybridní soustavy vozidel využívá jako hlavní a jedinou pohonnou jednotkou spalovací motor. Elektromotor v tomto případě je používán jako zařazený spouštěč a alternátor zároveň, jenž umožňuje vypínání a spouštění spalovacího motoru při brzdění a zastavení vozidla. Při sešlápnutí brzdného pedálu u vozidla je vypnut spalovací motor. Při opětovném uvolnění brzdného pedálu je spalovací motor opět nastartován. Tato funkce se v dnešní době nazývá „Start – Stop“ systém. Je nutno zohlednit, že tento typ uspořádání jednotlivých komponentů není tak úplně považován za hybridní pohon, jelikož úspora paliva je zde velice malá. Také není pohon vozidla kombinací elektrického a spalovacího motoru. [27], [62]

4.4.2 Mild hybrid

Mild hybrid stále neumožňuje pohyb vozidla na samostatnou elektrickou energii. Má paralelní uspořádání jednotlivých komponentů pohonného ústrojí. Hlavní hnací jednotkou je spalovací motor. Ke spalovacímu motoru může být přidružen elektromotor, který pouze pomáhá při uvedení vozidla do pohybu, při akceleraci nebo při jízdě do kopce, respektive tam, kde je nezbytné využití vyšších výkonů. Tento typ uspořádání hybridního pohonu je již vybaven akumulátory pro případné okamžité vyvinutí energie nebo pro akumulaci energie získanou například rekuperací z brzdění. K rekuperaci se využívá elektrický motor, v opačné funkci jako generátor. Na spalovací motor je napojen elektrický motor, který je už dále spojen s převodovým ústrojím. Díky menší spolupráci elektrického motoru se spalovacím, lze vozidla opatřit spalovacími motory o menších rozměrech a nižších obsazích, což vede k mírné úspoře paliva a snížení emisí. Spotřeba paliva se sníží oproti konvenčním vozidlům zhruba o 20 až 25 %. Tento typ uspořádání jednotlivých komponentů pohonu a jeho funkčnost hybridního vozidla se dá také nazývat jako power – assist hybrid, z toho důvodu, že mají totožné uspořádání a funkčnost k uskutečňování pohybu vozidla. [2], [24], [62]

4.4.3 Full hybrid

Model hybridního pohonu full hybrid má oproti micro a mild větší akumulátory i samotný elektromotor. Dá se říct, že jako primární pohon se v tomto případě již využívá elektrický motor. Spalovací motory, jež jsou vkládány do full hybridů disponují malými rozměry, nízkou hmotností a nižšími obsahy. Vozidlo může využívat buď plného elektrického pohonu zprostředkovaného elektrickým motorem, či pohonu, který je zajištěn samostatným spalovacím motorem. Taktéž je možné spojení elektrického a spalovacího motoru, což

umožňuje pohon kombinovaný. Zde jsou vyžadovány náročnější řídicí systémy pro využití energie v různých jízdních režimech a cyklech, jako například dělič výkonu. Také jsou použity dva elektrické motory. První elektromotor má funkci pohonu vozidla, druhý je propojen se spalovacím motorem a má plnit funkci generátoru, a to pro rekuperaci energie. Místem spojení spalovacího motoru a generátoru je tzv. planetové hybridní převodové ústrojí. Ve srovnání s konvenčními vozidly využívající čistě spalovací motor mají vozidla typu full hybrid nižší spotřebu přibližně o 40 až 45 %. [2], [24], [27]

4.4.4 Plug – in hybrid

Plug – in hybrid má uspořádání jednotlivých hnacích komponentů téměř stejné jako full hybrid nebo mild hybrid. Diferencuje se od těch předešlých typů tím, že disponuje nabíjecím ústrojím. To znamená, že akumulátory, které shromažďují přebytečnou elektrickou energii nebo ji získávají z brzdění, mohou být dobíjeny i z elektrické sítě. Nevýhoda tohoto typu hybridního pohonu je taková, že se počítá s dobíjením z elektrické sítě. Tudíž energie získávaná z brzdění není tolik efektivním přínosem elektrické energie k dobíjení akumulátorů jako u předešlých typů pohonů. Aby se daly akumulátory opakovaně nabíjet z elektrické sítě, a přitom zvládnou co nejdálší dojezdy, aplikují se lithium – iontové akumulátory. To představuje delší ujetou vzdálenost na čistě elektrický pohon bez využití spalovacího motoru. [2], [24], [58]

4.5 Jednotlivé komponenty hybridního vozidla

Konstrukce hybridních vozidel se neobejde bez důležitých, vzájemně spolupracujících součástí. Hlavními komponenty jsou hnací jednotky, rozdělující se na spalovací a elektrický motor, kde dle rozlišností hybridního pohonu může být i více elektromotorů. Také mohou být použity v hybridním vozidle palivové články, které nahradí spalovací motor. Ty produkují přímo elektrickou energii. Dalším důležitým prvkem je zásobník elektrické energie, který může být dobíjen různými způsoby, a hlavně dodává elektrickou energii elektromotoru. Poté se dále jedná o převodové ústrojí, které přenáší a řídí dle daných požadavků konanou práci spalovacího motoru, čistě elektrického motoru a též kombinaci obou dvou hnacích jednotek na pohon vozidla. Taktéž podstatnou součástí hybridního vozidla je výkonová elektronika, pod níž spadají například měniče a převodníky elektrického proudu. [5]

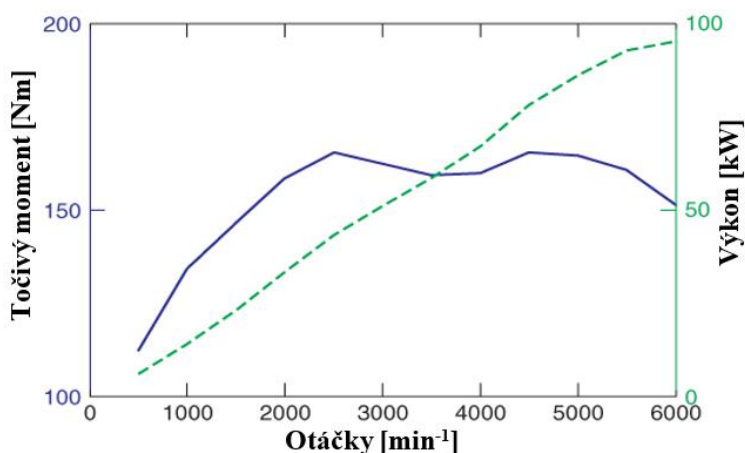
4.5.1 Spalovací motor

Spalovací motor je v rámci hybridního vozidla jednou z částí hnací jednotky vozidla. Funkčnost spalovacích motorů v hybridních vozidlech lze rozlišovat podle rozdělení konstrukčního uspořádání jednotlivých hybridních pohonů. Jako spalovací agregát lze použít jak zážehové motory menších rozměrů a nižších obsahů, tak i vznětové motory větších obsahů, a dokonce je možné vybavit hybridní vozidlo i spalovací turbínou. Umístění vhodného spalovacího agregátu lze rozlišovat z hlediska uspořádání jednotlivých komponentů hybridního vozidla a jejich vzájemné spolupráce a také dle konstrukčních parametrů vozidla. Například pro vozidla menších konstrukčních rozměrů s paralelním nebo kombinovaným hybridním pohonem se spíše využívají zážehové motory. Naopak vznětové motory se aplikují do vozidel větších konstrukčních rozměrů a taktéž s využitím paralelního nebo kombinovaného propojení jednotlivých komponentů hybridního pohonu. Funkce „Start – Stop“, využívající se u hybridních vozidel s označením micro, je vcelku nevhodné používat u vznětových motorů. Vznětové agregáty mají oproti zážehovým značnou převahu v termodynamické efektivitě. Jak zážehové, tak i vznětové motory se dají využívat u sériového uspořádání jednotlivých komponentů hybridního vozidla, kde je zapotřebí udržovat stálý pracovní proces při různých jízdních režimech, protože spalovací motor vyrábí mechanickou energii z chemické energie paliva, která je poté převáděna na energii elektrickou. Proto nejvhodnějším spalovacím agregátem, který má vyšší termodynamickou efektivnost než vznětové motory a splňuje dané podmínky při stálém pracovním procesu vůči jízdním režimům, se jeví spalovací turbína. Elektro dieselové motory se aplikují například do nákladních automobilů, do autobusů, téměř do všech konstrukčně rozměrných vozidel vyžadující vyšší výkon, a to hlavně při využití sériového uspořádání jednotlivých částí hybridního pohonu. [12]

4.5.1.1 Zážehový motor

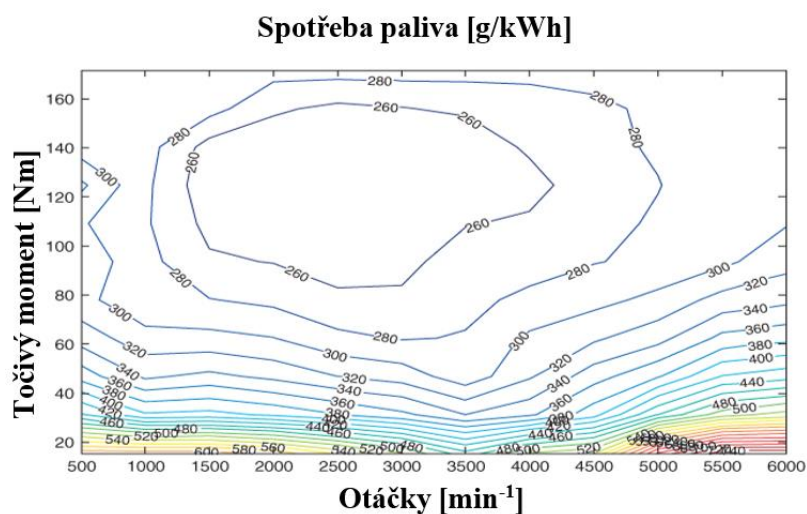
Zážehový motor je standardní pohonnou jednotkou v konvenčních vozidlech, využívajících pouze spalovacího motoru. K jeho provozu je zapotřebí fosilního paliva v podobě benzínu získaného z ropy. Při práci zážehového motoru je spalována směs benzínu a vzduchu,

a tím vzniká mechanická energie, která je určena k pohonu vozidla nebo případně dobíjení akumulátoru a vytváření elektrické energie pro pohyb elektromotoru. Zážehový motor jako takový dosahuje vůči své hmotnosti celkem příznivého výkonu. Vyznačuje se vysokou mechanickou efektivitou a dále dokáže spolehlivě pracovat ve vysokém otáčkovém rozmezí. Při volbě vhodného spalovacího motoru zavedeného do hybridního pohonu vozidla je nutné analyzovat výkonnost pohonné jednotky. To znamená, při jakých otáčkách zážehového motoru je nejefektivnější točivý moment a také výkon nebo při jakém točivém momentu a výkonu jsou zajištěny vhodné hodnoty spotřeby paliva a s tím spojena produkce emisí. Na následujícím Obr. 17 jsou graficky znázorněny křivky točivého momentu a výkonu v závislosti na otáčkách motoru. Z toho je patrné, že nejvyššího točivého momentu je dosaženo při 2 500 min^{-1} a maximálního momentu téměř při 6 000 min^{-1} . [5]



Obr. 17 Vnější otáčková charakteristika zážehového motoru (upraveno) [5]

Na Obr. 18 můžeme vidět oblasti spotřeby paliva při různých hodnotách točivého momentu v závislosti na otáčkách zážehového motoru. Vidíme tu také, při jakém točivém momentu, v závislosti na otáčkách, je spotřeba paliva zážehových motorů nejnižší. Z grafu je tedy zřejmé, že zážehový motor má nejnižší spotřebu v rozmezí otáček kolem 1 500 až 4 000 min^{-1} a v přibližném rozsahu točivého momentu 80 až 150 Nm . [5]



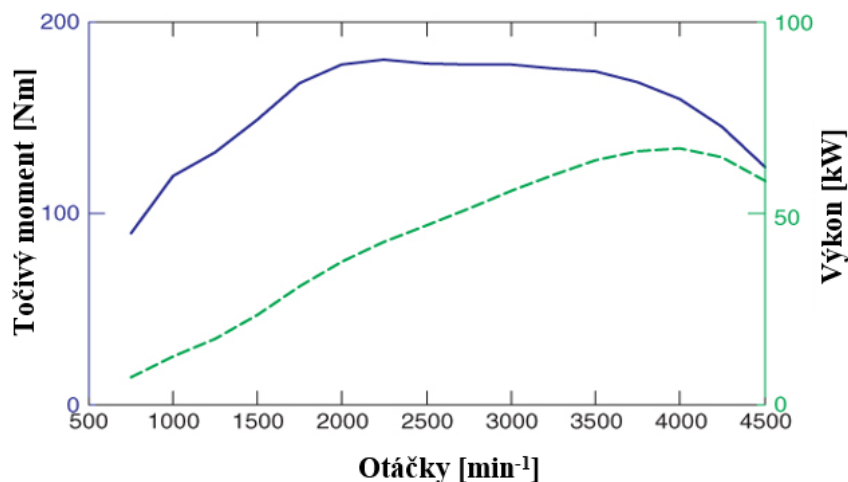
Obr. 18 Spotřeba paliva – zážehový motor (upraveno) [5]

Pracovní proces zážehového motoru se odehrává uvnitř válců, kam je pomocí sacího ventilu nasáta směs menšího množství paliva o vysoké energetické hustotě v kombinaci se vzduchem. V malém prostoru válce, který je utěsněn, dojde k vytvoření jiskry pomocí zapalovací svíčky a následnému zažehnutí palivové směsi. Tím je vyvinuto dostatečné množství energie potřebné k rozpořívání pístu. Díky zážehu směsi a následnému expandovanému plynu je uveden píst do pohybu a přes ojnici a klikovou hřídel vytváří rotační pohyb, čímž vzniká mechanická energie. Dále lze rozdělit zážehové motory na dvoudobé a čtyřdobé. Většina konvenčních vozidel využívá zážehový motor vykonávající práci ve čtyřech cyklech. První cyklus spalovacího procesu je sání, kdy sací ventil je otevírán a zároveň píst se pohybuje z horní úvrati směrem k dolní úvrati. Tak je nasáta směs do spalovacího prostoru válce. Druhý cyklus nastává tak, že píst se vrací z dolní úvrati do horní, a docílí tak stlačení směsi, což je proces nazývaný komprese. V třetím cyklu se píst dostane maximální úrovně horní úvrati, kde zapalovací svíčka vydá jiskru, která zažehne rozptýlenou směs paliva a vzduchu, díky čemuž vznikne expandovaný plyn, a tím i vysoký tlak ve spalovacím prostoru. Tento třetí cyklus se též nazývá expanze. Tím píst dostane impuls k pohybu směrem do dolní úvrati. Ve čtvrtém cyklu píst dosáhne dolní úvrati a pohybuje se opět směrem nahoru do horní úvrati, přičemž se zároveň při pohybu pístu otevírá výfukový ventil, kterým vyprodukované spaliny procesem hoření opouští spalovací prostor. Poté se výfukový ventil uzavře a celý proces čtyřdobého cyklu je znovu opakován. [14]

4.5.1.2 Vznětový motor

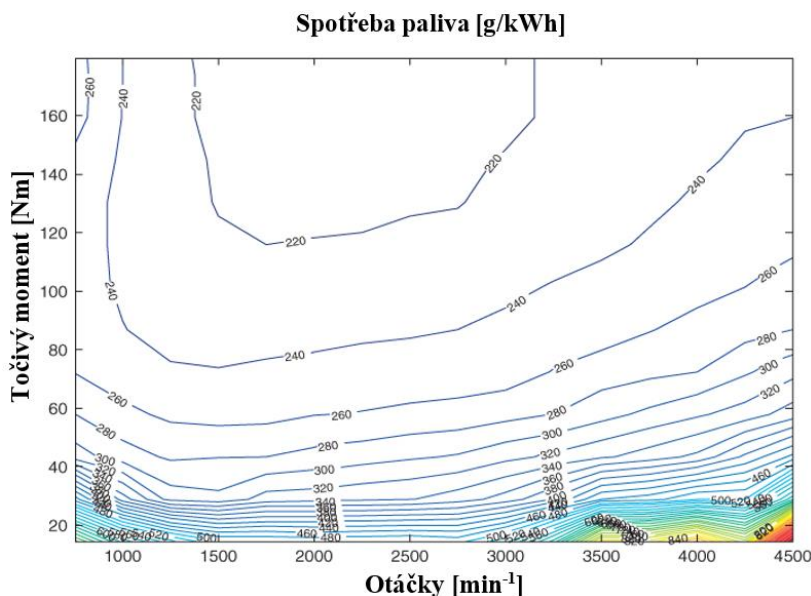
Vznětový motor, stejně jako zážehový, vykonává pracovní proces, který je převeden na mechanickou energii. Je to pístový motor, kde píst vykonává vratný přímočarý pohyb. Palivem pro vznětové motory je nafta. Jakožto fosilní palivo je získávána v rafinériích z ropy. Vznětové motory vykonávají práci při daleko vyšších teplotách a tlacích než motory zážehové. To znamená, že vznětové agregáty mají i vyšší účinnost. Oproti zážehovým motorům nepotřebují vznětové tak častou údržbu, ale pokud se provádí, jsou náklady na údržbu mnohdy vyšší. Také životnost je u vznětových agregátů delší než u zážehových. Dále je vhodné podotknout, že vznětové motory disponují nižšími provozními otáčkami oproti zážehovým motorům, a to při stejném točivém momentu. Lze si toho povšimnout na Obr. 19, kde je zobrazena vnější otáčková charakteristika vznětového motoru. V grafu vidíme křivky točivého momentu a výkonu v závislosti na otáčkách vznětového motoru. Oproti zážehovému motoru křivka točivého momentu vznětového motoru po dosažení maximální hodnoty točivého momentu klesá mírněji a je plošší. Maximálního točivého momentu je dosaženo při zhruba $2\,200\text{ min}^{-1}$. Křivka výkonu roste k maximální hodnotě, což je kolem $4\,000\text{ min}^{-1}$. Pokud se jedná o hybridní pohon ve vozidlech, je vhodné využít točivého momentu, to znamená hybné síly pro vozidla s potřebou středního výkonu. Vznětový motor má ale i záporné vlastnosti. Například je hlučnější než zážehový motor kvůli vznikajícím explozím ve spalovacím prostoru. Také se více chvěje při chodu. Dále má vyšší hmotnost a rozměry. Doba zahřátí vznětového motoru je oproti zážehovému motoru podstatně delší. Tudiž není úplně vhodné jeho využití pro

menší dojezdové vzdálenosti. Taktéž nepříznivé povětrnostní podmínky jako například zima mu na jeho startovacích vlastnostech mnoho nepřidává. [5]



Obr. 19 Vnější otáčková charakteristika vznětového motoru (upraveno) [5]

Na Obr. 20 jsou zobrazeny oblasti spotřeby paliva dle závislosti točivého momentu na otáčkách vznětového motoru. Nejnižší spotřeba paliva, což je oblast s 220 g/kWh se pohybuje v rozmezí kolem 1 400 min^{-1} až 3 200 min^{-1} a točivý moment je pro úspornou spotřebu paliva zhruba od 115 Nm a více. [5]



Obr. 20 Spotřeba paliva – vznětový motor (upraveno) [5]

Vznětové motory, jak už bylo zmíněno výše, mají vysokou efektivnost, která plyne z kompresního poměru. To znamená, že čím vyšší kompresní poměr, tím je vyšší i účinnost. Při menších otáčkách dosahují vcelku vysokého točivého momentu, a tím pádem i většího výkonu. Spotřeba paliva u vznětových motorů dosahuje nižších hodnot než u zážehových. Chod motoru má hrubší průběh, je hlučnější a také motor sám osobě více vibruje. To je způsobeno tím, že vznětový motor pracuje při vysokých teplotách, tlacích a především za zvýšeného kompresního poměru, což na druhou stranu dodává vyšší efektivnost motoru. Je

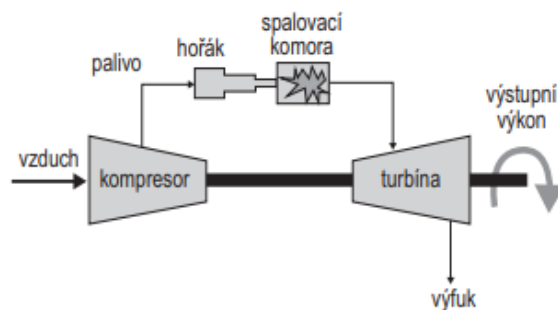
vhodné uvést, že i vznětové agregáty se rozdělují na dvoudobé a čtyřdobé. Funkce chodu čtyřdobého vznětového motoru se skládá z několika procesů. Nejprve nastává otvření sacího ventilu a je nasáván samotný vzduch do spalovacího prostoru válce. Množství nasávaného vzduchu je neměnné. Nasátý vzduch se začne kvůli pohybu pístu směrem z dolní úvratí k horní úvratí stlačovat. Tento proces se nazývá komprese. To probíhá za značně zvýšeného kompresního poměru, což může být dokonce až 18 : 1. Následkem je, že se zvýší tlak zhruba na 4 MPa a také stoupne teplota ve spalovacím prostoru válce dokonce až na 800 °C. Po dosažení potřebných hodnot a také pístu v horní úvratí je palivo ve formě nafty vstříknuto do spalovacího prostoru, kde se díky vysoké teplotě a tlaku samovolně vznítí. Samostatné palivo je do spalovacího prostoru vpravováno pod ohromným tlakem, který dosahuje až 200 MPa. Dále po vzniklé explozi samovznícené nafty velice rychle naroste ve spalovacím prostoru tlak, který dává impuls k pohybu pístu směrem k dolní úvratí. Tím udává píst přímočarý vratný pohyb. Ten je přes ojnici, která je hybně spojena s klikovou hřídelí, převáděn na pohyb rotační. Tak je vyprodukována mechanická energie. Poté se píst opět pohybuje z dolní úvratí směrem k horní, přičemž se otevírá výfukový ventil. Spálené palivo v podobě spalinových plynů je vytlačeno výfukovým ventilem do výfukového potrubí. Důležité je zmínit, že vznětové motory disponují žhavicími svíčkami, které se využívají tehdy, pokud je zapotřebí dodat více tepla, aby mohlo dojít k samovznícení nafty. Pokud motor není zahřátý a působí na něj nepříznivé povětrnostní podmínky jako je chlad, tak žhavicí svíčky dokáží vyprodukovat potřebné teplo do spalovacího prostoru válce. Výkon vznětového motoru je regulován množstvím vstříknutého paliva do spalovacího prostoru. Nasávaný vzduch je dodáván v konstantním množství. Kvůli tomu je spotřeba paliva nižší, a to zejména při nízkých výkonech. Při potřebě vyššího zatížení však spotřeba paliva opět narůstá. Dále má nafta jakožto fosilní palivo vyšší hustotu, a tím i vyšší výhřevnost než benzín, tudíž jeví ukryto více potenciální energie potřebné k vytvoření energie mechanické. Kvůli vysoké teplotě a tlaku, při kterých motor pracuje, je zapotřebí, aby jeho jednotlivé díly měly odpovídající rozměry a hmotnost. Z toho plyne zvýšená hmotnost celého agregátu a také jeho rozměrnost. [13], [76]

4.5.1.3 Spalovací turbína

Spalovací turbína se nazývá také jako plynová turbína. Funguje na principu Braytonova cyklu. Její tepelná účinnost a spotřeba paliva je určena dle velikosti kompresního poměru a expanze. Toto platí jak u spalovací turbíny, tak i u zážehového a vznětového motoru. Klasické pístové spalovací motory mají na začátku spalovacího procesu celkem vysokou efektivnost. Na konci průběhu expanze však začnou svou efektivnost ztrácet, protože nedokáží pracovat s větším objemem při nižším tlaku. Oproti tomu spalovací turbína dokáže, za působení nízkého tlaku, pracovat i s velkými objemy. Turbína je stroj pracující v jednom směru a produkující vysoké rychlosti. Její podstatnou vlastností je, že dokáže dosahovat až kolem 90 % mechanické efektivnosti. Jelikož spalovací turbína pracuje s konstantně vysokými otáčkami, je nutné tento stroj opatřit rozsáhlým převodovým ústrojím. Další nevýhodou je, že pokud na vstupu do turbíny rychlost poklesne, točivý moment na výstupu turbíny vzroste, a tím se bohužel sníží i efektivnost stroje. Vyplývá to z toho, že lopatky turbíny mají fixní úhel naklonění. Pozitivní

vlastností je, že dokáže pracovat bez potřeby chladicího ústrojí. Také dosahuje velice kompaktních rozměrů, nízké hmotnosti a je relativně jednoduché konstrukce. Spotřeba paliva u spalovací turbíny se pohybuje v nízkých hodnotách.

Jedná se o plynovou turbínu s otevřeným cyklem, jejíž konstrukce je vytvořena spojitostí kompresoru, spalovací komory a turbíny. Vzduch, jenž se nachází ve vnějším prostředí turbíny, je nasát kompresorem. Kompresor navýší tlak nasátého vzduchu. Komprimovaný vzduch putuje do spalovací komory, kam je vstříknuto palivo. Ve spalovací komoře dochází k zapálení směsi paliva se vzduchem za stálého tlaku, tím vzroste teplota, a tudíž i tlak zapálené směsi a horkých spalin, což je v tomto případě pracovní médium. Zapálená směs a vzniklé horké spaliny proudí směrem na lopatky turbíny a díky kinetické energii je uvádí do pohybu. Spaliny využitě k rozpohybování turbíny poté odchází do vnějšího okolí spalovací turbíny. Produkce pracovního média musí být konstantně obnovována. Vyprodukovaná mechanická energie se rozděluje na dvě výkonové větve využití. Jedna část (takřka dvě třetiny) vytvořené mechanické energie je spotřebována především na pohon kompresoru. Druhá, menší část mechanické energie, je odváděna na pohon hřídele, který je poté napojen na ústrojí konající příslušnou činnost. Celý tento pracovní proces je znázorněn na Obr. 21.



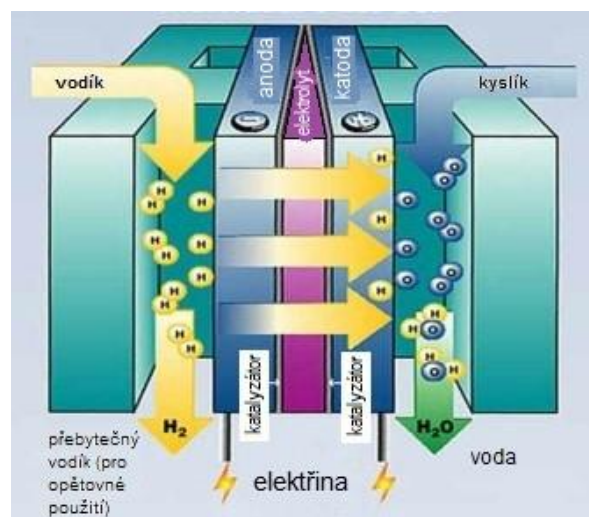
Obr. 21 Spalovací turbína – pracovní proces [2]

Spalovací turbína musí být účinně provozuschopná při různém dávkování paliva v závislosti na výkonu, který je od stroje v daný okamžik a za určitých okolností vyžadován. Spalovací proces, jakožto přivedení zkomprimovaného vzduchu do spalovací komory, kde následuje vstřík paliva a současné zapálení směsi, musí být uskutečněn dříve, než pohonné médium vstoupí na lopatky turbíny. Uspořádání jednotlivých částí celé spalovací turbíny musí být takové, aby byla maximalizována životnost stroje při pracovních podmínkách. To je například kontinuální spalování doprovázené vysokými teplotami. Pro spalovací turbíny lze využívat jak plynné, tak i kapalné formy paliv. Plynné palivo zastupuje zemní plyn a kapalným palivem může být benzín, petrolej, a dokonce i olej. Spalovací proces v tomto zařízení nabývá přibližně až 98 % efektivnosti spalování. Spalovací komora je část, ve které se odehrává proces spalování a vytváření pracovního média. Spalovací turbína má možnost využívat dokonce více než jednu spalovací komoru. Při procesu spalování se kladou nároky na správné rozložení podílů palivové směsi, aby tvořila stechiometrický poměr. Přebytečný vzduch, který není využit ke spalovacímu procesu, je následně přiveden k chlazení jednotlivých komponentů, které jsou tepelně namáhány. Dle toho je palivová směs, složená z paliva a vzduchu, variabilní od poměru 50:1 až do 250:1, jakožto celku. [68]

4.5.2 Palivové články

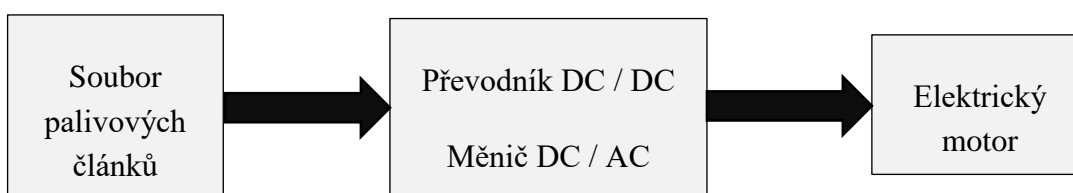
Palivové články se aplikují do vozidel pouze s elektropohonem. Produkuje elektrickou energii za elektrochemických pochodů. Dochází v nich k převodu chemické energie na energii elektrickou. Provoz vozidla s využitím palivových článků je šetrný k životnímu prostředí. Nevznikají při pohybu vozidla žádné škodlivé látky. Jediné, co vozidlo při jízdě vylučuje jako odpad, je čistá voda. Vstupujícími prvky, díky kterým se v palivových článcích vytváří elektrická energie, je čistý plynný vodík, jakožto palivo, a kyslík, jenž je přiváděn ve formě vzduchu. Palivových článků je vynalezeno mnoho. Liší se od sebe strukturou. Pro aplikování palivových článků v hybridních vozidlech jsou vhodné dva typy. Palivové články s pevným elektrolytem (SOFC) a palivové články s polymerní iontoměničovou membránou (PEMFC). Fungují obdobně jako akumulátory s tím rozdílem, že do palivových článků je stále přiváděno palivo a okysličovadlo. Akumulátor je uzavřený a chemická energie je v něm stále uchována, pouze je dodáván, nebo odebírán elektrický proud. [5]

Palivové články se ve všech případech skládají ze dvou elektrod a elektrolytu. Jednotlivé elektrody v podobě katody a anody jsou vzájemně propojeny elektrolytem. Elektrody jsou zhotoveny z drahých kovů s pórovitou strukturou. Na kladnou elektrodu je dopravován kyslík a na zápornou vodík. Na katodě dojde ke sloučení dvou elektronů a molekuly kyslíku. Tím dojde k vytvoření kyslíkového aniontu, který prochází přes elektrolyt na anodu. Tam proběhne oxidace přivedeného vodíku, respektive jsou elektrony odděleny od molekuly kyslíku a tvoří elektrický náboj. Na molekulu kyslíku se zároveň napojí dvě molekuly vodíku, čímž vznikne čistá voda. Ta z vozidla odchází jako jediná odpadní látka. Struktura palivového článku a jeho způsob produkce elektrické energie je znázorněn na Obr. 22. [3]



Obr. 22 Schéma principu funkce palivových článků [17]

K systému palivových článků je nutné přidat i měnič nebo převodník elektrického proudu, jak je vidět na Obr. 23. Měnič pro palivové články je velice složitý a je sestaven z mnoha menších systémů. U palivových článků je nutné regulovat tlak a samozřejmě snižovat i pracovní teplotu. [5]



Obr. 23 Umístění systému převodníku / měniče ve vozidle s palivovými články (upraveno) [5]

4.5.3 Elektrický motor

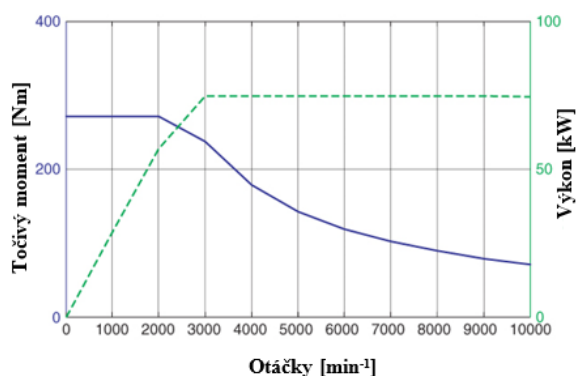
Elektrický motor je v hybridním pohonu vozidel nejvýznamnější částí, která hybridní pohon tvoří. Je zapotřebí do hybridních vozidel aplikovat výkonné a efektivní elektrické motory s nízkou hmotností. Elektrický motor využívaný k účelům hybridního pohonu vozidel lze rozdělit na určité pracovní funkce dle jeho konstrukčního uspořádání ve vozidle. Je možné, aby pracoval při mimořádném výkonu jako usměrňovač. Dále se může svou pracovní funkcí podílet na dosažení potřebného výkonu nebo jako zařízení dočasné zásoby točivého momentu. Je zapotřebí, aby elektromotor byl provozuschopný v obvyklém režimu a také v režimu rozšířeném. Točivý moment je v obvyklém režimu neměnný v celém rozmezí jeho nominální rychlosti otáčení. Rozšířený režim nastává, pokud se rychlost otáčení elektromotoru vyšplhá nad nominální otáčky. Tím je poté dosaženo poklesu točivého momentu. Při obvyklém režimu je elektromotor nucen hybridnímu pohonu zprostředkovat točivý moment, který v danou chvíli vyžaduje. Poté se obvyklý režim přemění na rozšířený a v něm se otáčky elektrického motoru uvedou do konstantních hodnot.

Další činnost, která se od elektromotoru vyžaduje, je zvládnutí funkce generátoru. Cílem je generovat přebytečnou energii uvolněnou zpomalováním vozidla. Tento proces se nazývá rekuperační brzdění. Tato energie vzniká působením cizích sil z vnějšího okolí na hnací ústrojí vozidla a je poté přenášeno na hřídel elektromotoru. Řídicí jednotka zaznamenává signál sešlápnutím brzdového pedálu, poté vyhodnotí, zda se vytváří záporný točivý moment, a následně je elektrický motor vypnut, nebo je přes spuštěný elektromotor, prostřednictvím hnacího ústrojí, využita hybná síla vozidla k získávání energie. Akumulátor lze dobíjet pouze stejnosměrným proudem. To znamená, že mechanická energie získaná ze záporného točivého momentu je pomocí generátoru přetvořena na střídavý elektrický proud a ten je poté díky funkci měniče přeměněn na stejnosměrný elektrický proud. Tlak, kterým působíme na brzdový pedál, vyhodnocuje řídicí jednotka, a tím optimalizuje spuštění brzdového hydraulického systému tak, aby byl v souladu s tlakem působícím na brzdový pedál. Rekuperace energie je velice efektivní při mírném zpomalování. V hybridních vozidlech je kvůli tomuto systému snížena spotřeba paliva, a tím je i zvýšena efektivnost, především v městském provozu, kde při každém zpomalení nebo zastavení vozidla následuje jeho zrychlení.

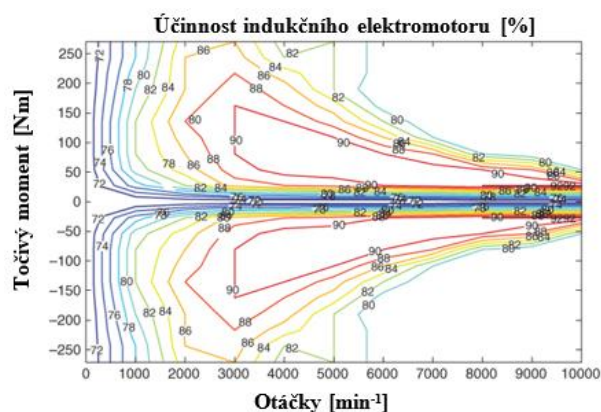
Nejrozšířenější využití elektromotorů v hybridních vozidlech lze rozdělit na stejnosměrný elektromotor bez kartáčů anebo elektromotor indukční využívající střídavého proudu. Tyto dva typy elektromotorů se vyznačují svou dlouhou životností, pak také nepotřebují tak častou údržbu a další pozitivní vlastností je jejich nižší pořizovací cena a náklady spojené s elektromotorem. Důležité je také zmínit, že tyto typy elektromotorů mají i vyšší celkovou efektivnost. Proto je jejich aplikování do hybridních vozidel tak časté. Oba tyto typy elektromotorů musí být ve spojitosti s převodníkem nebo měničem stejnosměrného elektrického proudu. To kvůli tomu, aby mohlo být převedeno stejnosměrné napětí na potřebné napětí střídavé, kterým lze elektrický motor uvést do chodu. Stejnosměrné napětí se odvíjí dle stavu množství nashromážděné energie v akumulátoru hybridního vozidla a také dle jeho provozních podmínek. [5]

4.5.3.1 Asynchronní elektromotor

Asynchronní elektromotor, někdy také nazývaný indukční elektromotor, může fungovat jako motor uvádějící vozidlo do pohybu nebo jako generátor, který vytváří elektrickou energii při zpomalování, brzdění, nebo také může přijímat přebytečnou mechanickou energii ze spalovacího motoru. Tyto elektromotory převádí získanou elektrickou energii na potřebnou mechanickou energii. Uspořádání jednotlivých komponentů tohoto elektromotoru je vcelku jednoduché a také ani nevyžaduje častou údržbu. Točivý moment a výkon v závislosti na rychlosti otáčení motoru je zobrazen na Obr. 24. Na Obr. 25 jsou vidět oblasti účinnosti asynchronního elektromotoru v závislosti točivého momentu na jeho otáčkách.



Obr. 24 Vnější otáčková charakteristika asynchronního elektromotoru (upraveno) [5]



Obr. 25 Účinnost – asynchronní elektromotor (upraveno) [5]

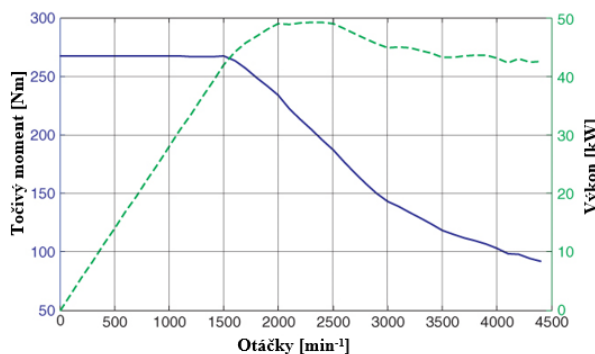
Asynchronní elektromotor se skládá z jednotlivých součástí, jako jsou stator, rotor, svazek statorových plechů, svazek rotorových plechů, dva ložiskové štíty, cívky, vinutí a hřídele. Nepohyblivý díl asynchronního elektromotoru tvoří stator. To, co se pohybuje uvnitř statoru, se nazývá rotor. Konstrukci statoru lze zhotovit z různě formovaných materiálů. To může být například litina, svařenec anebo také hliník. Stator je zakončen na obou stranách ložiskovými štíty. Svazek plechů, kde jsou jednotlivé plechy odděleny izolační vrstvou, je uložen ve struktuře konstrukce statoru. Rotor se pohybuje uvnitř statoru. Ve vnitru statoru je uložena hřídel v ložiscích, do které je umístěn svazek rotorových plechů. Ložiska jsou uložena v ložiskových štítech. Rotor není do statoru umístěn tak, že by se ho dotýkal. Je tam mezi nimi vytvořen volný prostor po celém obvodu rotoru. Díky tomuto je magnetický tok v indukčním motoru zakončen. Vinutí elektromotoru je osazeno do vrubů obou svazků plechů, jak statorových, tak rotorových. Velice často se využívá vinutí u asynchronních elektromotorů ve trojfázovém rozhraní, ale je možné i jednofázové. Zdroj napětí je napojen k elektromotoru přes svorkovnici. Do svorkovnice jsou umístěny počátky kontaktu cívky, a též její zakončení. Elektromotory, které dokáží produkovat vyšší výkony, disponují rotorovým vinutím ve formě klece. Ta je vytvořena z vodivého tyčovitěho materiálu, který spojuje nakrátko dva protilehlé kruhy. Cívky u elektromotorů využívajících trojfázovou formu vinutí mají počátky jednotlivých kontaktů sjednoceny do jednoho uzlu. Zakončení jednotlivých kontaktů cívky je spojeno s kroužky. Ty jsou při pracovním procesu elektromotoru v kontaktu s kartáčem. Tento způsob kombinace se nazývá zapojení do hvězdy. Díky tomu lze do okruhu rotoru zapojit i jiné aparát. [19]

Výkonová elektronika, čímž může být například měnič nebo převodník, dokáže převést střídavý proud na stejnosměrný a opačně. To je zapotřebí, pokud využíváme v hybridním pohonu vozidla indukční elektromotor, jelikož je napájen 3fázovým střídavým napětím. Rotorový proud vytváří magnetické pole rotoru a díky magnetickému poli statoru vzniklého z jeho vinutí je rotorový proud indukován. Magnetické pole je generováno ve statoru a vzbuzuje točivý pohyb. Na rotoru je umístěn vodivý materiál, který je křížen indukovanými siločárami, což je způsobeno točivým pohybem magnetického pole. Tento proces zajišťuje indukci napětí. Díky tomuto napětí se v rotoru též vyskytuje proud, který jím protéká. To má za následek vzájemné silové působení mezi vodivými prvky statoru a vodivými prvky rotoru. Jestliže se rotor, vzhledem k elektromagnetickému poli statoru uskutečňujícím točivý pohyb, vhodně pohybuje, tak teprve poté je ve vodivých prvcích indukováno napětí. Je tedy nutné, aby se neustále magnetické pole ve statoru pohybovalo vyššími otáčkami oproti otáčivému pohybu rotoru. Kvůli různosti otáček magnetického pole statoru a rotoru vzniká takzvaný skluz. Ten závisí na synchronních otáčkách, kterými se pohybuje magnetické pole statoru, a na otáčkách rotoru, jenž poté vytváří mechanickou energii. Je vytvořen opožděním otáčení rotoru oproti magnetickému poli statoru. Skluz mezi magnetickým polem statoru a rotorem je tím větší, čím vyšší je zátěž elektromotoru. Magnetické pole ve statoru se otáčí díky jeho pólům. Množství pólů umístěných ve statoru udává rychlost otáčení magnetického pole statoru. Většinou má stator asynchronního elektromotoru jeden pól severní a jeden jižní. [5], [19]

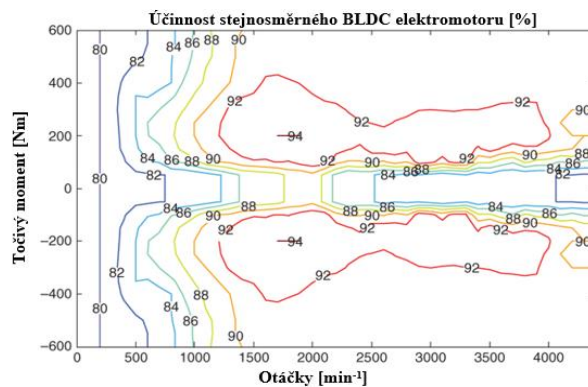
Tento elektromotor je efektivní pouze do výše synchronních otáček. Poté ho lze využít i jako generátor. A to tak, že hřídel, na níž je připojen rotor, bude vyvíjena mechanická síla v podobě točivého momentu. [19]

4.5.3.2 Stejnosměrný BLDC elektromotor

Zkratka BLDC znamená Brushless DC motor. Tento elektromotor se vyznačuje oproti indukčnímu elektromotoru tím, že využívá namísto kartáčů a komutátorů, elektronický nepohyblivý regulátor. Proud stejnosměrného motoru má lineární závislost vzhledem k napětí, točivému momentu a také otáčkám. Na Obr. 26 jsou znázorněny vnější otáčkové charakteristiky, kde jsou uvedeny křivky točivého momentu a výkonu v závislosti na otáčkách elektromotoru. Oblasti účinnosti tohoto elektromotoru, které lze vidět na Obr. 27, jsou rozmístěny dle závislosti točivého momentu na rychlosti otáčení. [5], [72]



Obr. 26 Vnější otáčková charakteristika stejnosměrného BLDC elektromotoru (upraveno) [5]



Obr. 27 Účinnost – stejnosměrný BLDC elektromotor (upraveno) [5]

Stejnoseměrné BLDC elektrické motory dokáží pracovat kontinuálně při vysokém točivém momentu. Tím je navýšena efektivnost tohoto elektromotoru. Díky tomu i malé elektromotory tohoto typu zvládají přenášet vyšší točivý moment než běžné kartáčové motory. Další pozitivní vlastností je, že rychlost otáčení a také přesnost potřebného točivého momentu, je možné řídit mechanismy umožňujícími zpětnou vazbu. Díky tomu, jak je provedeno exaktní ovládání otáček a točivého momentu, lze zredukovat stav tvorby vysokého tepla. Také to napomáhá k poklesu spotřeby elektrické energie. Vzhledem k tomu je tento systém ovládání vhodný tam, kde je elektromotor napojen na akumulátory, ze kterých čerpá elektrickou energii. Také umožňuje zvýšit životnost akumulátorů. Díky absenci kartáčů není tento elektrický motor tak hlasitý. Také se vyznačuje dlouhodobou životností. [74]

Stejnoseměrný elektromotor je jeden z typů točivého stroje. Tento elektromotor má analogické uspořádání jednotlivých dílů jako synchronní elektromotor střídavý 3fázový. Z toho plyne, že přímé napájení z elektrického zdroje střídavým elektrickým napětím není u stejnosměrného BLDC elektromotoru možné. Je zapotřebí, aby se tento elektromotor korektně spouštěl. Malé elektromotory tohoto typu obsahují dvě budící vinutí a větší elektromotory mají dokonce budící vinutí tři. Z těchto budících vinutí se skládá stator. Vždy ke dvěma ze tří budících vinutí je opakovaně střídavě přiváděno stejnosměrné elektrické napětí, které motor napájí. Tento typ elektromotorů nevyužívá kartáče, tudíž je také nazýván bezkartáčový stejnosměrný elektromotor. U střídavých elektromotorů s komutátory a kartáči je přes ně veden elektrický proud do cívky na rotoru. U bezkartáčových stejnosměrných elektromotorů je to zkonstruováno tak, že na rotoru se nevyskytují jednotlivé cívky, ale jsou umístěny pevně ve statoru. Cívky, které jsou uloženy ve statoru, mají proud regulovatelný z vnějšího prostředí. Rotor má funkci permanentního magnetu. Rotor lze nalézt v různých formách uspořádání jako je vnější či vnitřní anebo může být vzhledem ke statoru paralelní. Komutátor a kartáče byly zapotřebí, pouze když se cívky pohybovaly. Nyní již zapotřebí nejsou. Provedením transformace napětí vedeného k jednotlivým cívkám lze určovat rychlost otáček elektromotoru. Nepohyblivé magnety vytvářejí magnetické pole, které zůstává neměnné. Pohyblivé magnety jsou permanentní. Magnetická pole, jež jsou vytvářena stacionárními magnety, změni směr a tím je dosaženo otáčení rotoru. Regulací směru proudu a jeho velikosti určeného cívkám je možné řídit otáčení. [73], [74]

4.5.4 Systém skladování energie

Systém skladování energie tvoří v hybridním pohonu vozidla podstatnou část. Na celkovou efektivitu hybridního vozidla má tento systém bezprostřední vliv. Akumulátory musí pro hybridní pohon vozidla nezbytně splňovat určité předpoklady. Je to celková životnost akumulátoru, životnost akumulátoru v pracovním režimu a také by měly obsahovat velkou energetickou a výkonovou hustotu. Dále lze akumulátory dělit dle struktury hybridního pohonu z hlediska jeho využití, a to na akumulátory obsahující vyšší výkonovou hustotu anebo na akumulátory obsahující vyšší energetickou hustotu. Pro běžná hybridní vozidla jsou aplikovány akumulátory s vyšší výkonovou hustotou. Co se týká akumulátorů s vyšší energetickou hustotou, tak ty jsou především využívány v plug – in hybridních vozidlech.

Ultrakapacitor, nazýván také jako superkapacitor, je dalším způsobem, jak v hybridních pohonech shromažďovat elektrickou energii. Tento typ akumulátoru má pozitivní vlastnosti v tom, že do něj lze velice rychle energii vkládat, ale také velice rychle energii odvádět. A jeho životnost je takřka neomezena! Ultrakapacitor je velmi vhodný pro aplikování do hybridních pohonů kvůli jeho pohotovému uvolnění energie při náhlé akceleraci vozidla a taktéž velice rychlé zpětné přijímání energie, a to například z rekuperačního brzdění. V tomto ohledu jsou superkapacity velmi efektivní. Bohužel pro plug – in hybridní pohony, které potřebují ke svému pohybu vyšší energetickou hustotu, jsou tyto samostatné speciální akumulátory nevhodné. Ultrakapacity se celkem rychle samočinně vybíjí a jejich energetická hustota není příliš vysoká. Ovšem je tu možnost, jak ultrakapacity zdokonalit. Pokud se k tomuto typu speciálního akumulátoru připojí akumulátory s vysokou energetickou hodnotou, tak se tím vytvoří příjemná spojitost vlastností: pozitivní vlastnosti superkapacitoru v kombinaci s vyšší energetickou hustotou. Také se díky tomuto principu propojením akumulátorů a ultrakapacitorů zmenší celá dislokace skladovacího systému energie. Lithium – iontové akumulátory jsou zatím pro hybridní a čistě elektrická vozidla vhodnější oproti ultrakapacitorům, a to z důvodu minimalizace nákladů na výrobu.

Systém skladování elektrické energie je sestaven vesměs z několika jednotlivých komponentů. V tomto systému nesmí samozřejmě chybět zásobník energie, dále pak teplotní, proudový a napěťový modul, také vyrovnávací obvod článků a soustava chlazení. Transformací elektrické energie na energii chemickou a opačně, lze chápat činnost skladovacího systému energie. Elektrická energie, vyprodukovaná během jízdy, či rekuperačním brzděním hybridního vozidla anebo také externím nabíjením z elektrické sítě, je přiváděna do skladovacího systému. Poté se elektrická energie přeměňuje na elektrochemickou za pomoci redukčních a oxidačních reakcí. Důležité nároky jsou kladeny na skladovací systém energie, které mají být umístěny v hybridním vozidle. Tyto nároky jsou uváděny na uspořádání jednotlivých komponentů v hybridním pohonu vozidla, dále maximální dojezd na danou kapacitu akumulátoru, doporučené jízdní režimy, pak také na maximální rychlost a zrychlení vozidla. Další nároky z hlediska samotného systému skladování energie jsou vysoká spolehlivost, nízké náklady, značná bezpečnost, a co nejefektivnější práce. Výkonost a energetická schopnost skladovacího systému energie je významným aspektem, pokud bude tento skladovací systém využit v hybridním vozidle, kde je jeho pohon kombinovaný, nebo bude umístěn v pouze čistě elektrickém vozidle. Na skladovací systém jsou kladeny nároky z hlediska rozložení potřebného výkonu k pohybu vozidla mezi spalovací agregát a elektrický trakční motor. Návrh skladovacího systému energie do hybridního vozidla by měl sledovat různá kritéria vhodného využití. To jsou například kapacita akumulátoru [Ah], doba životnosti akumulátoru [rok], hmotnost akumulátoru [kg], maximální kapacita a stálost při nabíjení a vybíjení [kW], maximální rozsah samočinného vybíjení [Wh / den], maximální a minimální napětí [V] a proud [A] při provozu, maximální a minimální teplota při provozu [$^{\circ}$ C], rozmezí možného provozního stavu nabitého akumulátoru [%] a spouštěcí motor a jeho kapacita za studena [kW]. [5]

V následující Tab. 1 jsou uvedeny parametry jednotlivých akumulátorů a ultrakondenzátoru. Dle nich je možné zvolit vhodný zdroj pro shromažďování elektrické energie pro daný typ hybridního pohonu. [2], [16]

| Jednotlivé parametry | Typ akumulátoru | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---|----------------------|
| | Olověný akumulátor | Nikl – kadmiový akumulátor | Nikl – metal hydridový akumulátor | Lithium – iontový akumulátor | Lithium – železo – fosfátový akumulátor | Ultrakapacitor |
| Měrná energie [Wh/kg] | 30 - 40 | 40 - 60 | 40 - 80 | 130 - 200 | 70 - 180 | 1 - 30 |
| Energetická hustota [Wh/l] | 60 - 90 | 80 - 140 | 90 - 160 | 180 - 320 | 150 - 250 | - |
| Energetická výkonost [W/kg] | 250 - 600 | 300 - 800 | 900 - 1 600 | 1 200 - 4 000 | 1 000 - 3 800 | až 10 000 |
| Efektivnost nabíjení a vybíjení [%] | 75 - 90 | 75 - 93 | 80 - 95 | 85 - 96 | 82 - 94 | více jak 95 |
| Samočinné vybíjení [%/měsíc] | 5 - 15 | 5 - 15 | 8 - 15 | méně jak 5 | 2 - 5 | ~ 50 |
| Množství cyklů / životnost | 500 - 800 | 800 - 1 200 | 800 - 1 200 | 1 500 - 2 000 | ~ 2 000 | 1 000 000 / 30 000 h |
| Nominální napětí [V] | ~ 2,1 | ~ 1,2 | ~ 1,2 | ~ 3,75 | ~ 3,3 | 2,3 - 2,75 |

Tab. 1 Parametry jednotlivých akumulátorů a ultrakapacitoru [5]

4.5.4.1 Olověný akumulátor

Tento akumulátor je využíván v konvenčních vozidlech. Z historického hlediska je tento akumulátor nejdéle využíván. Olověné akumulátory mají elektrolyt ve formě kyseliny sírové a jsou využívány elektrody ze slitiny olova. Rozdělují se do dvou druhů. Jedním z nich je olověný akumulátor startovací a druhý je olověný akumulátor trakční, využívající hlubokého cyklu. Startovací olověný akumulátor obsahuje velké množství olověných tenkých desek. Velké množství olověných desek je z toho důvodu, aby byla k dispozici pro využití co největší plocha. Kvůli tomu, že množství olověných elektrod muselo být navýšeno, snížil se tím vnitřní odpor. Jednotlivé olověné elektrody jsou velmi slabé a mají pórovitou strukturu, která ještě zvětšuje jejich užitečnou plochu. Startovací akumulátory jsou při pohybu vozidla dobíjeny. Vybíjení nastává pouze na malý okamžik, než se vozidlo uvede do pohybu. Pro tento typ olověného akumulátoru je přednější výkon. Dalším typem olověného akumulátoru je trakční. Tyto akumulátory se soustředí na to, aby dosahovaly co největší kapacity a maximalizovaly dobu vybíjení. Cykly vybíjení a nabíjení by měly být v rovnováze a jejich počet by měl odpovídat standardu. Kapacita a množství nabíjecích a vybíjecích cyklů je stanovena tloušťkou olověných pórovitých elektrod. Tento akumulátor lze vybíjet a opětovně nabíjet. Je zapotřebí, aby se při vybíjení nedostal na nulovou kapacitu. Dle toho, jaký je stupeň vybíjení trakčního olověného akumulátoru, se udává počet nabíjecích a vybíjecích cyklů, a tím i životnost trakčního olověného akumulátoru. Není možné aplikovat olověný akumulátor startovací na pozici olověného akumulátoru trakčního a samozřejmě to nelze provádět i opačně. Kdyby byl startovací olověný akumulátor použit jako shromaždiště elektrické energie do hybridního vozidla, tak by byl při opakovaném nabíjení a vybíjení poškozen. Jeho olověné elektrody by se

postupem času následkem častého vybíjení a nabíjení rozpustily. Do hybridních pohonů vozidel je možné využít pouze olověné akumulátory trakční, které musí splňovat určité technické parametry. Olověné akumulátory v porovnání s jinými druhy akumulátorů mají celkem nízké pořizovací náklady. Dokáží pracovat v otevřeném obvodu s vysokým napětím. Pórovité olověné desky se při využívání akumulátoru snadno regenerují. Stav nabití akumulátoru lze zjistit dle měrné hmotnosti elektrolytu, jenž v olověném akumulátoru tvoří důležitý prvek ve spojitosti s reakcí. Bohužel opakovanost nabíjení a vybíjení je nízká, tudíž i životnost olověného akumulátoru není příliš dlouhá. Také se celkem rychle samočinně vybíjí a energetická hustota dosahuje nízkých hodnot. Nabíjení olověného akumulátoru není příliš účinné. [5], [15]

4.5.4.2 Nikl–kadmiový akumulátor (NiCd)

Nikl–kadmiové akumulátory se dokáží velice rychle dobíjet, ale také dokáží velmi rychle dodávat energii spotřebiči. Tento druh akumulátorů lze aplikovat na místech, kde je zapotřebí vysokého nabíjecího a vybíjecího výkonu. Tyto akumulátory se skládají z katody a anody. Katoda obsahuje jako reakční látku kadmium (Cd). Povrch anody je vytvořen z vrstvy hydroxidu niklu (NiOOH). V tomto akumulátoru je aplikován hydroxid draselný v podobě elektrolytu. Velmi efektivní je nabíjení a vybíjení. Nikl–kadmiové akumulátory mají plochý, pásovitý profil propustnosti a celkem nízký vnitřní odpor, díky tomu mohou pracovat s impulsivním proudem a rychle dodávat energii. Tyto akumulátory lze rychle a efektivně nabíjet i při proměnlivých podmínkách. Mají dlouhou životnost, to znamená, že akumulátor zvládne opakované nabití a vybití více než tisíckrát. Tyto akumulátory lze i plně vybíjet, aniž by jim to uškodilo. Plyne z toho výhoda, že akumulátor může zůstat v jakémkoliv stavu nabití. Ostatní druhy akumulátorů mají vyšší kapacitu. Také dokáží plyně fungovat i při celkem velkém teplotním rozmezí, které může být od -40 do 50 ° C. Bohužel se u nich objevuje i paměťový efekt, vyjádřený poklesem nabíjecí kapacity a snížením výkonové hustoty. Kvůli těžkému kovu kadmiu jsou považovány za ekologicky nepříznivé. [5], [52]

4.5.4.3 Nikl–metal hydridový akumulátor (NiMH)

Tyto akumulátory jsou vcelku podobné nikl–kadmiovým akumulátorům, ale jsou mezi nimi podstatné rozdíly ve struktuře článku. Nikl–metal hydridový akumulátor je složen ze záporné elektrody, kladné elektrody a elektrolytu. Kladnou elektrodu (katodu) tvoří hydroxid niklu. Anoda, jakožto záporná elektroda, je z aktivní látky, která absorbuje vodík. To znamená, že kovový prvek lanthan je sloučen se vzácnými kovy, a tím dochází k vytvoření hydridu kovu, ze kterého je záporná elektroda vytvořena. Tyto dvě elektrody jsou vnořeny do alkalického elektrolytu v podobě hydroxidu draselného. Na anodě dochází k chemické reakci, v podobě vytváření redukováného vodíku, u kterého může následně při vytváření protonů docházet k oxidaci. Tyto akumulátory se oproti nikl–kadmiovým akumulátorům vyznačují větším obsahem energetické hustoty, což má za následek i vyšší kapacitu akumulátoru. Nikl–metal hydridový akumulátor je vzhledem k životnímu prostředí přívětivější než Nikl–kadmiový akumulátor, který využívá kadmium. Tento typ akumulátoru je vhodný pro

využití do hybridních pohonů vozidel, z důvodu jeho dlouhé životnosti a také hlavně kvůli vysoké energetické hustotě, která je zhruba dvakrát vyšší než u olověných akumulátorů. Nikl–kadmiové akumulátory mají oproti nikl–metal hydridovým akumulátorům nižší energetickou hustotu, a to zhruba o 40 %. Jejich nabíjení, a naopak i dodávání energie ke spotřebiči, nabývá vyšších rychlostí ve srovnání s nikl–kadmiovými akumulátory. Mají také paměťový efekt, což znamená, že po určité době začne klesat kapacita akumulátoru a také jeho výkonnost. Tyto akumulátory jsou při pořizování nákladnější než olověné a nikl–kadmiové. [5], [45]

4.5.4.4 Lithium–iontový akumulátor (Li–ion)

Lithium–iontové akumulátory jsou velmi často aplikovány do hybridních automobilů. Jsou využity tam, kde je zapotřebí malý nebo střední výkon. Dosahují přijatelného výkonu a jsou kompaktní s nízkou hmotností. Tento akumulátor je složen ze záporné elektrody a kladné elektrody, které jsou ponořeny do elektrolytu tvořeného organickým rozpouštědlem ethylenkarbonátem, ve kterém je rozpuštěna lithiová sůl. Anoda je zhotovena integrací grafitu s uhlíkem. Jednotlivé ionty lithia jsou přiváděny do krystalické mřížky anody. Katoda má strukturu vytvořenou lithiokobaltovým oxidem. Pracovní proces probíhá tak, že z anody jsou jednotlivé ionty lithia s elektrickým nábojem převáděny prostřednictvím elektrolytu na kladnou elektrodu. Jednotlivé ionty lithia se dají považovat za přenašeče elektrického náboje. Pokud je tento akumulátor napájen, tak se ionty lithia s elektrickým nábojem zpětně pohybují ke katodě. To se děje díky tomu, že je do akumulátoru vpuštěno více proudu s jednotnou polaritou ve srovnání s tím, kolik proudu dokáže sám vyprodukovat. Lithium–iontové akumulátory jsou velmi efektivním dobíjecím zařízením. Také jejich energetická hustota je na velice dobré úrovni. Mají dlouhou dobu životnosti a nepatrný potenciál vedený k samočinnému vybíjení. Díky tomu, že tyto akumulátory je možné recyklovat, jsou ekologicky příznivější k životnímu prostředí než ty předešlé. Množství jednotlivých článků je možné snížit díky zvýšené hodnotě napětí v otevřeném obvodu, což může být více jak 4 V. Tyto akumulátory mohou být menších rozměrů a nižší hmotnosti z důvodu jejich obsahu velké energetické hustoty. Aniž by byla narušena životnost akumulátorů, mohou být bezprostředně využívány při velkých teplotních rozdílech od -30 do 50 ° C. Tyto baterie také dokáží přijímat energii a pak ji i zpětně vydávat i při velmi vysokých rychlostech. Tady se objevuje pozitivní vlastnost při rychlém přijímání energie u hybridního pohonu vozidla například z rekuperačního brzdění nebo jiného způsobu vytváření zpětné elektrické energie. Bohužel z bezpečnostního hlediska má tento typ akumulátorů negativní vlastnost. Je to způsobeno přehříváním akumulátoru v důsledku jeho překročení meze nabití. K tomu může dojít, pokud obsah lithia, jenž je aktivním prvkem akumulátoru, klesne pod mez stability. Tím se poté navyšuje tepelná energie článku, která zvyšuje nebezpečí exploze a následného požáru. Také je možné, že vzniká reakce, při níž je uvolňováno teplo vzájemným působením iontů lithia a elektrolytu. Tomuto lze předejít zrealizováním přídatného ochranného elektrického obvodu. Ten je v tomto akumulátoru nutný vzhledem k jeho možnému překročení nabíjecí kapacity a také jako bezpečnostní prvek před přepětím. Je důležité, aby do jednotlivých článků akumulátorů byla při napájení energie

rozdělena rovnoměrně. Též je zapotřebí mít tento akumulátor chráněn proti jeho možnému přehřátí a také překročení meze povoleného tlaku. Jejich pořizovací cena je trochu vyšší. Tyto akumulátory však nemají paměťový efekt. Nesmí se nabíjet nad určitou mez, ale také se nesmí úplně vybit. Efektivita uchování energie v Li-ion akumulátorech je při nízkých teplotách velmi malá. Nejvhodnější je tyto akumulátory uchovávat při pokojové teplotě. Kapacita těchto akumulátorů postupem času klesá právě z důvodu jejich tepelného přetížení a překročení meze nabití. Maximální hodnota nabití by se měla pohybovat kolem 80 % kvůli tomu, aby se zpomalil pokles životnosti tohoto akumulátoru. [5], [22]

4.5.4.5 Lithium–železo–fosfátový akumulátor (LiFePO₄)

Lithium–železo–fosfátový akumulátor patří mezi typy li-ion akumulátorů. Je to zdokonalená verze li-ion akumulátoru, který by měl vyhovovat daným podmínkám pro využití v automobilovém průmyslu v hybridním a elektrickém směru. Pracují na podobném principu s rozdílem odlišného použití některých materiálů, jako je například železo a fosfát. Kvůli těmto prvkům jsou tyto akumulátory z ekologického hlediska daleko přívětivější v porovnání s předchozími li-ion akumulátory díky jejich dokonalejší recyklaci. Z bezpečnostního hlediska je problém s přehříváním akumulátorů mizivý a to díky tomu, že v podobě katody byl využit jiný materiál než u li-ion akumulátorů. Tento akumulátor je tedy tepelně stálý. Cena fosfátu a též železa je docela nízká, a to má celkový vliv na nižší pořizovací náklady celého akumulátoru. Tyto akumulátory dosahují také delší doby životnosti díky tomu, že do nich byl aplikován fosfát. Nevhodně obtížným způsobem se určuje stav nabitého akumulátoru. Také vzhledem k akumulátoru jeho jednotlivé články pracují nerovnoměrně. [5]

4.5.4.6 Ultrakapacitor

Uváděn také jako superkapacitor. V podstatě se jedná o kondenzátory, v nichž probíhají elektrochemické reakce, a které se skládají ze dvou vrstev. Kladně nabitě elektrické náboje jsou bezprostředně separovány od záporně elektricky nabitých nábojů. Takto je v superkapacitorech akumulována elektrická energie. Touto metodou uskladnění elektrické energie se podstatně liší od konvenčních akumulátorů. Co se týče konstrukční stránky, tak je ultrakapacitor zhotoven ze dvou metalických plochých desek, což jsou v tomto případě elektrody. Každá z těchto desek obsahuje dvě vrstvy z důvodu navýšení plochy pro větší množství nábojů. Mezi tyto desky jsou umístěny vrstvy izolačního materiálu, které se nazývají dielektrika. Toto se provádí z důvodu navýšení kapacity ultrakapacitoru. Na jedné z desek jsou uchovávány náboje kladně nabitě a na druhé jsou shromažďovány náboje nabitě záporně. Vyznačují se velkou výkonovou hustotou, tudíž je možné jejich nabíjení vysokou rychlostí a taktéž dokáží energii rychle opětovně dodávat. Elektrický proud, který jednotlivé elektrody zahřívá, je jediný činitel ovlivňující jejich nabíjení a vybití. Také doba životnosti je vzhledem k předešlým akumulátorům výrazně vyšší. Obrovské množství opakovaného nabíjení a vybití je pro hybridní vozidla velkou výhodou z hlediska návratnosti zpětné energie. Díky tomu, že obsahují jen malé množství součástí, které nelze recyklovat, se superkapacitory jeví jako ekologicky šetrné k životnímu prostředí. Při jejich pracovním cyklu nedochází k nadměrnému uvolňování

tepla, jelikož vnitřní odpor nenabývá příliš vysokých hodnot. To má za následek zvýšení efektivity ultrakapacitoru, která může dosahovat až k 97 %. Klasické akumulátory, které jsou zmíněny výše, mají vyšší energetickou hustotu než tyto ultrakapacitory. Též u nich dochází k samočinnému vybíjení. [5]

4.5.5 Převodové ústrojí

Převodové ústrojí musí splňovat určité podmínky pro aplikování v hybridním pohonu vozidel. U hybridních vozidel je zapotřebí, aby převodovka usměřňovala tok výkonu a taktéž ovládala jednotlivé pohonné jednotky. Jedná se o ovládání přenosu energie spalovacího agregátu, poté ovládání samostatného elektrického motoru a také při sloučení těchto dvou pohonných jednotek. Je nezbytné, aby převodovka byla schopna řídit se dle různých navolených jízdních režimů. Rovněž by měla vhodně pracovat při zpomalování, které vede až k úplnému zastavení. Pokud nastane rekuperační brzdění, je potřebné, aby převodovka dokázala přenést energii získanou brzděním na generátor. Energie v podobě točivého momentu, vyprodukovaná spalovacím motorem je také ovládána převodovým ústrojím. To znamená, že manipuluje s tím, v jakém rozsahu se spalovací motor bude podílet na pohybu vozidla. Tyto ovládací možnosti jsou vztaženy k různorodosti jednotlivých typů jízdních stylů. Řídicí systém společně s převodovkou vytváří nejvhodnější využití výkonu z obou hnacích jednotek, buď v samostatném, nebo kombinovaném stavu. Vždy je zapotřebí, aby hybridní vozidlo konalo co nejefektivnější pohyb. Co se týče vhodného uspořádání a zabudování převodového ústrojí do hybridního pohonu, tak je zapotřebí hledět na požadavky, jako je minimalizace hmotnosti a vhodnost rozměrů. Také by návrh tohoto převodového ústrojí neměl být příliš nákladný.

V hybridním pohonu je převodovka důležitou částí. Vozidlo je přes toto ústrojí uváděno z klidného stavu do pohybu za pomoci příslušné pohonné jednotky. Přičemž přivádí točivý moment z pohonných agregátů na hnací ústrojí vozidla. Točivý moment, a tím i výše výkonu je navolena na základě aktuálních potřeb jízdního stylu vozidla. Dalším úkolem převodového ústrojí je umožnit vozidlu jak jízdu dopředu, tak i jízdu dozadu. Pokud je vyhověno veškerým podmínkám, které se týkají jízdních vlastností, tak se spotřeba paliva sníží na náležité hodnoty, což je doprovázeno i minimalizací emisních hodnot.

Oproti konvenčním vozidlům, kde převodovka usměřňuje pouze jeden motor, je potřebné, aby převodovka u hybridních vozidel dokázala pracovat se dvěma pohonnými jednotkami mající odlišné vlastnosti. Pro hybridní vozidla musí být zkonstruováno speciální převodové ústrojí, které dokáže být zakomponováno do hybridního systému a přenášet optimální výkon při maximální celkové efektivity. V hybridních vozidlech jsou aplikovány dva typy převodového ústrojí. Jedním z nich je elektrický měnič (EVT) a druhé převodové ústrojí se nazývá dělič výkonu (PST). Obě dvě tato převodová ústrojí umožňují vozidlu využívat jak elektromotor k pohybu vozidla, tak i generátor pro získávání zpětné energie. Taktéž i agregát, produkující mechanickou energii, jenž po úpravě slouží k pohánění elektromotoru, může pracovat samostatně, aniž by zasahoval do pohybu vozidla. Vozidlo se poté může pohybovat na čistě elektrický pohon. Toto je umožněno tím, že tyto převodová

ústrojí v podobě děliče výkonu a elektrického měniče obsahují planetové převody. Ty jsou tam nakonfigurovány ve více než dvou soupravách a převádí mechanickou energii na hnací ústrojí při optimálním výkonu s co nejvyšší účinností.

Prohlédněme si konkrétní převodovku, například Allison. Tato hybridní převodovka se skládá ze čtyř ovládaných třecích spojek a ze tří planetových převodů. Řídicí systém hybridního vozidla dokáže přeměrovat potřebný točivý moment vycházející ze dvou stejnosměrných BLDC elektromotorů a spalovacího agregátu přes převodové ústrojí na hnací ústrojí. Dle jízdních režimů vybírá vhodný pohon vozidla. Také navyšuje točivý moment podle požadavků vozidla. Toto vše probíhá s cílem dosáhnout maximální efektivity při nejvhodnějším využití výkonu. [5]

4.5.6 Výkonová elektronika

Výkonové elektronické prvky jsou podstatnou částí stejně jako ostatní výše zmiňované jednotlivé komponenty. Jsou to měniče neboli převodníky elektrického proudu. Existují ve dvojnásobném provedení. Buď je to převodník, který převádí určitý stejnosměrný elektrický proud na stejnosměrný proud nižší hodnoty, anebo to je to měnič, pomocí kterého je stejnosměrný proud přeměněn na střídavý a naopak. U hybridních nebo elektrických vozidel je také potřebné napájet elektronické příslušenství vozidla v podobě elektronicky ovládaných prvků. Světlo, stěračů, ostřikovačů a podobně. Bohužel napětí, které je k dispozici ze systému skladování elektrické energie, je příliš vysoké, aby mohlo být přímo přiváděno k tomuto elektronickému příslušenství. Tudíž je nutné ho pomocí převodníku snížit na přijatelné napětí, což činí 12 V, se kterým mohou dané spotřebiče pracovat. Další případ, kdy je nutné aplikovat měnič, nastává v okamžiku při produkci elektrické energie v rámci generátoru, do kterého je buď přiváděna mechanická energie ze spalovacího agregátu, nebo energie vzniklá při rekuperačním brzdění. Poté co generátor vytvoří střídavý elektrický proud, je nutno ho přeměnit na stejnosměrný, aby mohl být akumulátor dobíjen. V opačném případě musí měnič transformovat stejnosměrné napětí pocházející ze systému skladování energie na napětí střídavé, které je poté zapotřebí pro činnost elektrického motoru. Na hybridní pohon z hlediska celkové efektivity mají tyto výkonové elektronické prvky zásadní pozitivní vliv. Tyto prvky, aplikovány v hybridních vozidlech, by měly dosahovat více jak 95 % své účinnosti. [5]

5 Jízdní cykly

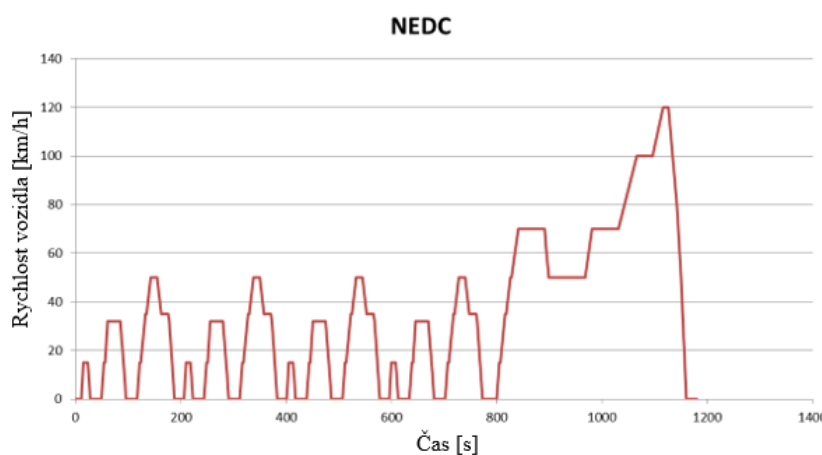
Jízdních cyklů používaných po celém světě je obrovské množství, viz Příloha 1. Existují jízdní cykly, které jsou vytvořeny pro lehká osobní vozidla, nebo též pro těžká užitková vozidla. Také se rozlišují dle průběhu daného testu na modální a přechodové. Modální jízdní cykly, které při průběhu testu nenapodobují skutečnou jízdu v provozu, mají stanovené přímé zrychlení v kombinaci s ustálenou rychlostí a po určité době je opětovně rychlost snižována až k úplné nule. Přechodové jízdní cykly dokáží napodobit reálnou jízdu na veřejných komunikacích, kde se objevují určité podmínky ovlivňující optimální stav.

Jízdní cykly se provádí k účelu zjištění produkce emisních látek u testovaného vozidla a taktéž jeho sledování spotřeby paliva. Jsou uskutečňovány při pohybu vozidla, které je umístěno na válcovém dynamometru pro vozidla. Jedná se o průběh různých rychlostí za určitou časovou délku.

Pokud je zapotřebí analyzovat produkci emisí a spotřebu paliva u užitkových vozidel, tak se již nepoužívá systém, jenž byl aplikován na osobní vozidla nebo vozidla menších rozměrů. U užitkových vozidel se cykly zjišťují dle hodnot točivých momentů a otáček motoru. Tyto hodnoty jsou vyhodnocovány za pomoci využití dynamometru motoru. [53]

5.1 NEDC

V 80. letech byl stanoven evropský jízdní cyklus pro lehká vozidla s názvem New European Driving Cycle, jehož průběh je zobrazen v Obr. 28. Tento cyklus byl užíván až do té doby, než byl uveden v platnost jízdní cyklus WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test



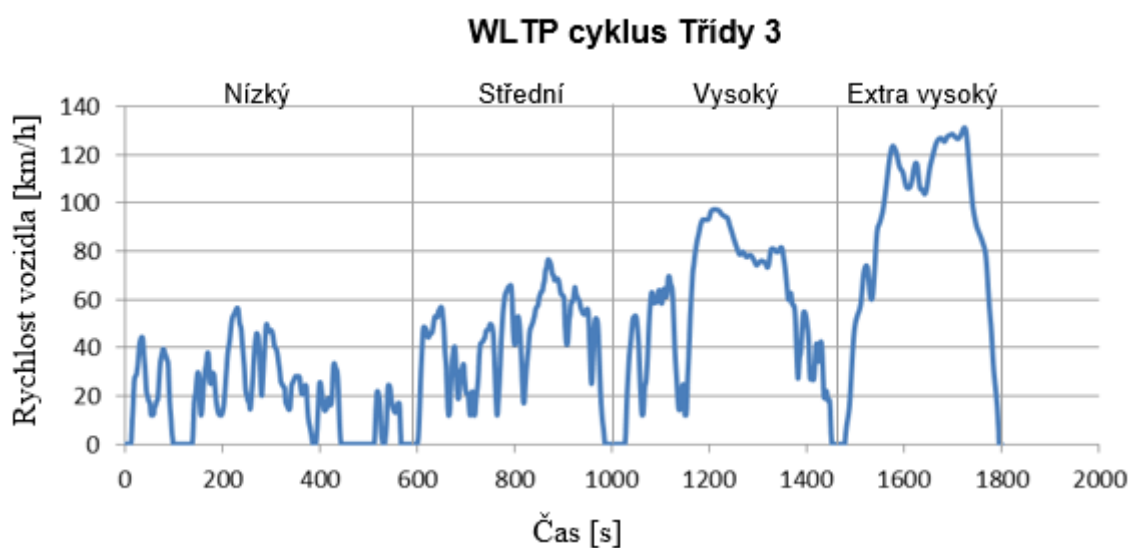
Obr. 28 Průběh jízdního cyklu NEDC (upraveno) [53]

Procedure). To znamená zavedením vyšší normy než do té doby užívané Euro 6, tedy normy Euro 6c. Tento jízdní cyklus vyhodnocuje vozidla z hlediska spotřeby paliva, a tím i následné produkce emisí znečišťujících ovzduší. Skládá se ze dvou jízdních rychlostních částí. První jízdní část je čtyřkrát se opakující nepřerušovaný pohyb nazývaný ECE, jenž probíhá v městském režimu. V druhé jízdní části vozidlo simuluje pohyb mimo obec a ten je pojmenován EUDC. Celková doba měření při tomto jízdním cyklu trvá 1 180 s a vozidlo při ní ujede vzdálenost 11 023 m. Při simulaci celkové jízdy se dosáhne průměrné rychlosti 33,6 km/h. Bohužel při průběhu testu není simulována reálná jízda jako v přímém provozu, tudíž byly vykazovány méně přesné hodnoty spotřeby paliva a emisí tímto jízdním cyklem.

V průběhu testu se nachází spousta oblastí, kde vozidlo je v nečinném stavu nebo vykonává pohyb při konstantní rychlosti. Tímto dostala Evropská unie podnět k vyvinutí dokonalejšího jízdního cyklu. [53], [75]

5.2 WLTP

Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure je nový jízdní testovací cyklus pro lehká vozidla vytvořen Evropskou unií nahrazující starší typ NEDC (New European Driving Cycle). Tento jízdní cyklus byl uveden v platnost v průběhu roku 2017. Je nastaven tak, že dokáže simulovat jízdní vlastnosti, které jsou při reálné jízdě vozidlem v provozu. Obnova je v tom, že při testování vozidla umožňuje vzdálenějších jízd za vyšších průměrných i maximálních rychlostí, přičemž je zvýšen průměr i maximum výkonu pohonné jednotky. Akcelerace a decelerace je flexibilnější a v průběhu testu vozidlo koná menší rozmezí v oblasti zastavení. Rozděluje se do čtyř jízdních částí dle rychlostního stupně. Zprv se jedná o jízdu při nízké rychlosti, která může probíhat například v centru města. Zadruhé střední rychlost, kterou lze provozovat například jízdou v příměstí. Zatřetí se vozidlo testuje při vysoké rychlosti, což je možné považovat za jízdu mimo obec. A čtvrtá jízdní část je vykonávána při mimořádných rychlostech, jež lze provozovat nejspíš jen na dálnicích. Všechny tyto jízdní části obsahují předem stanovené úseky ovlivňující nepřerušovaný styl jízdy. Tím lze pojmenovat zpomalování vozidla a jeho následné zrychlení nebo náhlé brzdění. Stanovený typ vozidla lze v tomto jízdním cyklu testovat z hlediska ekonomického stylu jízdy anebo také stylu jízdy bez zřetele na hospodárny provoz. Tento jízdní testovací cyklus byl zrealizován k celosvětové aplikaci. To proto, aby hodnoty zjištěné tímto jízdním cyklem bylo možno porovnávat mezi sebou. Tímto způsobem je u testovaného vozidla sledován stav produkce emisí, zejména oxidu uhličitého ve spojitosti se spotřebou paliva. WLTP má oproti NEDC přísnější podmínky při testování. V Obr. 29 je znázorněný průběh jízdního cyklu WLTP. [75]



Obr. 29 Průběh jízdního cyklu WLTP třídy 3 (upraveno) [53]

Podle různé hmotnosti vozidel a jejich rozlišných výkonů se WLTP jízdní cyklus provádí ve třech kategoriích. Jednotlivé kategorie se od sebe liší dle poměru výkonu vozidla a jeho hmotnosti. První kategorie má poměr výkonu a hmotnosti méně než 22. Obsahuje jízdní cyklus, který probíhá při nízkých a středně vysokých rychlostech. Tento jízdní cyklus trvá 1 022 s, přičemž je uražena vzdálenost 8 091 m, a to s průměrnou rychlostí 28,5 km/h. V druhé kategorii s poměrem výkonu a hmotnosti v rozmezí 22 a 34 je uveden jízdní cyklus, pomocí kterého lze testovat vozidla s nižším výkonem, protože je zastoupen nízkými, středními a vysokými rychlostmi testovaných vozidel. Ujetá vzdálenost 14 664 m v tomto jízdním cyklu trvá 1 477 s a průměrná rychlost testovaného vozidla je 46,5 km/h. Kategorie tři mající poměr výkonu a hmotností více než 34 zahrnuje jízdní cyklus, jenž je založen na čtyřech úrovních rychlosti. Je to klasifikovaná jízda centrem obce, jízda při okraji města, jízda mimo obec a jízda na dálnici, což znamená, že testované vozidlo se pohybuje nízkou, střední, vysokou nebo velmi vysokou rychlostí. Při tomto jízdním cyklu je dosažena průměrná rychlost 46,5 km/h. Testovací proces trvá 1 800 s a je při něm ujeta vzdálenost 23 262 m. [53]

Jízdní cyklus WLTP je dále rozšířen o formu reálného měření přímo za provozu, a to je RDE (The Real Driving Emissions), viz Obr. 30. K hodnotám získaným pomocí WLTP jsou hodnoty naměřené systémem RDE pouze přidávány, nikoliv nahrazovány. The Real Driving Emissions zjišťuje přímo za skutečného provozu vozidla na komunikacích stav produkce emisí, především oxidy dusíku. Tento systém zjišťování produkce emisí vyžaduje aplikování speciálního přístroje přímo ve vozidle. V reálném provozu jsou dané podmínky, které ovlivňují jízdní režim vozidla. Tím mohou být kolísavé teploty po celý rok, rozlišné užitkové zátěže vozidla při jízdě, jízda do a z kopce, různé rychlostní režimy a také rozdílné hodnoty nadmořské výšky, což má za následek rozlišné hodnoty hustoty vzduchu. [69]



Obr. 30 RDE – reálné měření emisí za provozu (upraveno) [51]

6 Emise

Emise jinak nazýváme výfukové plyny a částice. Hodnoty emisí jsou velmi sledovány, jelikož mají vliv na životní prostředí. U každého vozidla je zapotřebí provést homologaci, aby mohlo být vpuštěno do provozu. Homologace vozidla se vztahuje k naplňování požadavků různých norem a předpisů. Mezi tyto normy patří právě i norma o emisích. Ta poukazuje na to, že do atmosféry lze vypouštět z vozidel tolik škodlivých spalin, kolik jich norma stanovující hodnoty emisí umožňuje. Zákon č. 56/2001 Sb. ve znění pozdějších předpisů je ten, který hodnoty spalin dále ještě usměrňuje vzhledem ke stanoviskům České republiky. Normy pocházející z Evropského společenství a také z Evropské hospodářské komise udávají právě ty předpisy, ze kterých je zákon pro usměrnění emisních hodnot uváděn. Jednotlivé předpisy upravující stav emisí jsou uvedeny do norem. Tyto normy se komplexně nazývají EURO a obsahují dodatkové číslo normy, které je dané dle jejího stáří. [60]

V roce 1992 byla zavedena první norma EURO od té doby se přibližně každých pět let jejich povolené emisní hodnoty zpřísňují a číslice označující jednotlivé normy stoupavě rostou. Jednotlivé státy EU mají k těmto stanoveným normám vztah a normy jsou pro ně platné. Udávají maximální hodnoty škodlivých látek, které se ve spalinách vyskytují. Škodlivé látky ve spalinách jsou oxidy dusíku, oxid uhelnatý, nespálené uhlovodíky a pevné částice. Tyto škodlivé látky jsou upravovány právě EURO normami, které určují jejich hodnoty na kilometr. EURO normy se dále mohou rozlišovat v číselném označení. Arabskými číslicemi jsou určena vozidla menších rozměrů, která jsou považována za osobní. Naopak číslicemi římskými jsou označena vozidla větších rozměrů, a to užitková. Vždy, když vyjde nová norma, týká se jen nových vozidel, která se objevují v prodeji. Přicházející norma s sebou vždy nese striktnější pravidla a snížené povolené mezní hodnoty obsahu škodlivých látek ve spalinách. V roce 2014 byla vydána poslední emisní norma EURO 6, která platí až do současné doby. V průběhu roku 2018 byla tato norma novelizována na EURO 6c a přinesla s sebou další zpřísňující podmínky. Tato novelizovaná norma má za následek vytvoření inovativního způsobu měření emisí. Je tím právě WLTP jízdní cyklus společně s přídatným RDE cyklem. Vozidla, která jsou v současnosti vyráběna, musí tuto normu splňovat, a tudíž musí mít i inovovaný jízdní cyklus. V Tab. 2 jsou představeny jednotlivé emisní EURO normy, kdy byly tyto normy uvedeny v platnost a jejich limitní hodnoty škodlivých látek. [57]

| Norma | Uvedení v platnost | Povolené emisní hodnoty | | | | | | | |
|---------|--------------------|-------------------------|-----------|------------|-----------------|-----------------|------------|-----------|-----------------|
| | | Zážehové motory | | | | Vznětové motory | | | |
| | | CO [g/km] | HC [g/km] | NOx [g/km] | HC + Nox [g/km] | CO [g/km] | NOx [g/km] | PM [g/km] | HC + Nox [g/km] |
| EURO 1 | 1. 7. 1992 | 2,72 | - | - | 1,13 | 3,16 | - | 0,18 | 1,13 |
| EURO2 | 1. 1. 1996 | 2,20 | - | - | 0,50 | 1,00 | - | 0,08/0,10 | 0,70/0,90 |
| EURO 3 | 1. 1. 2000 | 2,30 | 0,20 | 0,15 | - | 0,64 | 0,50 | 0,05 | 0,56 |
| EURO 4 | 1. 1. 2005 | 1,00 | 0,10 | 0,08 | - | 0,50 | 0,25 | 0,025 | 0,30 |
| EURO 5 | 1. 9. 2009 | 1,00 | 0,10 | 0,06 | - | 0,50 | 0,18 | 0,005 | 0,23 |
| EURO 6 | 1. 9. 2014 | 1,00 | 0,10 | 0,06 | 0,005 | 0,50 | 0,08 | 0,005 | 0,17 |
| EURO 6c | 1. 9. 2018 | 1,00 | 0,10 | 0,06 | 0,005 | 0,50 | 0,08 | 0,005 | 0,17 |

Přímé vstřikování paliva

Tab. 2 Jednotlivé emisní EURO normy – povolené emisní hodnoty [31], [57], [61]

6.1 Škodlivé emisní látky

Škodlivé látky se vyskytují ve spalínách, které vozidlo se spalovacím motorem vypouští do atmosféry. Níže jsou popsány jednotlivé škodlivé látky v podobě oxidu uhličitého, oxidu uhelnatého, oxidů dusíku, oxidu siřičitého, nespálených uhlovodíků, těkavých organických sloučenin a pevných částic. Snaha o to, nahradit spalovací agregáty případným alternativním pohonem, je uplatňována z mnoha důvodů a jedním z nich jsou právě tyto škodlivé emisní látky. [2], [60]

6.1.1 Oxid uhličitý (CO₂)

Oxid uhličitý je plyn, který nejeví žádné známky zbarvení, chuti ani pachu. Do emisní normy tato plynná látka není zahrnuta. To kvůli tomu, že není pro lidský organismus životu nebezpečná, ale její produkce a vypouštění do atmosféry se ve velké míře podílí na oteplování planety v podobě skleníkového jevu. Také má vliv na oxid uhelnatý a podporuje jeho působnost. Chemické složení oxidu uhličitého obsahuje jeden atom uhlíku, na který jsou navázány dva atomy kyslíku. Produkce CO₂ je způsobena spalovacími motory, pokud jsou v nich spalována uhlovodíková paliva. [60], [63]

6.1.2 Oxid uhelnatý (CO)

Oxid uhelnatý stejně jako CO₂ nemá náznak jakékoliv barvy, chuti a ani pachu. Je explozivní. Jeho hustota je nižší nežli hustota vzduchu. Není nijak zvlášť dráždivý, ale je toxického charakteru. Proto se tato emisní látka jeví jako zdraví velmi nebezpečná. Kyslík se z plic obvykle dostává do krevního oběhu. Okysličená krev dále proudí po celém těle do svalových tkání. Důvod, proč je oxid uhelnatý zdraví nebezpečný, je takový, že jeho částice absorbují krevní barvivo (hemoglobin). Na hemoglobin se kyslík napojuje přibližně 200krát až 300krát pomaleji než právě škodlivá emisní látka CO. To má za následek, že oxidem uhelnatým je kyslík z krevního oběhu vytěsněn. Oxid uhelnatý se vytváří ve spalovacím prostoru motoru, kam je přivedeno menší množství vzduchu, nežli je potřebné, a tak přebytek paliva není schopen důkladně prohořet. Tím vzniká defektní spalování uhlovodíkových paliv. Také může vznikat při spalování palivové směsi během působení vysokých teplot. Tento škodlivý plyn lze redukovat i stylem jízdy. Snížení produkce CO lze u vozidel se spalovacím motorem docílit kontinuálním pohybem nebo také zvýšením rychlosti vozidla. Naopak jeho navýšení nastane poté, co pohyb vozidla začne být přerušovaně kolísavý. Pokud je CO vypuštěn do atmosféry v ne příliš velkém množství, tak se přemění na oxid uhličitý kvůli procesu nazývaném oxidace. Lidské zdraví může být smrtelně ovlivněno v případě, kdy je v uzavřeném prostoru tento neviditelný plyn naakumulován. [60], [66]

6.1.3 Oxidy dusíku (NO_x)

Ne všechny oxidy dusíků jsou zdravotně závadné, ale přece jen se vyskytují i NO_x, které nejsou zdraví prospěšné. Těmito vybranými škodlivými látkami jsou napadány tělesné orgány, jako jsou plíce nebo sliznice, a přispívá ke špatnému dýchání. Jestliže se NO_x v atmosféře

vyskytuje ve větším množství, může to mít za následek více se projevujících astmatických záchvatů. Oxidy dusíku působí takřka shodně ve srovnání s látkami, jako jsou oxid dusičitý a oxid dusnatý. Tyto škodlivé látky se vytvářejí ve spalovacím prostoru motoru, kde při výskytu nadměrného množství kyslíku palivová směs hoří za přítomnosti velkých tlaků a také vysokých teplot. Během procesu hoření dochází k chemické reakci dusíku obsaženého v nasátém vzduchu, což má za následek jeho oxidaci. Většinou se obsah NO_x vyprodukovaný ve formě výfukových plynů navýší, pokud je snaha nějakým způsobem zasahovat do redukce spotřeby paliva. Regulace spotřeby paliva se dá dosáhnout kvalitnějším, a tím i efektivnějším spalováním palivové směsi ve spalovacím prostoru motoru, ale to samozřejmě probíhá za zvýšených teplot. Je možné pomocí aditiva, neboli také nazývané močoviny AdBlue, hodnoty NO_x , vyskytující se ve spalinách, snížit. [60], [66]

6.1.4 Oxid siřičitý (SO_2)

Oxid siřičitý je bezbarvá plynná látka, která není hořlavá, ale velice ostře zapáchá. Tato plynná látka má negativní zdravotní vliv na dýchací onemocnění. To, proto že na plíce a sliznici SO_2 velice aktivně působí. Redukce oxidu siřičitého ve spalinách docílíme tak, že se jako palivo do spalovacího motoru aplikuje palivo s nižší koncentrací síry. Ve větší míře vznik SO_2 byl zaznamenán u spalovacích motorů vznětových. Díky tomu, jak jsou motory i paliva stále vyvíjena a modernizována, je produkce této emisní látky ze spalovacích motorů celkem zanedbatelná. [2], [60]

6.1.5 Nespálené uhlovodíky (HC)

Nespálené uhlovodíky se skládají z mnoha různých látkových skupin. Těmi jsou například alkeny a alkany, které tvoří neškodlivou část a neohrožují zdravotní stav. Dále se v HC objevují aldehydy, jež jsou zdravotně velmi závadné a považují se za toxické látky. Nespálené uhlovodíky se vytvářejí ve spalovacím prostoru motoru při spalovacím procesu palivové směsi. Příčina tvorby HC nastává tehdy, pokud palivová směs ve válci je nedokonale spálena důsledkem takzvané bohaté směsi, kam je přivedeno více paliva v poměru s kyslíkem. Také některé složky HC mohou vznikat při chemické reakci okysličování přiváděného paliva. Vzhledem ke zdravotnímu stavu mohou vznikat škodlivé látky, pokud se nespálené uhlovodíky dostanou do atmosféry a projdou chemickým procesem ve spojitosti s oxidem dusíku za svitu slunečního paprsku. Tyto vytvořené škodlivé látky poté mohou napadat dýchací soustavu, a to především sliznici. [2], [60]

Nejvíce škodlivé jsou skupiny nespálených uhlovodíků, u kterých proběhne částečná chemická reakce okysličování látkových složek vzniklých při prvotním průběhu oxidace seskupených atomů tvořící uhlovodíkovou molekulu. Tento případ například nastává tehdy, pokud je nespálené palivo v bezprostřední blízkosti vnitřního povrchu válce zchlazeno. Některé HC tvoří další škodlivou skupinu látek, protože jsou karcinogenního charakteru. Dá se říci, že tuto skupinu HC lze považovat za tu nejvíce nebezpečnou. Komplexně se nazývají polycyklické aromatické uhlovodíky, zkráceně PAH. Vznikají při oxidaci. Tyto nespálené uhlovodíky se

dokáží navázat na pevné částice, což je také škodlivá emisní látka, a společně jsou vypouštěny do atmosféry. Do lidského těla se dostanou dýchacím ústrojím. PAH jsou tvořeny velkým množstvím různých rozdílně škodlivých látek. Benzo(a)pyren je nejspíš v PAH nejvýznamnější látkou. Veškeré ostatní látky této skupiny jsou s touto srovnávány z pohledu zdravotní škodlivosti. Další látky tvořící tuto skupinu jsou dibenzo(a,h)antracen, benz(a)anthracen, benzo(j)fluoranthén, benzo(k)fluoranthén a benzo(b)fluoranthén. [2]

6.1.6 Benzen (VOC – těkavé organické sloučeniny)

Benzen je těkavá látka spadající do organických sloučenin. Palivo, které je využíváno v zážehových spalovacích motorech, je benzin a tato sloučenina se v něm vyskytuje. Benzen jakožto škodlivá emisní látka vzniká jako důsledek nekvalitního prohoření paliva ve spalovacím prostoru a je vylučován ve spalínách. Jestliže se s benzinem, jakožto palivem v otevřeném prostředí manipuluje, tak benzen se z něj začne uvolňovat a koncentrovat do atmosféry. Hodnoty benzenu ve spalínách lze zredukovat tím, že se použije do zážehového motoru palivo s menším množstvím aromatických uhlovodíků. To proto, že v katalyzátoru anebo při spalování paliva dochází k vytváření benzenu, protože se v něj aromatické uhlovodíky ve formě značnějších molekul zčásti přetransformují. Oxid uhelnatý a oxidy dusíku jsou škodlivými emisními látkami, které lze v ovzduší zjišťovat podle naměřených hodnot benzenu. Benzen je zdraví nebezpečný. Napadá imunitní systém a nervovou soustavu. Také omezuje tvořivost krevního oběhu, a hlavně patří do skupiny rakovinotvorných látek. Z pohledu celkové struktury těkavých organických sloučenin mají na zdravotní stav špatný vliv kvůli mutagenním látkám a působnosti karcinogenu. [6], [66]

6.1.7 Pevné částice (PM – saze)

Pevné částice neboli také z anglického názvu „Particulate Matter“ mají pevnou strukturu ve formě sazí. Zážehové motory produkují podstatně méně pevných částic oproti motorům vznětovým. PM se skládají z menšího obsahu N, H₂O a síranu, také disponují jinými látkami, které nelze uvést, ale hlavně jejich složení je založeno na dvou typech uhlíků. Tím podstatnějším je ze 75 % hlavní uhlík a ten další je uhlík organický. Rozsah produkce a samotná struktura pevných částic je ovlivněna přídavným mechanismem nazývaného filtr pevných částic. Dále také záleží na tom, jaký motor je zkoumán z pohledu struktury PM. Částice popílku společně s tuhým uhlíkem tvoří vnitřní základ pevných částic. Tento seskupený základ PM vstřebává a sráží jednotlivé síranové, organické i jiné složky a tvoří z nich utužený povrch. Pevné částice jsou rozličných rozměrů. Vdechnutím nebo usazením v ústech, velkorozměrné částice svojí existenci ukončí. Horší jsou částice menších rozměrů, které se při vdechnutí mohou dostat až hluboko do plic a zanášet plicní kanálky. Tyto malé části nabývají rozměrů menších nežli 1 μm. Je možnost, že pokud jsou skutečně malých rozměrů, mohou se tyto částice vmísit až do mízní soustavy nebo i krevního oběhu. PM mohou nabývat i opravdu miniaturních rozměrů kolem 1 nm. V takovém případě mohou mít nepříznivý vliv na okolní prostředí, protože mohou být v kombinaci s dalšími škodlivými látkami dokonce i jedovaté. Pevné částice na sebe dokáží uchytit a vstřebat jiné různé prvky, které z nich dále vytvoří škodlivější látky

rakovinotvorného a genotoxického charakteru. Přes 90 % vyprodukovaných sazí může být menších rozměrů nežli 0,1 μm . Pevné částice zdravotně ovlivňují lidský organismus. Přivozují problémy v dýchací soustavě v důsledku napadání sliznice při vdechování pevně strukturalizovaných částic. Může nastat i celkové oslabení a dále pak onemocnění organismu. Také mohou častěji projevovat astmatické záchvaty. Pokud pevné částice působí na živý organismus v delší době a nejsou nijak redukovány, tak se začnou objevovat srdeční a plicní choroby, které vedou k selhání celého organismu a následnému usmrcení. Povolené množství působení pevných částic v prostoru, aniž by byl ohrožen zdravotní stav při dlouhodobém vystavení, je zhruba 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Při této hodnotě by pevné částice neměly podporovat vznik ani vývoj rakoviny. [2], [60], [66]

6.2 Způsoby redukce emisí spalovacího motoru

V rámci emisních limitů je nutné u vozidel využívajících spalovací agregát škodlivé látky ve spalinách různými způsoby snižovat. Redukce emisí může probíhat přímo v motorové části anebo také aplikováním přídavných zařízení na regulaci škodlivých látek, která jsou umístována ve výfukové části. V nynější době se již jedná o novém způsobu zapalování směsi, a to o mikrovlnném pulzním zapalování. Měla by existovat možnost snížení spotřeby paliva takřka o 30 % a škodlivé látky ve formě oxidů dusíku by měly být o 80 % zredukovány. Tento inovativní způsob zapalování paliva by měl být uzpůsobený pro zážehové a také vznětové motory. Možnosti, jak snížit tvorbu škodlivých emisí bez zásahu do konstrukce motoru a výfukové části, jsou stálost aerodynamiky vozidla, plynulý styl jízdy, využívat ve vozidle kvalitní palivo, k palivu přidávat aditiva, nenechávat dlouhodobě stojící vozidlo v činném stavu a další. [9], [32], [43], [65]

Zážehový spalovací motor společně s jeho komponenty by měl být vhodně konstruován a seřízen s ohledem na vznik škodlivin ve spalinách. Na výfukové plyny má vliv i vhodné dávkování palivové směsi. Palivo jako takové by nemělo obsahovat stopy škodlivých látek a mělo by být ve správném poměru smíšeno se vzduchem. Dále do každého válce by mělo být přiváděno stejné množství palivové směsi kvůli rovnoměrnému chodu motoru. Tím je snižován oxid uhelnatý. Ve spalovacím prostoru válce by měly být vhodně umístěny zapalovací svíčky. U zážehového motoru jsou kladeny požadavky na správné nastavení předstihu neboli okamžiku zapálení směsi. Toto má vliv jak na spotřebu, tak i na nespálené uhlovodíky a oxidy dusíku. [32]

Vznětový spalovací motor by měl mít také optimálně konstruovaný spalovací prostor, který má poté vliv na škodlivé plyny. U vznětového motoru je zapotřebí vhodně volit způsob vstříkávání paliva a regulovat jeho dávkování a tlak. Při vpravování paliva do spalovacího prostoru by měl být tlak co nejvyšší. K regulaci škodlivin přímo v motoru také napomáhá náležité rozmístění ventilu a jejich množství na jeden válec. Dalším opatřením ve vznětovém motoru může být řízení nasávaného vzduchu. I doba, při které jsou žhavicí svíčky aktivní, by měla být usměrňována. Vliv na zplodiny má také doba vstříku paliva, s tím spojené i množství vstříknutého paliva a počátek zahájení vstříkávání paliva.

Přídavná zařízení aplikována do výfukové části za spalovací motory, sloužící k regulaci škodlivých látek ve výfukových spalinách, jsou dále podrobněji popisovány. [65]

6.2.1 Oxidačně redukční katalyzátor

Oxidačně redukční katalyzátor neboli také třicestný katalyzátor se využívá u zážehových i vznětových motorů. Konstrukčně mají tělo vytvořeno z keramického materiálu. Jeho aktivní plocha je pokryta vrstvou buď platiny, paladia, nebo rhodia kvůli katalytické reakci. Na povrch je nanесena jen minimálně tenká vrstva katalytických kovů, protože jsou velice nákladné. Přesto je potřebné, aby aktivní plocha byla pokryta z co největší části. Tímto katalyzátorem vede velké množství průchodných malých kanálků, které umožňují průchod výfukových spalin. Aby oxidačně redukční katalyzátor správně fungoval, je zapotřebí ho zahřát na vhodnou provozní teplotu. Respektive je zapotřebí zvýšit teplotu spalin. [47]

Pracovní proces tohoto typu katalyzátoru je složen ze dvou etap. První etapou je redukce oxidů dusíku. Pokud atom oxidu dusnatého nebo oxidu dusičitého přijde do kontaktu s katalytickým povrchem v podobě platiny nebo jiných drahých kovů, tak se přetransformuje na dusík a kyslík. Druhá etapa zahrnuje oxidaci oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků. Ta opět probíhá, pokud se CO a HC dostanou do kontaktu s katalytickou látkou. Při tomto oxidačním procesu je molekula CO rozložena na oxid uhličitý a na nespálené uhlovodíky. Nespálené uhlovodíky jsou následně opětovně rozkládány pomocí oxidace na oxid uhličitý a vodní páru. Do výfukových spalin také lze přivádět látku na podporu redukce oxidů dusíku. Většinou se používá močovina, vodný roztok amoniaku nebo amoniak bez H₂O. Na Obr. 31 je popis konstrukce katalyzátoru a chemické rovnice již zmíněných reakcí s příslušnými škodlivinami. [47]



Obr. 31 Struktura katalyzátoru a jeho chemické reakce [33]

6.2.2 Sběrný katalyzátor

Sběrný katalyzátor neboli také nazývaný zásobníkový je většinou využit u zážehových spalovacích motorů, ale je aplikován i u vznětových motorů. Slouží k redukci oxidů dusíku. Především je aplikován ke spalovacím motorům, které mají systém vstřikování paliva FSI, což znamená vrstvené vstřikování paliva. Ze spalovacího motoru vede výfuková část, ve které je nejdříve umístěn redukčně oxidační katalyzátor a následně za ním je vložen sběrný katalyzátor. V tomto katalyzátoru je využívána reakční katalytická látka v podobě platiny nebo jiného drahého kovu, který umožňuje katalýzu. Třicestný katalyzátor není schopen přetransformovat

veškeré oxidy dusíku, proto se přidává zásobníkový katalyzátor. Tyto dva katalyzátory spolupracují a vytváří jeden celek, který je činný při optimální stechiometrické směsi. [1]

Při přímém vstřikování palivové směsi do spalovacího prostoru vzniká obohacená vrstvená směs. Následně palivová směs s vyšším obsahem vzduchu nežli je optimum směšovacího poměru hoří, a tak jsou vytvářeny nežádoucí oxidy dusíku. Oxidy dusíku se skládají z oxidu dusnatého a oxidu dusičitého. Oxid dusnatý, který následně přichází do kontaktu s katalytickým kovem, je důsledkem oxidace přetvořen v oxid dusičitý. Jestliže se ve výfukových spalinách vyskytuje přebývající kyslík, tak se oxid dusičitý začne vázat na oxidy baria a následně vznikají látky v podobě dusičnanů barnatého. V katalyzátoru jsou uchovány tak dlouho, dokud nenastane regenerace. Ta probíhá velmi často, téměř každou minutu, z důvodu kapacitních limitů. Obvykle se tento proces provádí obohacením směsi. Tím je ve výfukových spalinách navýšen obsah oxidu uhelnatého, který působí jako reakční činidlo. Dusičnany barnaté obsahují oxid dusičitý, se kterým zvýšená koncentrace oxidu uhelnatého následně reaguje. [1], [54]

6.2.3 Recirkulace spalin

U zážehového i vznětového motoru je možné provádět recirkulaci výfukových spalin dvěma způsoby. Při zpětném vpouštění výfukových plynů do spalovacího prostoru se smísí s nasávaným médiem, a tím je proces hoření ochlazován. Spaliny obsahují minimální množství kyslíku, a tak při smísení s nasávaným médiem nijak nereagují. Takto jsou redukovány oxidy dusíku, pevné částice, a dokonce jsou usměrňovány i hodnoty oxidu uhličitého. První metodou je vnitřní recirkulace spalin. Ta probíhá tak, že výfukový ventil zůstává otevřen při současném sacím procesu. Tím je do spalovacího prostoru zpětně vpuštěná část vytlačených spalin a zároveň je nasáta nová palivová směs nebo, pokud se jedná o přímé vstřikování, vzduch. Množství výfukových plynů, které jsou zpětně vedeny do spalovacího prostoru, se určuje dobou překrytí ventilů. Druhý způsob recirkulace spalin u zážehových motorů je vnější. Ten je aplikován, pokud vnější metoda recirkulace nedokáže spolehlivě redukovat oxidy dusíku na stanovené hodnoty. Tento způsob dokáže zredukovat až 60 % NO_x , ale za cenu zvýšení obsahu nespálených uhlovodíků, případně i pevných částic. Také je zapotřebí, aby byl u vnějšího zpětného vedení spalin vhodně nastaven předstih. Z hlediska spotřeby a kouřivosti je nutné zpětně vpouštět spaliny do spalovacího prostoru z maximálně 50 %. Přivedením většího množství by se spotřeba navýšila a vzrostl by právě obsah nespálených uhlovodíků, eventuálně PM následkem nedokonalého spalování. Celý proces recirkulace spalin je znázorněn Obr. 32. [4], [32], [65]



Obr. 32 Zpětné vedení výfukových plynů (upraveno) [59]

Ke spalovacím motorům se přidává k recirkulaci spalin EGR ventil. V minulosti byl řízen membránou a vznikl pod tlakem. V současnosti řídicí systém vozidla vyšle signál k malému elektrickému servomotoru, kterým je ovládáno přepouštěcí šoupátko. EGR ventil slouží k regulované průchodnosti spalin do sacího vedení. Pokud je uveden do stavu průchozího, tak jsou spaliny z výfukového potrubí podtlakem přisávány k čerstvému nasávanému médiu. Pokud je přivedeno do spalovacího prostoru určitý dostatek spalin, tak se EGR ventil uvede do neprůchozího stavu. Přepouštěním spalin do spalovacího prostoru se zmenší potenciální objem, a tak se sníží množství nasávaného média. To má za následek nižší spotřebu. Dále výfukové plyny snižují ve spalovacím prostoru teplotu spalování. Tím jsou redukovány oxidy dusíku ve spalinách. [46], [59]

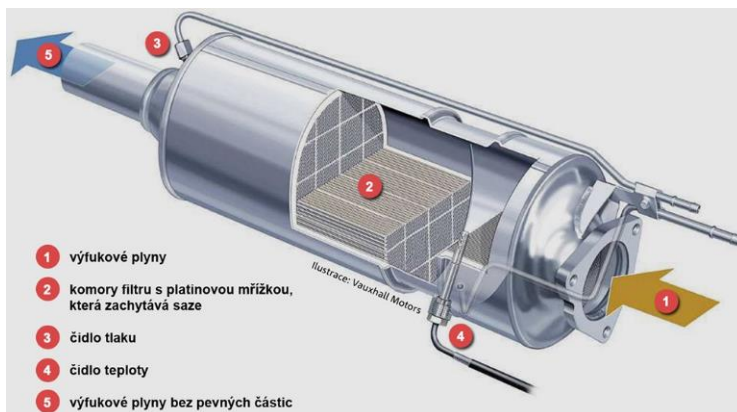
6.2.4 Oxidační katalyzátor (dvojčinný)

Oxidační katalyzátor se již využívá spíše jen u vznětových motorů. Tyto katalyzátory jsou většinou konstruovány z keramického nebo také kovového materiálu. Činný povrch těla katalyzátoru je potažen oxidem hliníku. Tím je zvýšena efektivnost a využita celá plocha tělesa. Na této vrstvě oxidu hliníku jsou nanесeny dva gramy platiny. Ta tvoří katalytický nános, který uvádí v působnost oxidační reakce bez jejího úbytku nebo degradace. Střed katalyzátoru je uzpůsoben na průchod výfukových spalin, a tak ho tvoří velké množství malých průchozích otvorů umístěných těsně vedle sebe.

Aktivní vrstva katalyzátoru způsobuje oxidaci oxidu uhelnatého. To má za příčinu rozložení oxidu uhelnatého na nespálené uhlovodíky a také na oxid uhličitý. Katalyzátor dokáže také zredukovat nespálené uhlovodíky. Proces přeměny probíhá opět na základě chemické reakce oxidace, kde jsou HC rozloženy na vodní výpary a oxid uhličitý. Oxidy dusíku jsou redukovány minimálně z důvodu, že spaliny obsahují i zbylý kyslík ve formě vzduchu. Teplota spalin, při které katalyzátor spolehlivě pracuje, se pohybuje od 250 °C až do 350 °C. Jenže zbylý vzduch ve spalinách má za následek, že je katalyzátor uváděn do provozu už při teplotě 170 °C. [65]

6.2.5 Filtr pevných částic

Filtr pevných částic se v současnosti aplikuje jak u vznětových motorů, tak i u většiny novějších zážehových motorů. Konstrukce filtru pevných částic, viz Obr. 33, je u vznětového i zážehového motoru stejná. Liší se od sebe pouze způsobem provádění regenerace. Obvykle je aktivní těleso vytvořeno z keramického materiálu anebo se



Obr. 33 Filtr pevných částic – struktura a popis [26]

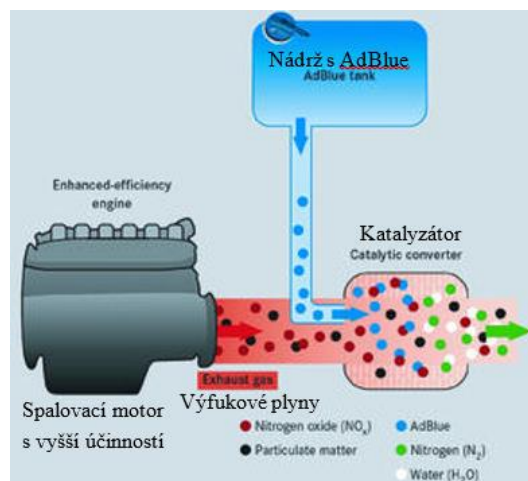
k jeho výrobě také využívá slinutých kovů. Tělesem je vedeno velké množství takzvaných kanálků. Ty jsou rozděleny na průchozí a neprůchozí. Aktivní povrch filtru pevných částic obsahuje póry. Tímto filtrem prochází spaliny mající v sobě jemné částičky sazí, které v pórech uváznou. Po určité době se filtr zanesení a je nutné provést jeho vyčištění. Zanesení filtru je kontrolováno senzorem diferenčních tlaků. Ten snímá tok výfukových spalin před a za filtrem. Pokud jsou získané hodnoty v určité rozlišnosti, tak řídicí systém vyhodnotí situaci k provedení regenerace. Kvůli těmto filtrům může vzrůstat i spotřeba paliva, nebo se dokonce snižovat výkonnost motoru důsledkem čisté neprůchodnosti spalin. [65], [72]

Filtr pevných částic, zkráceně DPF, umístěn za vznětovým motorem se regeneruje nuceným zvýšením teploty vstupujících spalin. Saze zachycené ve filtru hoří až při teplotě zhruba 550 °C, ale takových teplot nelze při běžném provozu u vznětových motorů dosáhnout. Maximální teplota proudících spalin při obvyklé činnosti dosahuje 400 °C. Pro navýšení teploty výfukových plynů se využívá dvou metod. Buď se sníží teplota téměř o 100 °C přidáním dávkovače k palivové soustavě s určitými aditivami, která jsou schopná při spalování zredukovat teplotu hoření sazí, nebo je naopak teplota výfukových spalin speciálně při regeneraci navýšena. To probíhá následným vstříknutím většího množství paliva do spalovacího prostoru anebo umístěním přídatného vstřikovacího zařízení do výfukového vedení. Regenerace probíhá za doprovodu zvýšené zátěže motoru. [65], [72]

Filtr pevných částic zážehových motorů je zkráceně nazýván GPF. Tyto filtry by se u zážehových motorů eventuálně nemusely vypalovat nuceně. Při obvyklém jízdním stylu produkuje zážehový motor výfukové plyny o celkově vyšší teplotě. To znamená, že filtr by měl být regenerován při běžném jízdním stylu kontinuálně. Také lze tento filtr vypalovat při motorovém brzdění. Pokud je zapotřebí provést nucené vypalování sazí z filtru, tak se do spalovacího prostoru přivede chudší palivová směs. Palivo u zážehových motorů má sekundární vlastnost ve spalovacím prostoru a to takovou, že dané prostředí zchlazuje. Teplota spalin se navýší tím, že je přivedeno méně paliva v poměru se vzduchem. [72]

6.2.6 Selektivní katalytická redukce

Metoda selektivní katalytické redukce neboli zkráceně SCR je aplikována u vznětových motorů. Na Obr. 34 je vidět celý proces selektivní katalytické redukce a jejího vlivu na emisní látky. V tomto redukčním systému emisí je aplikován přípravek AdBlue jakožto reakční činidlo. Toto kapalné médium je neškodného charakteru a ani nezanechává žádnou pachovou stopu. Teplota a vlhkost vzduchu mají vliv na spotřebování tohoto přípravku. Je strukturalizován z vody, ve které je obsažena močovina, a to v poměru 67,5 % vody a 32,5 % močoviny. Do protiproudu



Obr. 34 Schéma selektivní katalytické redukce (upraveno) [20]

výfukových plynů je AdBlue vpraveno před katalyzátorem prostřednictvím unášivého vzduchu a vstřikovacího zařízení. Ve spalinách poté rozkládá oxidy dusíku, respektive oxid dusnatý a oxid dusičitý. Pokud AdBlue přijde do kontaktu s horkými spalinami, tak nastane reakce v podobě rozkladu za spotřeby vody. Močovina se tak rozpadne na oxid uhličitý a čpavek neboli amoniak. Amoniak poté začne reagovat s oxidem dusnatým a oxidem dusičitým. Oxidy dusíku jsou následně přetransformovány na neškodlivé látky v podobě vodních par a dusíku. Efektivnost této metody redukce oxidů dusíku závisí na včasném a vhodném množství vpraveného média. [20], [25]

7 Praktická část

V praktické části jsou popsána obě testovaná vozidla. Tato část dále obsahuje popisy jednotlivých přístrojů a softwarů, které byly k získání potřebných hodnot aplikovány. Je zde také popsána využitá metoda měření emisí. Následuje vlastní zpracování hodnot a popis výsledků.

Hlavní podstatou této práce v praktické části je analyzovat dvě vozidla z pohledu vypouštění škodlivých emisních látek. Jedním z těchto testovaných vozidel je osobní automobil Toyota Yaris 1,5 VVT-i v provedení hybridního pohonu. Druhým vozidlem, sloužícím k porovnání výsledků, je osobní automobil Toyota Yaris 1,5 VVT-iE využívající k pohonu pouze zážehový motor. Obě tato testovaná vozidla mají srovnatelné technické parametry. Naměřené emisní hodnoty u vozidla mající pouze zážehový motor slouží ke komparaci s naměřenými emisními hodnotami vozidla využívající hybridního pohonu. Vozidla byla stejné automobilové značky, a dokonce i stejného typu, pouze s rozlišným systémem pohonné jednotky. Tato měření se celá odehrávala na válcovém dynamometru při spuštěném testovacím jízdním cyklu WLTP (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure), který je předepsán aktuální evropskou emisní normou.

7.1 Testovaná vozidla

Testovaná vozidla pochází z Japonské automobilky Toyota. Oba osobní automobily jsou stejného typového označení pod názvem Yaris. Jediné, v čem se od sebe liší, je systém pohonné jednotky. Jedno vozidlo totiž využívá kombinaci zážehového motoru a elektrického motoru, tudíž jeho pohon je označován za hybridní. V druhém vozidle je aplikován konvenční zážehový spalovací motor. Obě testovaná vozidla byla téměř nová s nájездem do pěti tisíc kilometrů. V Tab. 3 je souhrn základních parametrů obou testovaných vozidel k jejich možnému porovnání.

| - | | <i>Toyota Yaris 1.5 VVT - i Hybrid</i> | | <i>Toyota Yaris 1.5 VVT - iE</i> |
|----------------------------------|--------|--|---------------------|----------------------------------|
| | | <i>Zážehový motor</i> | <i>Elektromotor</i> | <i>Zážehový motor</i> |
| Rok výroby | [Rok] | 2017 | | 2017 |
| Točivý moment | [Nm] | 111 | 169 | 136 |
| Výkon (celkový) | [kW] | 55 | 19 | 82 |
| Maximální rychlost | [km/h] | 165 | | 175 |
| Akcelerace (0 - 100 km/h) | [s] | 11,8 | | 11 |
| Hmotnost | [kg] | 1 055 | | 1 115 |

Tab. 3 Souhrn základních parametrů testovaných vozidel [70]

7.1.1 Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid

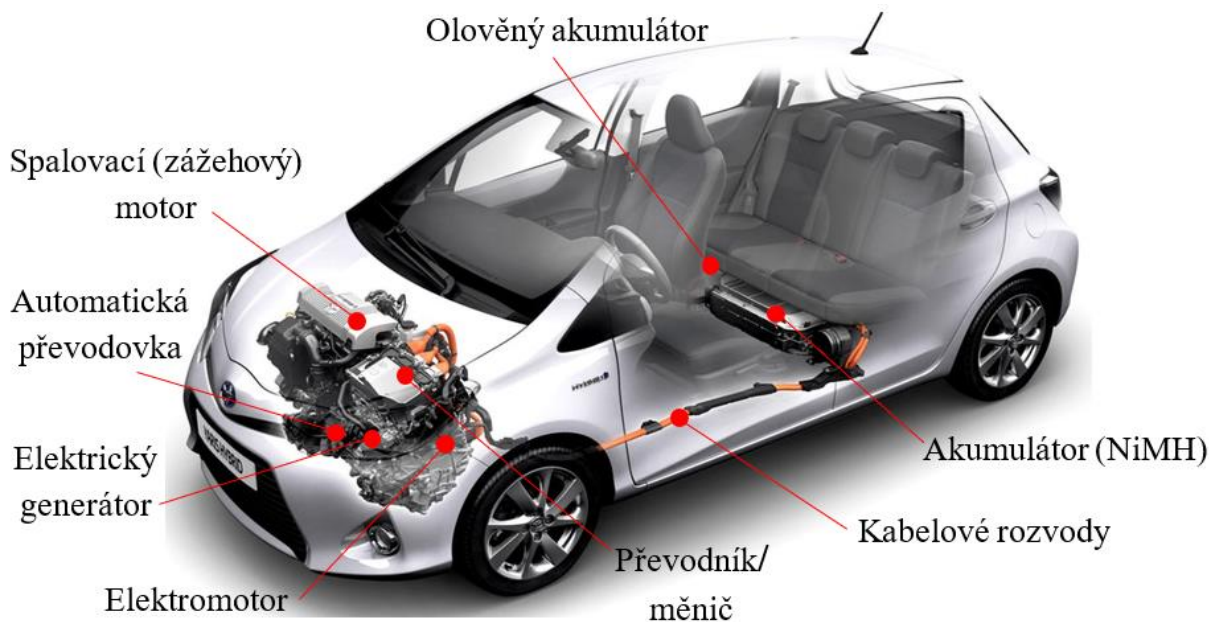
| | |
|---------------------------------|----------|
| Rok výroby: | 2017 |
| Výkon: | 74 kW |
| Maximální rychlost: | 165 km/h |
| Akcelerace (0–100 km/h): | 11,8 s |



Obr. 35 Toyota Yaris 1,5 VVT-i Hybrid [70]

Toyota Yaris v hybridním provedení, viz Obr. 35, je osobní vozidlo, ve kterém je aplikován k pohonu jak elektrický, tak spalovací motor. Elektrický motor je typizován jako synchronní motor s permanentními magnety. Spalovací motor je konvenční zážehový čtyřválcový řadový motor o zdvihovém objemu $1\,497\text{ cm}^3$ a kompresním poměru 13,4:1. Toyota Yaris má hnací nápravu uloženou v přední části vozidla. Toto vozidlo splňuje inovovanou evropskou emisní normu EURO 6c. Při $4\,000\text{ min}^{-1}$ je udáván maximální točivý moment 111 Nm pouze u zážehového motoru. U elektrického motoru je udáván maximální točivý moment 169 Nm. K přenosu točivého momentu využívá automatickou pětistupňovou převodovku s označením e – CVT. Výkon je tvořen kombinací elektrického a zážehového motoru, přičemž samotný zážehový motor disponuje výkonem 55 kW. Při jízdě mimo město je výrobcem uváděna spotřeba paliva kolem 3,3 litrů/100 km a při jízdě po městě by se spotřeba paliva měla pohybovat kolem 3,1 litrů/100 km. Jízda po městě je v tomto případě úspornější než mimo město z důvodu využívání zpětně získané energie z brzdění či zpomalování vozidla. Při konstantní plynulé jízdě je možné se pohybovat čistě na elektrický pohon. Do okolního prostředí odvádí kolem 75 g/km oxidu uhličitého, který je obsažen ve výfukových spalínách. Toyota do tohoto vozidla zavedla inovativní systém ochlazování výfukového vedení. Tím odpadá obohacování palivové směsi. Vozidlo je dlouhé 3,945 m, široké 1,695 m a vysoké 1,510 m. Rozvor hnací a hnané nápravy je 2,510 m. V pohotovostním stavu váží 1 055 kg. [70]

Na Obr. 36 je zobrazené schéma uspořádání jednotlivých částí pohonného hybridního systému vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid. V přední části vozidla se nachází zážehový spalovací motor propojený s elektrickým generátorem a elektromotorem přenášející točivý moment na hnací ústrojí přes automatickou e – CVT převodovku. Nad elektromotorem a generátorem je umístěn měnič či převodník elektrické energie (střídavý či stejnosměrný elektrický proud). Z toho vedou oranžové kabely, jenž napájí vysokým napětím akumulátor nebo je prostřednictvím nich energie dodávána elektromotoru. To znamená, že vedou stejnosměrný proud mezi převodníkem či měničem a akumulátorem. Také vedou střídavý proud mezi měničem či převodníkem a elektromotorem, případně elektrickým generátorem. Tyto vysokonapěťové kabely vedou k nikl-metal hydridovému akumulátoru umístěného pod zadními sedadly vozidla. Tento akumulátorový svazek se skládá z dvaceti článků zapojených do série, kde jeden článek má napětí 7,2 V. Napravo od akumulátorů je uložen konvenční olověný akumulátor o napětí 12 V, který obstarává pouze nízkonapěťová zařízení. [71]



Obr. 36 Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid – schéma rozložení jednotlivých částí hybridního pohonného systému (upraveno) [35]

7.1.2 Toyota Yaris 1,5 VVT-iE

| | |
|---------------------------------|----------|
| Rok výroby: | 2017 |
| Výkon: | 82 kW |
| Maximální rychlost: | 175 km/h |
| Akcelerace (0–100 km/h): | 11 s |



Obr. 37 Toyota Yaris 1,5 VVT-iE [70]

Osobní vozidlo Toyota Yaris 1,5 VVT-iE, viz Obr. 37, disponuje konvenčním řadovým čtyřválcovým zážehovým motorem o zdvihovém objemu 1 496 cm³. Kompresní poměr tohoto spalovacího motoru je 13,5:1. Maximální točivý moment, který je spalovacím motorem při 4 400 min⁻¹ vytvářen, dosahuje 136 Nm. Maximálního výkonu je dosaženo při 6 000 min⁻¹. Toto vozidlo má hnací nápravu umístěnou v přední části vozidla. Přenos točivého momentu motoru na hnací kola je uskutečněn prostřednictvím šestistupňové manuální převodovky. Pokud se jedná o předjíždění, dokáže vozidlo akcelarovat z 80 km/h na 120 km/h za 17,6 s při zařazeném pátém převodovém stupni. I tento typ vozidla splňuje požadavky nynější emisní euro normy EURO 6c. Jednotlivé hodnoty spotřeby paliva jsou udávány výrobcem. Při jízdě po městě by se spotřeba paliva měla pohybovat kolem 6,3 litrů/100 km. Jízdou mimo město by měla spotřeba paliva klesnout na 4,1 litrů/100 km. A kombinovaná spotřeba paliva je uváděna kolem 4,8 litrů/100 km. Toto vozidlo uvolňuje do atmosféry přibližně 112 g/km oxidu uhličitého ve formě výfukových plynů. Stejně jako hybridní model, má i tento model se zážehovým motorem inovovaný systém ochlazování výfukového potrubí. Hmotnost tohoto vozidla činí 1 115 kg. Parametry jako délka, šířka, výška a rozvor náprav je totožná s parametry hybridního modelu. [70]

7.2 Aplikované měřicí přístrojové a softwarové vybavení

Tyto měřicí přístroje a softwary byly využity při měření jednotlivých vozidel k získání dat emisí složek. Na válcové zkušebně neboli též nazývaném válcovém dynamometru, byla uskutečňována testovací jízda. Před testované vozidlo byl umístěn ventilátor zajišťující přívod vzduchu, jenž působí na vozidlo jako při reálné jízdě. To znamená, že má vliv na chlazení motoru a je nezbytným elementem ve spalovacím procesu. Plynový analyzátor byl využit k získávání emisních údajů prostřednictvím zavedené trubice do výfukové koncovky. Do výfukové koncovky byla také umístěna sonda od přístroje EEPS, který stanovuje hodnoty pevných částic. Z diagnostického hlediska bylo využito zařízení Bosch společně s příslušným softwarem k diagnostickým účelům vozidla a záznamu jeho potřebných parametrů. Jako konfigurační a ovládací pro válcovou zkušebnu bylo využito ovládací centrální skříň a softwaru ControlWeb. Dále byly použity softwary potřebné k vyhodnocování a zaznamenávání měřených hodnot z výfukových plynů prostřednictvím plynového analyzátoru a přístroje EEPS.

7.2.1 Válcová zkušebna

Válcová zkušebna, také nazývaná jako válcový dynamometr, viz Obr. 38, je konstruován tak, aby hnací kola vozidla mohla být bez komplikací uložena mezi dva válce. Tento válcový dynamometr je pouze jednonápravový, ale existují válcové zkušebny dvounápravové. Válce jsou umístěny za sebou a jsou vzájemně propojeny řetězem. Jeden z válců, většinou ten první, je



Obr. 38 Válcový dynamometr (zkušebna)

opatřen rýhovaným povrchem na obou koncích válce, většinou v úrovni kol vozidel. To kvůli přijatelné přilnavosti hnacích kol vůči povrchu válce. Z jedné strany obou válců jsou umístěny setrvačníky s možností regulace a zároveň s jsou s válci propojeny. Tím je následně u vozidla simulována jeho setrvačná síla. Na opačné straně, než jsou setrvačníky, je jeden z válců propojen se stejnosměrným elektromotorem. Ten například simuluje odpor vzduchu, který nastává při reálné jízdě. Druhý válec je vybaven vířivou brzdou, jež je využívána ke statistickému měření výkonu. V Tab. 4 jsou uvedeny jednotlivé parametry využití válcové

zkušebny. Válcový dynamometr je spouštěn a ovládán vzdáleně pomocí centrální ovládací skříně a softwaru ControlWeb. [48]

| - | | <i>Stejnoseměrný elektrický motor</i> | <i>Výřivá brzda</i> | <i>Tenzometr</i> | <i>Nastavení setrvačnicků</i> |
|-------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Maximální brzdný výkon | [kW] | 56 | 125 | - | - |
| Maximální brzdný moment | [Nm] | 305 | 478 | | |
| Maximální otáčky | [min ⁻¹] | 3 000 | 8 000 | | |
| Jmenovité zatížení | [kN] | - | | 2 | - |
| Přesnost | [%] | - | | 0,5 (jmenovitého zatížení) | |
| Opakovatelnost | [%] | - | | 0,05 | |
| Základní simulovaná hmotnost | [kg] | - | | | 680 |
| Přídavné hmotnosti | [kg] | - | | | 112,5 |
| | | | | | 120 |
| | | | | | 225 |
| | | | | | 450 |
| | | | | | 900 |

Tab. 4 Parametry válcového dynamometru ČZU [48]

Na Obr. 39 je vidět centrální ovládací skřín, kterou je primárně ovládán a konfigurován válcový dynamometr. Pomocí tohoto zařízení jsou na válcové zkušebně přidávány potřebné hmotnosti setrvačnicků, které se volí s ohledem na hmotnost testovaného vozidla.



Obr. 39 Centrální ovládací skřín pro válcový dynamometr

Pomocí centrální ovládací skříně je také ovládáno zařízení pro ustavení vozidel na válce, viz Obr. 40. Toto zařízení je uváděno do činného stavu prostřednictvím pneumatických motorů.



Obr. 40 Válcová zkušebna – ustavovací zařízení vozidel

7.2.2 Odsávací ventilátor FILCAR AL – 1500/C

Pokud je vozidlo umístěno a zajištěno na válcovém dynamometru, je před něj umístěn výkonný vzduchový odsávací ventilátor, viz Obr. 41. Tento odsávací ventilátor má přivádět vzduch, který vozidlo potřebuje k ochlazování spalovacího motoru při jeho činnosti. Jednotlivé parametry odsávacího ventilátoru FILCAR AL – 1500/C jsou obsaženy v Tab. 5. [48]



Obr. 41 Odsávací ventilátor FILCAR AL - 1500/C

| - | | <i>Odsávací ventilátor FILCAR AL - 1500/C</i> | |
|-----------------------------|----------------------|---|-----|
| Maximální sací výkon | [m ³ /h] | 12 000, (3 800 až 12 000) | |
| Napajení | [V] - 3 f. (50 Hz) | 230/400 | |
| Příkon | [kW] | 11 | |
| Otáčky elektromotoru | [min ⁻¹] | 2 800 | |
| Hlukčnost | [dB] | 89 | |
| Hmotnost | [kg] | 203 | |
| Průměr průrub | Sací | [mm] | 380 |
| | Výfuk | [mm] | 380 |

Tab. 5 Parametry odsávacího ventilátoru FILCAR AL - 1500/C [55]

Tento odsávací ventilátor je spouštěn spínací skříní, která je znázorněna na Obr. 42. Jeho působení je automaticky řízeno podle rotujících válců na válcovém dynamometru či pomocí softwaru ControlWeb.



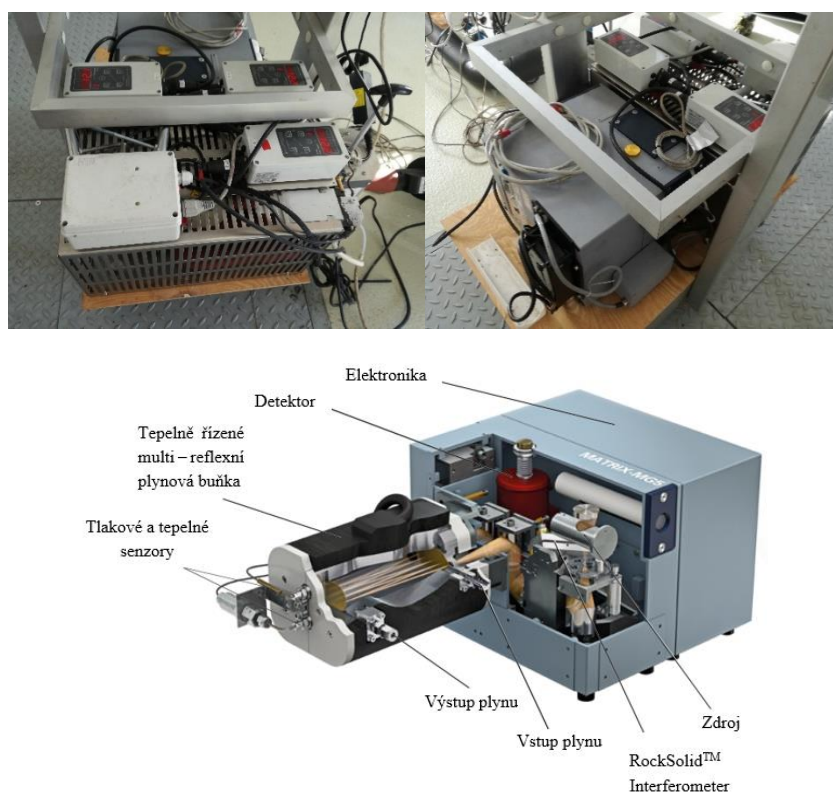
Obr. 42 Odsávací ventilátor – spouštěcí a řídicí skřín

7.2.3 Plynový analyzátor MATRIX MG – 5

Plynový analyzátor MATRIX MG – 5 neboli též FTIR představuje infračervenou spektroskopii s Fourierovou transformací. Tento přístroj kontroluje a stanovuje prostřednictvím příslušného softwaru množství jednotlivých plynných složek obsažených ve výfukových spalinách. Tento proces se odehrává ve skutečném časovém rozhraní. Plynné složky proudící tímto zařízením v koncentrovaném skupenství od jedné miliontiny až po sto procent jsou plynovým analyzátozem detekovány a množstevně určovány. U spektrálního rozlišení 0,5 cm⁻¹

dokáže tento přístroj zajišťovat za jednu sekundu až 5 spekter. Při spektrálním rozlišení 4 cm^{-1} je možné měřit během jedné sekundy až 30 spekter. [48]

Tento přístroj je zkonstruován tak, aby se testované plynné složky mohly plynule obměňovat. Tím je umožněna cirkulace plynného média, a tudíž je tento přístroj vhodný pro využití k detekce výfukových spalin. Struktura přístroje je tvořena z poniklované komory, kterou prochází plynné médium, a odrazových neboli reflexních galvanicky potažených článků s dosahem 5 m. Pro komplikované parametry měřeného média lze konstrukčně řešit plynovou buňku z nerezové oceli. Tento přístroj využívá k vyhodnocování a ovládání software OPUS GA. V nitru plynné komory jsou umístěny tlakové a teplotní senzory. Ty odesílají softwaru shromážděné informace v průběhu měření. Na Obr. 43 je vidět plynový analyzátor, jak vypadá při měření, a popis jeho částí. Jednotlivé parametry plynového analyzátoru jsou znázorněny v Tab. 6. [48], [50]

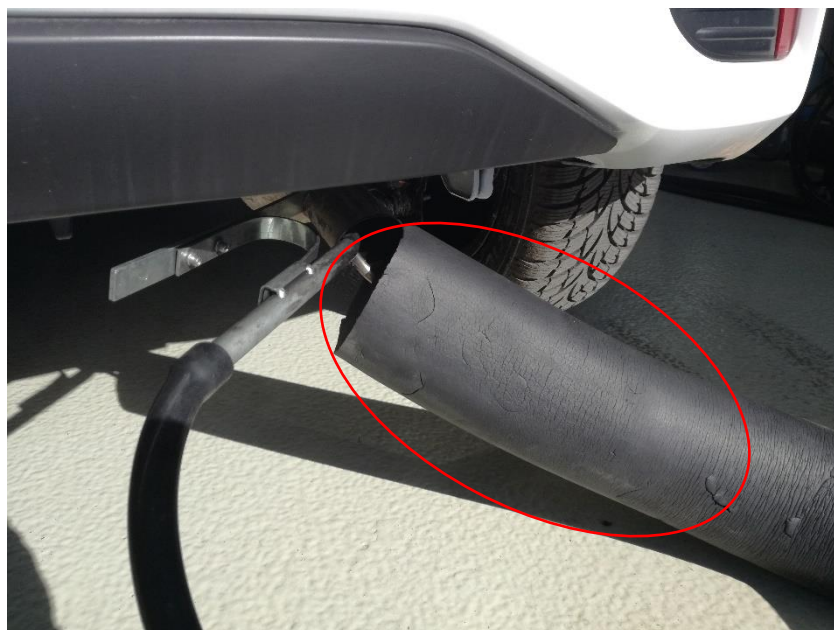


Obr. 43 Plynový analyzátor MATRIX MG – 5 - popis (upraveno) [49]

| - | | | <i>Plynový analyzátor MATRIX MG – 5</i> |
|--------------------|--|--|---|
| <i>Specifikace</i> | Délka optické dráhy v plynové buňce | [m] | 5 |
| | Maximální teplota plynového článku | [° C] | 191 |
| | Hmotnost | [kg] | 29 |
| <i>Výkon</i> | Spektrální rozsah | [cm ⁻¹] | 4 800 - 750 |
| | Detektor | [-] | Kapalným dusíkem chlazený MCT |
| | Optimální spektrální rychlost | [spektra/s] ve spektrálním rozlišení 4 [cm ⁻¹] | 30 |
| | | [spektra/s] ve spektrálním rozlišení 0,5 [cm ⁻¹] | 5 |
| | Spektrální rozlišení | [cm ⁻¹] | Lepší jak 0,05 |
| | Fotometrická přesnost | [%] | Lepší jak 0,1 |

Tab. 6 Parametry plynového analyzátoru MATRIX MG - 5

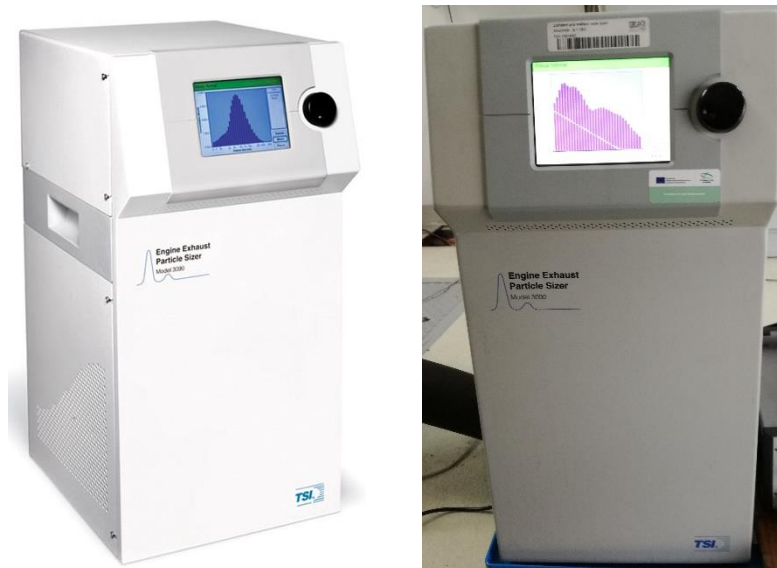
Do plynového analyzátoru je napojena izolovaná hadice. Jeden konec je připevněn k měřicímu přístroji a druhý je opatřen sondou, kterou tvoří kovová trubice. Tato sonda je před měřením vsunuta do koncovky výfukového potrubí. Její zásluhou jsou při měření emisní látky přiváděny do plynového analyzátoru. Tato sonda je vyhřívána. Na Obr. 44 je vidět sonda umístěná v koncovce výfukového potrubí. [48]



Obr. 44 Sonda od plynového analyzátoru

7.2.4 Spektrometr velikosti pevných částic – EEPS

Spektrometr velikosti pevných částic z výfukových plynů (EEPS – The Engine Exhaust Particle Sizer) je znázorněn na Obr. 45. Je to přístroj, pomocí kterého je zjišťována charakteristika a množství pevných částic obsažených ve výfukových plynech. U měnících se pevných částic je zkoumána velikost, jejich kvantita a hmotnost při působení atmosférického tlaku. Tento spektrometr pevných částic dokáže frekvencí 10 Hz vyhodnocovat rozměrnost pevných částic, a lze tak aplikovat u proměňujících se stavů při měření. Tento přístroj je vybaven koronovým unipolárním rozptylovým nabíjením, čímž jsou pevné částice kladně nabity. Částice jsou usměrňovány a přitom i oddělovány proudem vzduchu a elektrickými póly elektroměrů. Přístroj je vybaven dvaadvaceti vedle sebe zapojenými elektroměry, které slouží k vyhledávání elektricky nabitých částic. Velikost pevných částic se v přístroji rozlišuje inverzí dat. Tento spektrometr dokáže rozlišit velikosti od 5,6 nm až po 0,56 μm . Množství pevných částic obsažených ve výfukových plynech je snímáno v několika vrstvách. Pro získání přesných měřených hodnot pevných částic je nutné zvolit jednu vhodnou převraccující matici ze tří. Celý průběh získávání dat probíhá v reálném čase. V Tab. 7 jsou uvedeny technické parametry spektrometru velikosti pevných částic. [29], [34]



Obr. 45 Přístroj EEPS – spektrometr velikosti pevných částic z výfukových plynů [28]

| | | <i>Spektrometr velikosti pevných částic (EEPS)</i> |
|--|----------------------|--|
| Rozmezí velikosti měřených částic | [nm] | 5,6 - 560 |
| Počet elektromagnetických kanálů | [-] | 22 |
| Režim nabíjení za provozu | [-] | Unipolární difuzní nabíječ |
| Časové rozlišení | [dělení velikosti/s] | 10 |
| Průtok vzorku | [l/min] | 10 |
| Vstupní teplota vzorku | [° C] | 10 - 52 |
| Provozní teplota | [° C] | 0 - 40 |
| Tlak | [kPa] | 70 - 103 |
| Vlhkost | [%] | 0 - 90 (bez kondenzace) |
| Rozměry (v x š x h) | [mm] | 704 x 343 x 439 |
| Hmotnost | [kg] | 32 |
| Ředění | [-] | Termoředička konající rotační pohyb |

Tab. 7 Parametry spektrometru velikosti pevných částic (EEPS) [29]

Výfukové spaliny jsou sbírány pomocí trubicové sondy EEPS, jež se před měřením uloží do koncovky výfukového potrubí vedle sondy plynového analyzátoru. Umístění sondy, která je součástí přístroje EEPS, do koncovky výfukového potrubí je vidět na Obr. 46. Opačný konec této sondy vede do rotačního termoředicího přístroje, kde se promísí výfukové spaliny se vzduchem. Toto zařízení je součástí přístroje EEPS. Termoředicí zařízení je oblast, ve které jsou spaliny upraveny na vzorek, který je odeslán k měření a vyhodnocení do přístroje EEPS. Pomocí toho zařízení jsou výfukové plyny, respektive pevné částice vycházející z výfukové koncovky vozidla, vhodně děleny dle velikosti a také jejich množstevního výskytu. Následně jsou pevné částice dané velikosti a koncentrace přiváděny do přístroje EEPS. Díky tomu je měření uskutečněno korektně. V tomto zařízení lze zkoumat jak semivolatilní, tak i těkavé frakční podíly kvůli regulovatelné teplotě ředění. Na Obr. 47 je vidět termoředicí přístroj, nazývaný také jako ředička. [29]



Obr. 46 Sonda (trubice) - příslušenství přístroje EEPS



Obr. 47 Termoředicí zařízení – příslušenství přístroje EEPS [29]

7.2.5 Diagnostické zařízení Bosch KTS 520

Diagnostické zařízení Bosch KTS 520, viz Obr. 48, je dílenský hardware sloužící k víceúčelové diagnostice vozidel. Také se nazývá multiplexer. V tomto zařízení jsou zapojeny z každé strany dva kabely. Jeden z nich je opatřen koncovkou OBD II, která se vsune do zásuvky diagnostického standardu OBD II a propojí se s řídicí jednotkou diagnostikovaného vozidla. Druhý poté vede přes rozhraní USB do PC či notebooku. Prostřednictvím tohoto zařízení a příslušného softwaru ESI [tronic] jsou získávána data o stavu vozidla nebo jeho závady. Toto zařízení disponuje indikátory o stavu napájení a také o tom, v jakém režimu se zařízení nachází. Toto diagnostické zařízení v kombinaci se softwarem ESI [tronic] podporuje diagnostické protokoly, jež jsou znázorněny v Tab. 8. K diagnostickému zařízení Bosch KTS 520 je možné připojit také multimetr. [44]



Obr. 48 Bosch KTS 520 [21]

| - | <i>Diagnostické zařízení Bosch KTS 520</i> |
|------------------------|---|
| Diagnostické protokoly | ISO - systémy evropských vozidel |
| | SAE - systémy pro americká a japonská vozidla |
| | CAN - protokoly pro testování stavu techniky |

Tab. 8 Bosch KTS 520 - diagnostické protokoly [21]

7.2.6 Softwarové vybavení

Následující jednotlivé softwary byly využity k získávání a zaznamenávání dat vystupujících z jednotlivých měřicích přístrojů. Některé také sloužily i k ovládní a nastavení aplikovaných měřicích přístrojů.

7.2.6.1 Diagnostický software ESI [tronic] 2.0

Tento diagnostický software přísluší k diagnostickému zařízení KTS 520. Tento software je nainstalován na PC či na notebooku, který je vhodnější kvůli manipulaci. Software poskytuje diagnostiku vozidel, odhalování závad vozidla a nabízí také vhodný návod k rychlé opravě nebo také návody k údržbě vozidla. Software ESI [tronic] 2.0, viz Obr. 49, má čtyři sektory. Je to diagnostika – SD, zjišťování chyb vozidla – SIS, servis – M a schémata komfortních systémů, kde je znázorněno jejich zapojení – P. Také jednoduše vyhledává diagnostikovaná vozidla. Je provozuschopný jak pro osobní vozidla, tak i pro užitková vozidla. Za jízdy lze zjišťovat různé parametry diagnostikovaného vozidla, a tak zjišťovat jeho stav. Tento software ESI [tronic] 2.0 komunikuje s diagnostickým zařízením KTS 520 prostřednictvím USB kabelu. Příslušné hodnoty testovaného vozidla se zaznamenávají do textových souborů. [30]

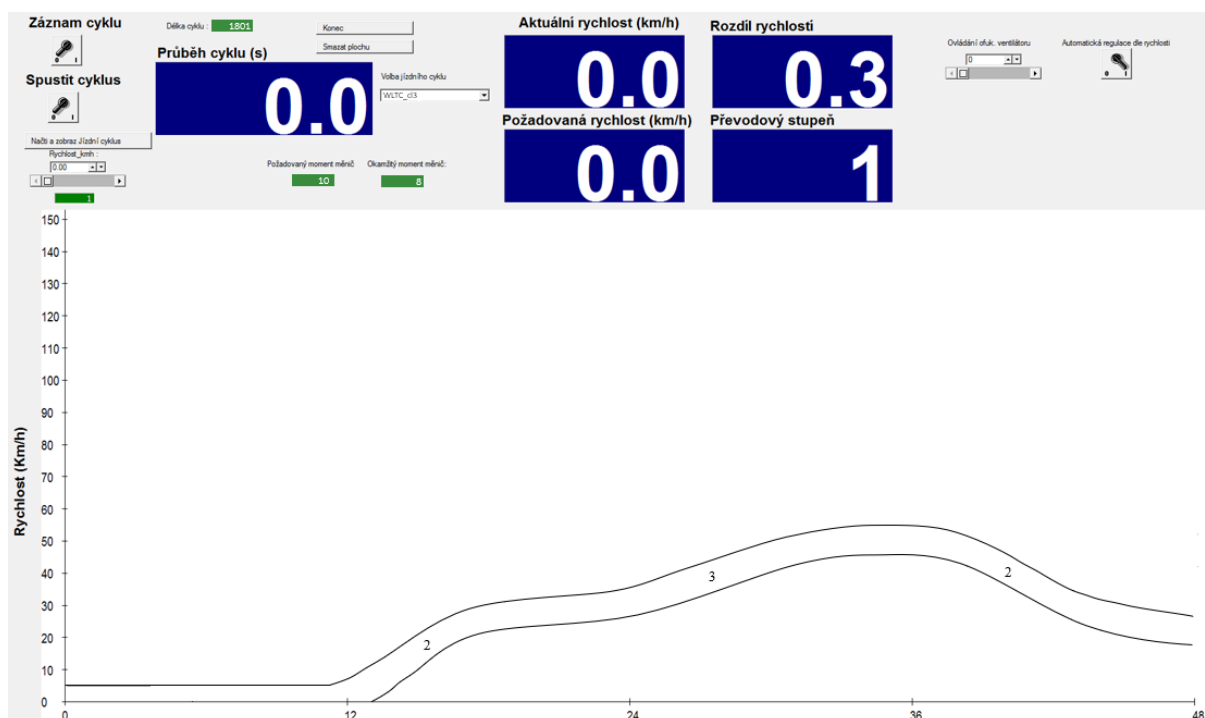


Obr. 49 Diagnostický software ESI [tronic] 2.0

7.2.6.2 ControlWeb – Jízdní cykly

ControlWeb, viz Obr. 50, je počítačový software, který byl vyvinut místními zaměstnanci České zemědělské univerzity působící na Katedře vozidel a pozemní dopravy. Válcový dynamometr se prostřednictvím tohoto softwaru nastavuje. Také slouží ke shromažďování a zaznamenávání dat získaných v průběhu měření z válcového dynamometru. V tomto softwaru je mnoho funkčních ukazatelů. Umožňuje určit a následně zobrazit dle otáček válců válcového dynamometru teoretickou rychlost testovaného vozidla. Software zobrazuje jízdní cyklus a jeho rychlostní rozmezí měnící se v průběhu času. V tomto rychlostním rozmezí se testovaný vůz musí pohybovat. Dokonce tento počítačový program upozorňuje řidiče na vhodné zařazení převodového stupně při dané rychlosti závislé na plynoucím skutečném čase. Vozidlo je testováno dle jízdních cyklů, které jsou prostřednictvím tohoto softwaru zobrazovány obsluze testovaného vozidla. Tímto softwarem

lze také ovládat výkon odsávacího ventilátoru. Data získaná prostřednictvím tohoto softwaru z válcového dynamometru jsou ukládána do souborů, které je možné otevřít programem Excel. [48]



Obr. 50 Software ControlWeb

7.2.6.3 OPUS GA

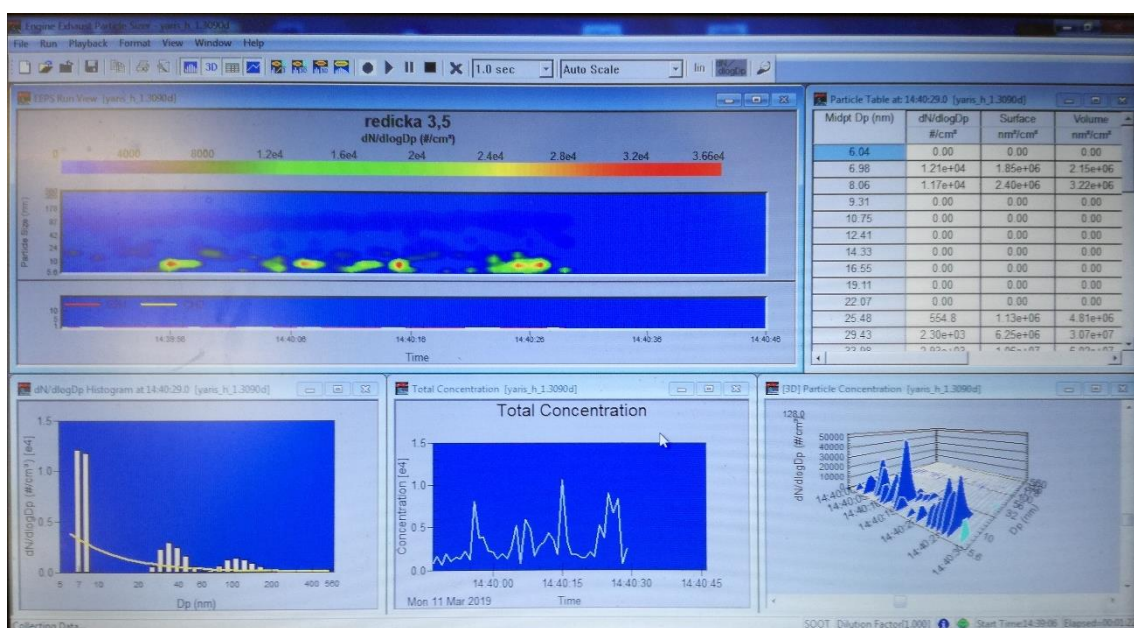
Tento software nazývaný OPUS GA (Gas Analysis), viz Obr. 51, který ve spolupráci s plynovým analyzátozem Matrix MG – 5 stanovuje množství jednotlivých plynných látek. Při skutečném časovém průběhu OPUS GA dokáže přijímat data, která jsou odesílána z měřicího přístroje. V tomto počítačovém programu jsou jednotlivé údaje automaticky zaznamenány. Program slouží též k identifikaci a analýze množstevního toku plynných sloučenin. Získané hodnoty jsou zaznamenávány do textových souborů. [48]



Obr. 51 Software OPUS GA [48]

7.2.6.4 Software EEPS

Pomocí softwaru Engine Exhaust Particle Sizer, viz Obr. 52, jsou naměřená data spektrometrem shromažďována a dále vyhodnocována. Také jím lze spektrometr ovládat a nastavovat. Během měření se data mohou zobrazovat na displeji v několika možných formách. Na displeji se také zobrazují různé parametry přístroje potřebné k měření. Data lze zobrazit jako průběh při měření, hodnoty v tabulkách, histogram, komplexní koncentrace anebo v grafickém provedení. Náhled na průběh měření je uzpůsoben k rychlé kontrole. Hodnoty v tabulkách pak obsahují pro každou velikost částic jejich množství. Dále se v nich uvádí i plocha, objem a hmotnost po uvedení efektivní hustoty. Dokáže pro komplexní koncentraci pevných částic s rozlišením jednotlivých hmotností vyhodnocovat statistiky. Pomocí histogramu budou tyto statistiky zobrazeny. Jejich rozhraní lze vytvořit tabulkovými hodnotami. Grafické 3D rozhraní znázorňuje koncentraci a velikost vyhodnocených pevných částic v závislosti na čase. Tato zobrazovací rozhraní lze vidět na Obr. 52. V tomto softwaru lze nastavit začátek měření nebo ho spustit manuálně na přístroji, či dálkově. Software může být spuštěný maximálně 90 minut s tím, že dobu měření lze navolit. Měřené hodnoty jsou následně zapisovány do souboru, který lze otevřít v programu MS Office Excel. [29]



Obr. 52 Software Engine Exhaust Particle Sizer (EEPS)

7.3 Metodika měření

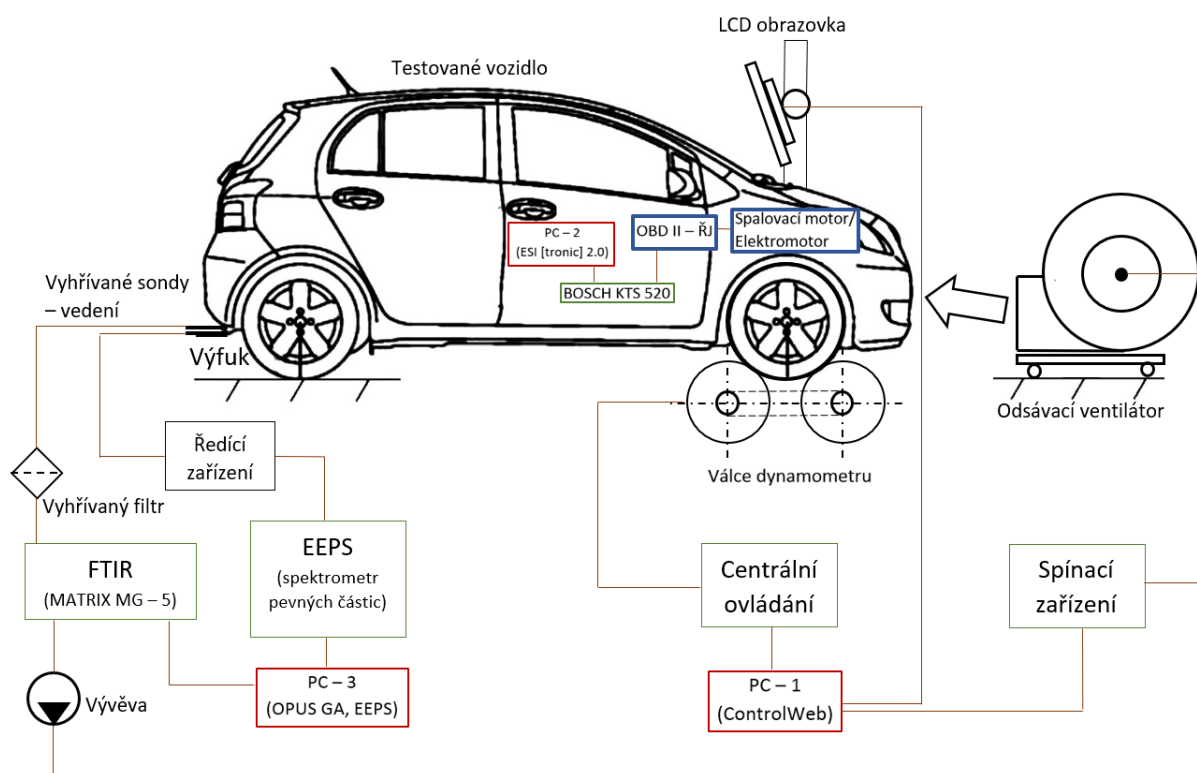
Následně popsané měření bylo provedeno na dvou vozidlech. Vozidla se od sebe lišila pohonným systémem. Bylo uskutečněno měření emisí u vozidla s hybridním pohonem a poté u vozidla využívající k pohonu konvenční zážehový motor. Získané hodnoty emisí hybridního vozidla jsou dále porovnány s emisními hodnotami konvenčního vozidla. U obou vozidel bylo totožné měření provedeno třikrát. Výsledně naměřené hodnoty byly zprůměrovány a použity k dalšímu zpracování.

Nejprve bylo na oba válce válcového dynamometru ustaveno vozidlo pomocí ustavovacího zařízení koly hnací nápravy. Vozidlo bylo nutné testovací jízdou urovnat, aby bylo ustaveno kolmo vůči válcovému dynamometru. Poté se válcový dynamometr nakonfiguroval prostřednictvím centrální ovládací skříně, přičemž byla nastavena hmotnost jednotlivých setrvačnicků 120 kg a 450 kg vůči celkové hmotnosti testovaného vozidla. Následně bylo vozidlo příslušnými prvky zabezpečeno proti pohybu. Na zajišťovaném vozidle bylo nainstalováno tažné oko. Jako zabezpečovací prvky byly použity tandemové upínací pásy. Jedny konce pásů se háky zavlékly za tažné oko vozidla a opačné konce pásů uchytily háky za šrouby s okem, které byly pevně usazeny v betonové podlaze technické místnosti. Popruhy byly poté pevně staženy pomocí ráčen tak, aby se vozidlo zafixovalo proti pohybu či posunu. Dále se vozidlo zabezpečilo ruční brzdou. Před vozidlo byl umístěn výkonný odsávací ventilátor FILCAR AL – 1500/C, který nahrazoval proudění vzduchu při reálné jízdě. Jeho úkolem bylo ochlazovat chladicí systém vozidla a případně zčásti také výfukové vedení. Tento ventilátor se spouštěl dálkově pomocí spínací skříně a ovládal se pomocí softwaru ControlWeb v závislosti na válcovém dynamometru. Následně byla do koncové části výfukového vedení vložena sonda. Tato trubicová sonda je skrz filtr napojena na plynový analyzátor MATRIX MG – 5 (FTIR). Aby měření plynných látek obsažených ve výfukových spalínách nevykazovalo klamné hodnoty, bylo nutné jak trubicovou sondu umístěnou ve výfukové koncovce, tak i filtr, přes který trubicová sonda vedla do plynového analyzátoru, vyhřívat. Důvodem je zabránit výskytu vody srážející se uvnitř výfukové koncovky. Dále se do koncovky výfukového vedení uložila vedle sondy plynového analyzátoru sonda, která vede přes ředící zařízení do přístroje EEPS. V blízkosti výfukové koncovky byla také umístěna hadice napojená na ventilátor, kterou byly přebytečné výfukové spaliny odváděny mimo technickou místnost. Poté byl před čelní sklo v dobré viditelnosti řidiče umístěn LCD monitor. Na něm se zobrazil software ControlWeb s příslušným jízdním cyklem, podle kterého se testování vozidla řídilo.

K měření byly použity tři počítače s náležitými softwary. První PC byl propojen s LCD monitorem, který byl umístěn před čelní sklo. Na tomto PC – 1 byl spuštěn software ControlWeb, prostřednictvím kterého byl spuštěn a zobrazován průběh zvoleného jízdního cyklu WLTP. Také se pomocí tohoto softwaru dálkově spouštěl válcový dynamometr a ovládal odsávací ventilátor. Druhý počítač PC – 2 obsahoval diagnostický software ESI [tronic] 2.0 a spolupracoval pomocí kabelového rozhraní USB s diagnostickým zařízením Bosch KTS 520. Toto diagnostické zařízení bylo propojeno s testovaným vozidlem pomocí diagnostického standardu OBD-II. V průběhu testu diagnostický software zaznamenával data příchozí

ze snímačů vozidla. Diagnostickým softwarem zjišťovanými parametry při probíhajícím jízdním cyklu byly – teplota katalyzátoru, recirkulace spalin, součinitel lambda, hmotnost vzduchu, tlak v sacím potrubí, otáčky motoru, rychlost jízdy a předstih. Třetí počítač byl propojen s plynovým analyzátozem (FTIR) a také se spektrometrem velikosti pevných částic z výfukových plynů (EEPS). FTIR měřená data odesílal do PC – 3, ve kterém byl nainstalován software OPUS GA. Ten naměřené hodnoty zkoumaných emisních látek vyhodnocoval a následně zaznamenával. FTIR byl cca 30 minut před zahájením měření spuštěn, aby byl zahřátý na teplotu potřebnou k provozu. EEPS přístroj odesílal naměřené hodnoty do příslušného softwaru EEPS, jenž byl též nainstalován na PC – 3. Tento software přichází hodnoty pevných částic vyhodnocoval a zobrazoval prostřednictvím grafů a následně je zaznamenával.

Výše zmíněné aplikované přístroje a jim příslušící softwary byly spuštěny před započnutím jízdního cyklu WLTP. Veškeré přístroje a softwary byly před zahájením měření řádně nastaveny. Poté, co byly přístroje a příslušné softwary uvedeny do činného stavu, včetně testovaného vozidla, mohlo být započato měření spuštěním jízdního cyklu WLTP. Obsluha vozidla měla v zorném poli k dispozici LCD monitor s průběhem jízdního cyklu, dle kterého byla simulovaná jízda vozidla prováděna. Schéma vozidla umístěného na válcovém dynamometru a rozmístění jednotlivých aplikovaných měřících přístrojů propojených se příslušnou výpočetní technikou je zobrazeno na Obr. 53.



Obr. 53 Schéma propojení měřících přístrojů

Po dokončeném měření jsou získaná data příslušnými softwary zaznamenána a uložena do textových či Excel souborů. Naměřené hodnoty byly následně převedeny pomocí softwaru Microsoft Office Excel do společného tabulkového prostředí. Emisní hodnoty získané pomocí přístroje FTIR bylo nutné převzorkovat pomocí lineární interpolace, kvůli odlišné frekvenci záznamu měřených hodnot jednotlivých měřicích přístrojů. To znamená, že měřicí přístroj FTIR společně se softwarem OPUS GA zaznamenávaly hodnoty ve vyšší frekvenci než 1 Hz. Proto bylo zapotřebí data z plynového analyzátoru převzorkovat, a tím přepočítat hodnoty z vyšší frekvence, než je 1 Hz do zápisu frekvence 1/s. Hodnoty pevných částic, které jsou naměřeny prostřednictvím přístroje EEPS, nejsou finálně použitelné hodnoty, ale je zapotřebí tyto hodnoty přepočítat kvůli využití dvou ředících zařízení z důvodu saturace měřicího přístroje EEPS. Následně převzorkovaná a přepočtená data byla přetvořena na vypovídající grafy.

7.3.1 Přepočet pevných částic

EEPS (Engine Exhaust Particle Sizer) disponuje saturací, tedy dosažením maximálních hodnot, které je přístroj schopen naměřit. Saturace se pohybuje od 1 milionu částic na cm^3 do 10 milionů částic na cm^3 . Rozptyl saturace je rozsáhlý z důvodu zohlednění různého velikostního spektra pevných částic. To znamená, že saturace se od sebe liší velikostí měřených částic.

Důvod, proč se musí pevné částice z EEPS ředit, je takový, že by při měření extrémního zatížení bylo dosaženo saturace. U EEPS jsou použita dvě ředící zařízení, rozdělující se na primární a sekundární. Primární ředící zařízení bylo pomocí potenciometru nastaveno na 3,5. To znamená, že do ředícího zařízení je vedeno 35 % vzorků pevných částic nasávaných z výfukového potrubí, kde se ředí se vzduchem.

Kalibrační faktor je známý od výrobce a je uveden v kalibračním certifikátu měřicího přístroje EEPS. Dle tohoto kalibračního certifikátu probíhá téměř celý přepočet, viz Obr. 54.

$$CF = 1\,489 \quad [-] \quad (7.3.1.1)$$

Ředící faktor získáme podílem kalibračního faktoru a nastavených procent ředění pomocí potenciometru primárního ředícího zařízení.

$$DF = \frac{CF}{Pot [\%]} \quad [\%] \quad (7.3.1.2)$$

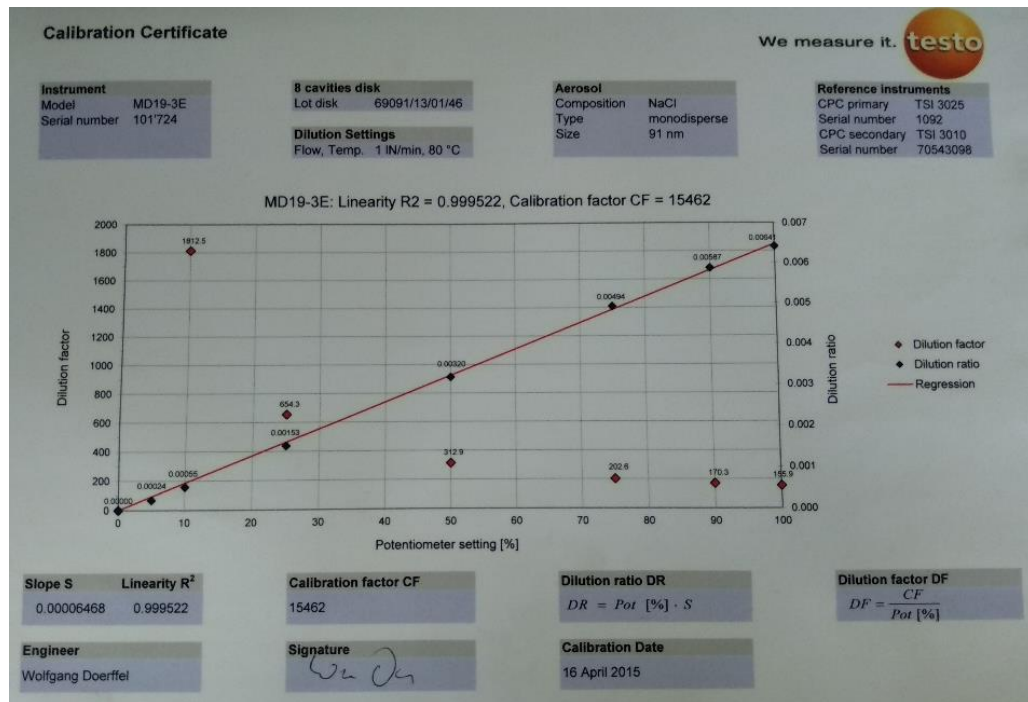
Pomocí ředícího faktoru by mohl být rovnou vypočítán úpravný koeficient pro přepočet naměřených hodnot, pokud by byla použita pouze primární ředící zařízení.

Sekundární ředící zařízení je využito z toho důvodu, že primární ředící zařízení je schopné dodávat pouze 5 l/min ředěných pevných částic, kdežto do měřicího přístroje EEPS je zapotřebí dodávat 10 l. Sekundární ředící zařízení má zdvojnásobit průtok do přístroje EEPS

z 5 na 10 l/min, tudíž je nutné provést součin ředícího faktoru a počtu ředících zařízení. Takto vznikne konečný upravený koeficient, pomocí nějž jsou přepočítány naměřené hodnoty.

$$Coef. = DF * 2 \quad [\%] \quad (7.3.1.3)$$

Tímto způsobem bylo dosaženo celkové koncentrace pevných částic, kterou lze aplikovat ve výsledcích měření.



Obř. 54 Kalibrační certifikát přístroje EEPS

7.4 Výsledky a diskuze

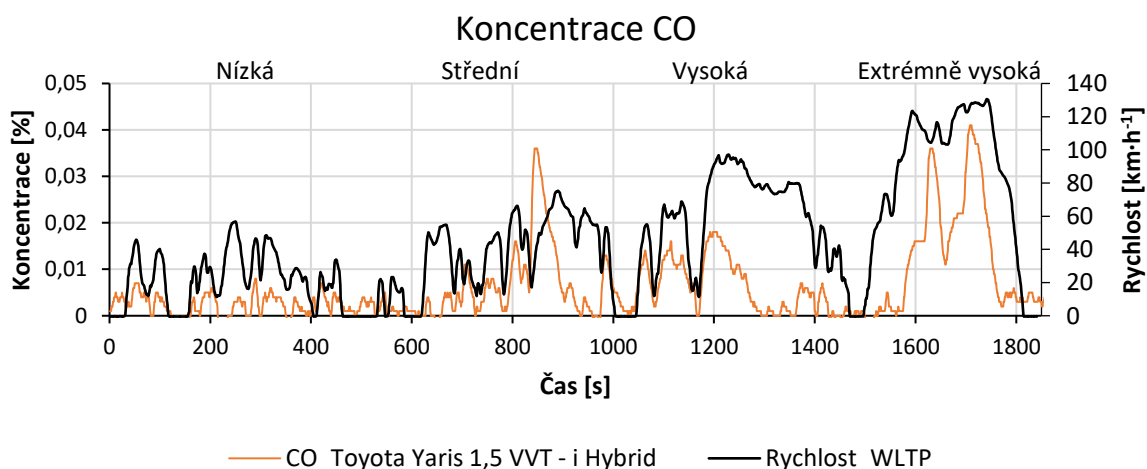
Výsledná převzorkovaná a přepočtená data získaná prostřednictvím měření emisních složek jak hybridního vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid, tak konvenčního vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – iE za použití jízdního cyklu WLTP jsou níže v nadcházejících podkapitolách zpracována a převedena do grafického zobrazení. Aplikovaný jízdní cyklus je rozdělen do čtyř rychlostních situací. Ty mají demonstrovat nízké rychlosti ve městě, střední rychlosti v příměstí, vysoké rychlosti mimo město a extrémně vysoké rychlosti na dálnici. Z emisních složek byly zaznamenány koncentrace CO, CO₂ a množství pevných částic na cm³ zohledněných v surových plynech. Data jsou synchronizována tak, že hodnoty CO i CO₂ se zapisovaly ve stejný okamžik, s tím že CO₂ se synchronizuje s rychlostním grafem v okamžiku decelerace, kdy se nevstříkuje žádné palivo a neprobíhá proces spalování. Tím koncentrace CO₂ padají až k 0 % při dostatečně dlouhé deceleraci, tedy při dostatečně dlouhé době, kdy není vstříkováno palivo do spalovacího prostoru. Koncentrace emisních prvků NO_x u obou vozidel byly tak nízké, že je nelze rozlišit s šumem měřicího přístroje, což svědčí o perfektním řízení zážehových motorů, a proto nejsou dále brány v potaz. Pro každé testované vozidlo byl zhotoven rychlostní graf v závislosti na čase vycházející z válcového dynamometru při použitém jízdním cyklu WLTP. Do jednotlivých rychlostních grafů obou vozidel byly zaznamenány jim příslušné hodnoty emisních složek podaných v grafickém zobrazení. Grafy jsou tvořeny prostřednictvím bodového grafického rozhraní s rovnými spojnicemi zachycující špičky a propady jednotlivých emisních složek dle uvedené rychlosti jízdního cyklu. Následně jsou jednotlivé grafy obou testovaných vozidel porovnány a popsány.

7.4.1 Emisní hodnoty Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid

V této podkapitole jsou shrnuty výsledky měření emisních složek včetně pevných částic vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid. Emisní složky pojmají procentuální koncentraci oxidu uhelnatého a oxidu uhličitého vyprodukovaných hybridním vozidlem. Dále emisní složky také obsahují pevné částice, u kterých bylo zjišťováno jejich množství na jeden centimetr krychlový v daný okamžik při příslušné rychlosti. Tento hybridní vůz měl možnost se pohybovat při plynulé jízdě čistě na elektrický pohon. Využití čistě elektrického pohonu vozidla bylo omezeno rychlostní hranicí, a to 50 km·h⁻¹. To znamená, že při nízké rychlosti v městském režimu, by se koncentrace oxidu uhelnatého, oxidu uhličitého a množství pevných částic měly pohybovat v minimálních hodnotách, především kvůli působení elektrického motoru v příslušných situacích.

V následujícím Grafu 1 je zpracován průběh rychlosti vozidla v určitém časovém rozhraní, během kterého probíhalo testování vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid. Do tohoto rychlostního průběhu byly vloženy příslušné koncentrace oxidu uhelnatého. U tohoto hybridního vozidla se koncentrace oxidu uhelnatého komplexně v celém jízdním cyklu pohybuje ve velmi nízkých koncentračních hodnotách, kvůli hybridní kombinaci elektrického a zážehového motoru. Oxid uhelnatý se ve spalinách vyskytuje, pokud je vstříkováno palivo do spalovacího prostoru, čímž započne spalovací proces.

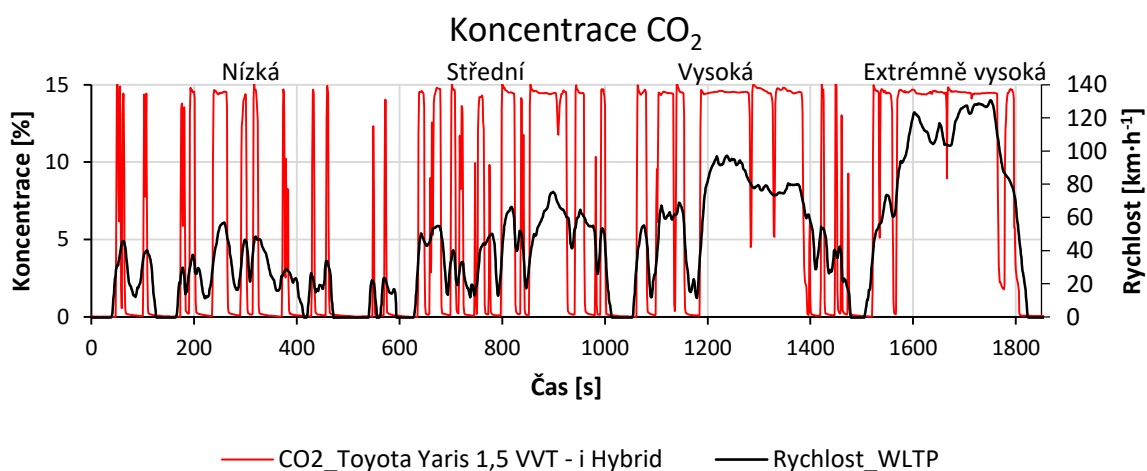
V Grafu 1 lze zpozorovat, že ve městském režimu při nízkých rychlostech koncentrace CO nepřesahuje hodnotu 0,01 %, což svědčí o působení elektrického motoru, který buď byl v samostatném působení, nebo se při akceleracích vzájemně kombinoval se zážehovým motorem. Při deceleraci se naopak zážehový motor uvedl do nečinného stavu, ve kterém setrval až do opětovného prudkého sešlápnutí akceleračního pedálu vozidla. Při středních rychlostech lze sledovat lehký nárůst koncentrace oxidu uhelnatého, kde se při zrychlení a vyšší zátěži zapojoval k elektromotoru i spalovací motor, a tak docházelo k dávkování paliva, čímž byl zapříčiněn menší nárůst koncentrací CO. Pohyb v příměstském cyklu středních rychlostí zaznamenal u hybridního vozidla nejvyšší nárůst koncentrace CO 0,035 % ve výfukových plynech, což bylo zřejmě způsobeno zvýšenou dávkou paliva do spalovacího prostoru motoru za účelem potřeby okamžité akcelerace, přičemž byl nejspíš spuštěn pro pohon vozidla pouze spalovací motor. Koncentrační hodnoty CO se jinak ve středních rychlostech pohybovaly kolem 0,015 %, což je považováno za minimální koncentraci. Vysoké rychlosti probíhající například mimo město vykazují koncentrační hodnoty oxidu uhelnatého 0,017 %, a to pouze při akceleraci vozidla. Nejvyšší koncentrace oxidu uhelnatého vzniká při extrémních rychlostech, kde je spalovací motor v plné zátěži s napomáhajícím elektromotorem, který koncentrace CO spalovacímu motoru pomáhá snižovat. U extrémních rychlostí je tak dosaženo nejvyšší koncentrace CO ve výfukových spalninách 0,04 %.



Graf 1 Koncentrace CO _ WLTP _ Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid

V Grafu 2 je znázorněn průběh koncentrací oxidu uhličitého, jenž je produkován hybridním vozidlem Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid při dané rychlosti a časové ose jízdního cyklu WLTP. Oxid uhličitý vzniká pouze při dávkování paliva do spalovacího prostoru zážehového motoru. Procesem spalování palivové směsi je právě CO₂ uvolňován. To znamená, že při jakémkoliv zatížení vozidla, a tím i spuštěném zážehovém motoru, vznikají nárůsty koncentrace oxidu uhličitého. CO₂ se při maximálních koncentračních hodnotách pohybuje mezi 14 až 15 %.

V tomto Grafu 2 je vidět, kdy byl spalovací motor v činnosti a kde byl spalovací motor vypnutý. Při nízkých rychlostech jsou nárůsty oxidu uhličitého pouze u akcelerace čili u zvýšení zátěže a hned opět klesají k nulovým hodnotám. Nejdelší úsek koncentrace CO₂ je při nízkých rychlostech po dobu 40 vteřin. Při dostatečně dlouhé deceleraci nebo plynulé jízdě je produkce CO₂ téměř nulová, což opět směřuje k dobrému kombinování spalovacího a elektrického motoru. Při deceleraci nebo plynulé jízdě je spalovací motor v nečinném stavu, tudíž emisní hodnoty spadají až na nulové hodnoty. V průběhu středních rychlostí jsou vidět častější nárůsty oxidu uhličitého z důvodu navýšení zátěže. Nejdelší časové rozmezí produkce koncentrací CO₂ bez propadu k nulovým hodnotám se u středních rychlostí jízdního cyklu WLTP pohybuje 1 minutu a 24 vteřin. Za vysokých rychlostí se opět koncentrace oxidu uhličitého pohybuje pouze u zvýšené zátěže s nejdelším časovým rozhraním 3 minuty a 42 vteřin, přičemž koncentrace CO₂ nedosahovala na nulové hodnoty. Při extrémně vysokých rychlostech je vidět, že koncentrace oxidu uhličitého jsou produkovány nejvíce, respektive nejčastěji. To proto, že zážehový motor je téměř celou dobu při extrémních rychlostech spuštěn a vypíná se pouze při deceleraci. Časový úsek, ve kterém byla koncentrační produkce CO₂ ve spalinách nejdelší bez poklesu na nulové hodnoty, trval 3 minuty a 31 vteřin. Tyto časové úseky jsou zohledněny dle koncentrace oxidu uhličitého při nejdelší zátěži vozidla v každém rychlostním spektru. Respektive vyjadřují dobu, ve které byl spalovací motor v provozu při zvýšeném zatížení.

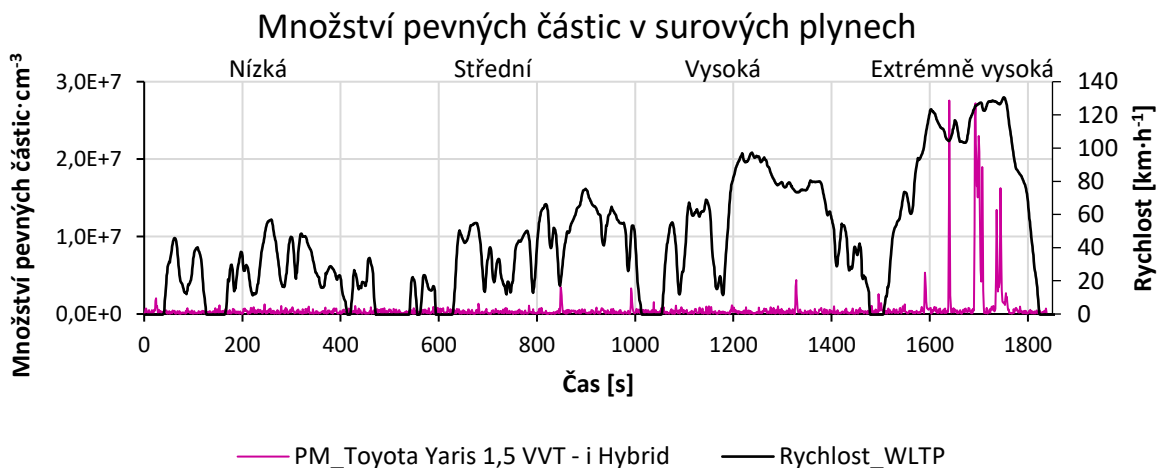


Graf 2 Koncentrace CO₂_WLTP_Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid

Průběh produkce pevných částic vozu Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid v závislosti na rychlostním průběhu vozidla je zobrazen v Grafu 3. Produkce PM je chápána jako množství pevných částic vyprodukovaných na jeden centimetr krychlový v surových plynech. V tomto grafu jsou již uvedeny přepočtené hodnoty. U hybridního vozidla je zážehový motor nepravidelně spuštěn a vypínán, tudíž se neprohřeje na dostatečnou provozní teplotu, čímž může lehce narůstat produkce množství PM. Nárůst množství pevných částic u hybridního vozidla lze také zaznamenat při častém spuštění nedostatečně prohřátého zážehového motoru. Snížení pevných částic u hybridního vozidla nastává v okamžiku, kdy přichází do zátěže a je nutné akcelarovat. Pokud přichází zážehový motor do zátěže, tak se k němu přidá elektromotor,

který se snaží spalovacímu motoru ulehčit vytížení, což vede ke snížení produkce PM. Též při deceleraci by se u hybridního vozidla pevné částice tvořit neměly kvůli spuštění systému rekuperace, čímž lze získávat prostřednictvím kinetické energie vozidla energii elektrickou z brzdění vozidla a působení elektrického generátoru. To znamená, že pomocí spalovacího motoru není potřeba napájet akumulátor ani nijak zasahovat do pohybu, je v nečinném stavu a získávaná elektrická energie prostřednictvím generátoru z decelerace napájí akumulátor.

Při nízkých rychlostech je produkce množství pevných částic na cm^3 minimální oproti dalším rychlostním průběhům z důvodu převážné činnosti elektrického motoru, ale i přesto byl neprohřátý spalovací motor spouštěn kvůli případné náhlé akceleraci a vypínán, což znamená v daných momentech nárůst množství PM. Produkce množství pevných částic při středních rychlostech se podobá produkci při nízkých rychlostech. Nárůst množství PM je zaznamenán při prudké akceleraci, kde neprohřátý zážehový motor přicházel do zátěže samostatně. Poté množství pevných částic obsažených v surových plynech okamžitě klesá z důvodu kombinace elektrického motoru. Produkci množství PM při vysokých rychlostech je možné vyjádřit, jako u dvou předešlých rychlostních spekter. Největší nárůst množství PM na cm^3 byl zaznamenán při extrémně vysokých rychlostech, kde byl zážehový motor plně zatížen při rychlostech dosahujících až $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Hodnoty množství pevných částic v daný okamžik vzrostly až na $2,8 \cdot 10^7$ na cm^3 při potřebě akcelarovat v průběhu vysokých rychlostí na ještě vyšší rychlost. I tak se množství pevných částic produkované vozidlem Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid dá považovat za přijatelné.



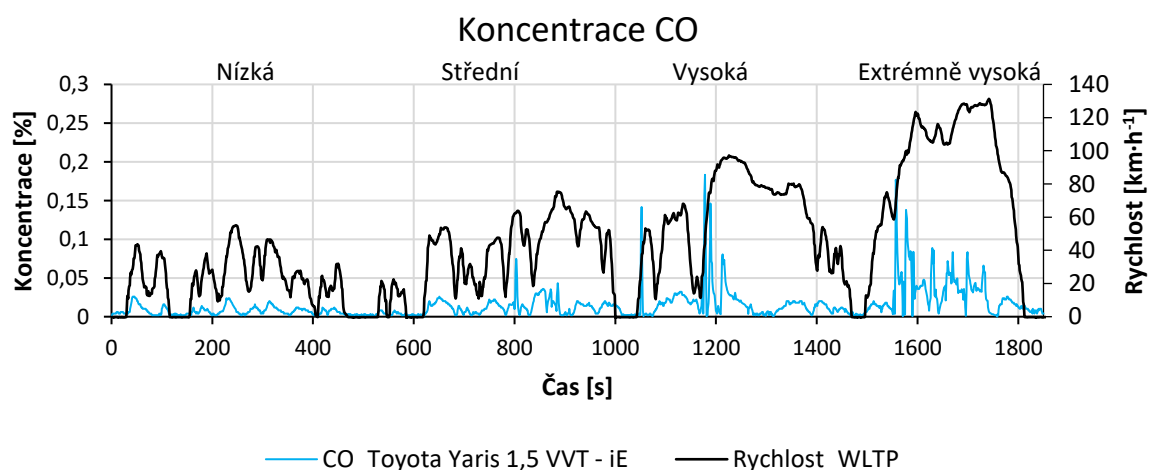
Graf 3 Množství pevných částic cm^{-3} WLTP_Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid

7.4.2 Emisní hodnoty vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – iE

Tato podkapitola obsahuje výsledky měření emisních složek, které byly produkovány vozidlem Toyota Yaris 1,5 VVT – iE. Toto vozidlo využívá k pohonu pouze konvenční zážehový řadový čtyřválcový motor. Naměřené koncentrační hodnoty CO, CO₂ a množství PM zjišťovaných na centimetr krychlový produkovaných tímto vozidlem v daný okamžik při určité rychlosti slouží k porovnání hodnot naměřených u hybridního vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid.

V Grafu 4 je znázorněn rychlostní průběh konvenčního vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – iE z jízdního cyklu WLTP, ke kterému je přiřazen průběh příslušných koncentračních hodnot oxidu uhelnatého. Jelikož zážehový motor je stále v činném stavu, tak koncentrační produkce CO neklesá k nulovým hodnotám v žádném okamžiku. U Grafu 4 lze sledovat nárůst koncentrací oxidu uhelnatého při započnutí akcelerace a též při zvýšené zátěži ve vyšších rychlostech. Koncentrace CO obsažená ve výfukových plynech naopak klesá při deceleraci pomocí zařazeného rychlostního stupně, kdy do spalovacího prostoru není vpravováno palivo. V oblastech, kde vozidlo setrvalo v klidovém stavu, byl po celou dobu sešlápnut spojkový pedál při zařazeném rychlostním stupni nebo byla řadicí páka uvedena do neutrální polohy. To znamená, že i při klidovém stavu vozidla řídicí jednotka udávala potřebné množství vstříkovaného paliva při volnoběhu, aby nebyl zážehový motor uveden do nečinného stavu, tím jsou i v klidových oblastech lehce zvýšené koncentrace CO.

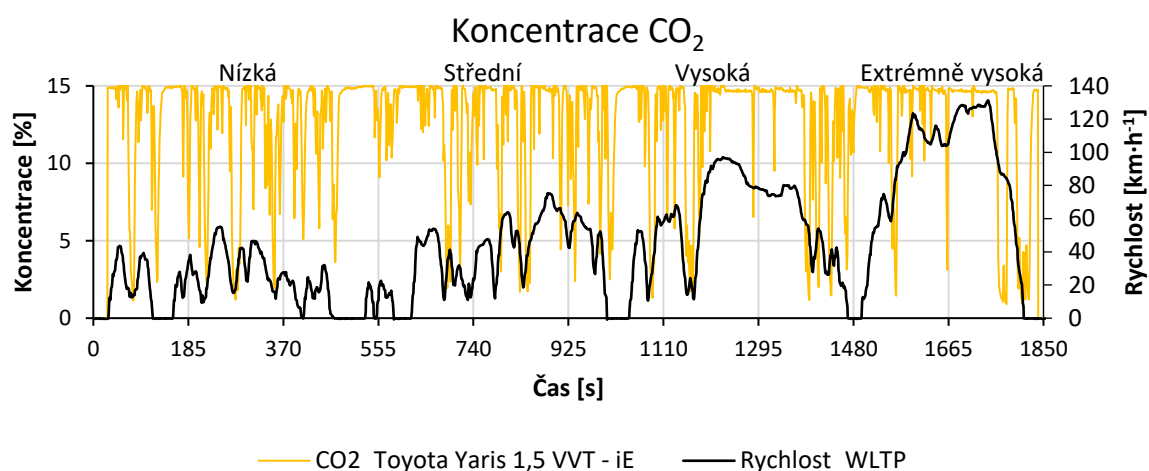
V Grafu 4 je vidět, že při nízkých rychlostech je průběh koncentrací oxidu uhelnatého znázorněn dle akcelerace a případné decelerace, kde koncentrační hodnoty dosáhnou maximálně 0,015 %. Střední rychlosti vykazují lehký nárůst koncentrací CO v závislosti lehce zvýšené zátěži, kde nejvyšší koncentrace se vyskytuje při akceleraci z 20 km·h⁻¹ na 62 km·h⁻¹ s koncentrační hodnotou 0,07 % CO. Při vysokých rychlostech byly zaznamenány dva nejvyšší nárůsty koncentrací způsobené prudkými akceleracemi, kde maximální hodnota koncentrace dosahuje 0,18 % CO. U extrémně vysokých rychlostí je navýšení koncentrací oxidu uhelnatého nejrozsáhlejší kvůli extrémně zvýšené zátěži. Z důvodu prudké akcelerace z klidového stavu na vysoké rychlosti, která dosahovala ke 122 km·h⁻¹, byl nárůst koncentrace oxidu uhelnatého nejvyšší o koncentrační hodnotě 0,18 %. V průběhu extrémních rychlostí bylo nutné několikrát akcelarovat z dané vysoké rychlosti na vyšší rychlost, což vysvětluje zvýšenou koncentraci CO v celé rychlostní oblasti.



Graf 4 Koncentrace CO_WLTP_Toyota Yaris 1,5 VVT – iE

V následujícím Grafu 5 je zobrazen průběh koncentrací oxidu uhličitého v časové závislosti na rychlosti. Koncentrace oxidu uhličitého ve výfukových plynech je u testovaného vozidla využívajícího zážehový motor v celém rychlostním grafu vysoká. Jak lze v tomto

Grafu 5 pozorovat, koncentrace CO₂ v celém průběhu jízdního cyklu neklesla na nulovou hodnotu a pohybuje se téměř v maximálních hodnotách mezi 14 % a 15 %. Taktéž jsou vidět náhlé poklesy koncentrace CO₂ při patřičných deceleracích. Oxid uhličitý se tvoří v případě, že je vstřikováno palivo do spalovacího prostoru motoru. Strmé nárůsty koncentrace CO₂ nastávají při akceleracích, při pohybu v zátěži nebo pokud končí decelerace a zážehový motor se uvede do volnoběžných otáček, přičemž řídicí jednotka vozidla nastaví určité množství dávkovaného paliva do spalovacího prostoru tak, aby se zážehový motor nevypnul. Proto je koncentrace CO₂ v klidovém stavu vozidla v maximálních hodnotách. Buď bylo převodové ústrojí uvedeno do neutrální polohy, anebo byl v klidovém stavu přerušen točivý moment prostřednictvím spojovacího zařízení mezi převodovým ústrojím a zážehovým motorem při zařazeném rychlostním stupni. Z toho vyplývá, že při deceleraci se zařazeným rychlostním stupněm, kde není vstřikováno palivo do spalovacího prostoru, koncentrace CO₂ klesá. Pokud je ale zapotřebí podřadit při deceleraci na nižší převodový stupeň prostřednictvím sešlápnutí spojkového pedálu, tak řídicí jednotka vozidla udává množství vstřikovaného paliva do spalovacího prostoru z důvodu zamezení vypnutí zážehového motoru při volnoběhu po celou dobu procesu podřazení, respektive po dobu rozepnutého spojovacího zařízení mezi motorem a převodovým ústrojím. Tento děj lze zpozorovat na konci extrémně vysokých rychlostí neboli dálničního průběhu, kde byly zaznamenány dlouhé prodlevy při podřazení z vyššího na nižší převodový stupeň, přičemž decelerací se zařazeným rychlostním stupněm koncentrace CO₂ klesá.

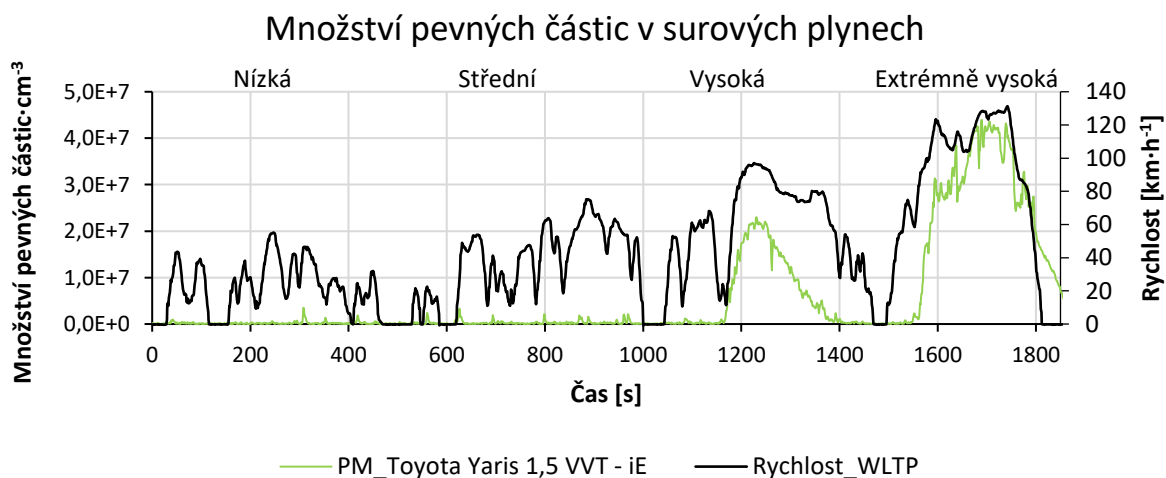


Graf 5 Koncentrace CO₂_WLTP_Toyota Yaris 1,5 VVT – iE

Graf 6 znázorňuje produkční průběh počtu pevných částic na cm³ v surových plynech u vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – iE při určitých rychlostech dle jízdního cyklu WLTP. Graf 6 uvádí již přepočtené hodnoty. Zážehový motor je v průběhu celého emisního testu v činném stavu, a tudíž disponuje dostatečnými provozními teplotami, jež mají dobrý vliv na produkci PM. U vozidla s čistě zážehovým motorem též není nutné během jízdního cyklu vícekrát spouštět a vypínat spalovací motor, přičemž při startu motoru je vstříknuta větší dávka paliva do spalovacího prostoru, než je poté vpravováno při daném rychlostním pohybu, a tak lze sledovat, že množství PM se udržuje v minimálních hodnotách. Lehce se navyšují při prudké akceleraci, kdy je spalovací motor přiváděn do zátěže. Pokud není dosaženo zvýšení výkonu,

a tudíž i patřičné akcelerace, je zapotřebí brát v úvahu, že produkované pevné částice zážehovým motorem ve formě sazí se mohou usazovat na vnitřním povrchu stěn výfukového potrubí.

Grafické znázornění produkce množství pevných částic v surových plynech u Grafu 6 uvádí, že při nízkých a taktéž středních rychlostech se hodnoty množství PM na cm^3 obsažených v surových plynech vyskytují v minimálních hodnotách. Nárůst PM částic při nízkých a středních rychlostech lze pozorovat pouze u prudších akcelerací, kde hodnoty maximálně dosahují $3,28 \cdot 10^6$ pevných částic na cm^3 . Značné navýšení množství PM v surových plynech bylo zaznamenáno až při vysokých a extrémně vysokých rychlostech, ke kterému zřejmě došlo prostřednictvím agresivní akcelerace při zvýšeném výkonu. Tím mohlo dojít k uvolnění nashromážděných pevných částic v podobě sazí na vnitřním povrchu stěn výfukového vedení. Tyto pevné částice tam mohly být nahromaděny z městského a příměstského režimu, kde zážehový motor nebyl uváděn do dostatečné zátěže tak, aby veškeré PM mohly opustit výfukové potrubí. Také je možné, že v daný okamžik při ostrých akceleracích byla palivová směs příliš obohacena. U vysokých rychlostí byla zaznamenána maximální hodnota $2,17 \cdot 10^7$ PM na cm^3 v surových plynech. Při extrémně vysokých rychlostech byl zaznamenán nejvyšší vzrůst množství PM v surových plynech z celého jízdního cyklu, a to o hodnotě $4,29 \cdot 10^7 \text{ cm}^3$.



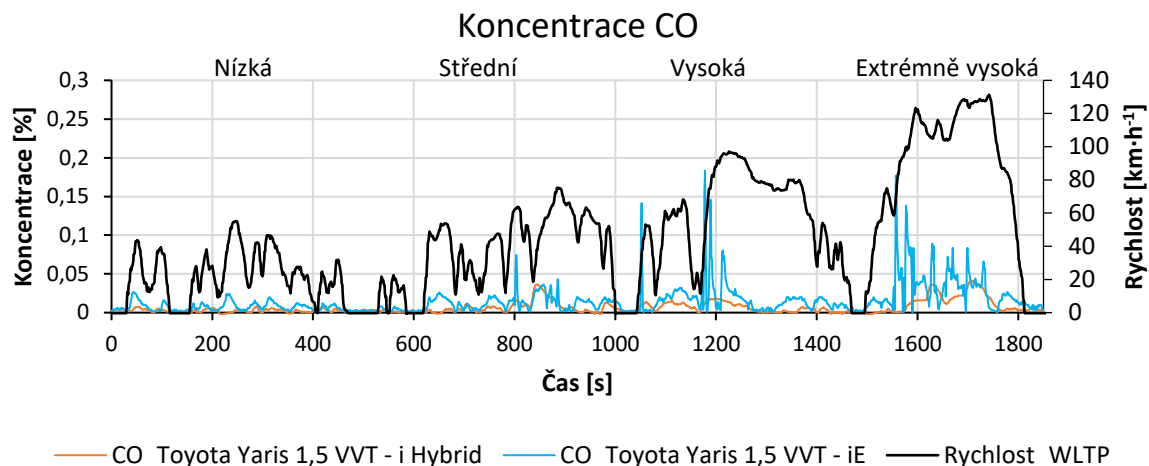
Graf 6 Množství pevných částic·cm⁻³_WLTP_Toyota Yaris 1,5 VVT – iE

7.4.3 Porovnání testovaných vozidel

V této podkapitole jsou získané převzorkované a přepočtené výsledné hodnoty koncentrací CO, CO₂ a množství pevných částic na cm^3 obsažených v surových plynech u vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid porovnány s naměřenými, převzorkovanými a přepočtenými hodnotami CO, CO₂ a množstvím PM na cm^3 obsažených v surových plynech u konvenčního vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – iE. Porovnání je prováděno prostřednictvím grafického zobrazení jednotlivých emisních složek CO, CO₂ a PM.

V následujícím Grafu 7 je vidět průběh koncentrací oxidu uhelnatého obou dvou testovaných vozidel v závislosti na rychlosti určené dle jízdního cyklu WLTP. Oxid uhelnatý vznikal při nedokonalém řízení spalovacího procesu. Na první pohled je patrné, že hybridní vozidlo při průběhu celého jízdního cyklu produkovalo obecně nižší základní koncentrace CO ve výfukových plynech, než vozidlo se samostatnou konvenční pohonnou jednotkou, a to přibližně dvakrát nižší. U vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid je při standartním uspořádání díky velkému množství přechodových akceleračních režimů, kdy byl spínán zážehový motor a uváděn okamžitě do zátěže, zaznamenán nárůst koncentrace CO. Ovšem vyšší nárůst koncentrace oxidu uhelnatého je prostřednictvím akcelerace především u vysokých a extrémně vysokých rychlostí zpozorován u vozidla Toyota Yaris VVT – iE. V některých rychlostních oblastech se koncentrace CO hybridního vozidla vyrovnávají koncentracím CO produkovaných vozidlem využívajících k pohonu pouze zážehový motor, ale přesto z větší části jízdního cyklu se koncentrace oxidu uhelnatého hybridního vozidla pohybovaly v nižších hodnotách, než koncentrace CO vozidla s čistě zážehovým motorem.

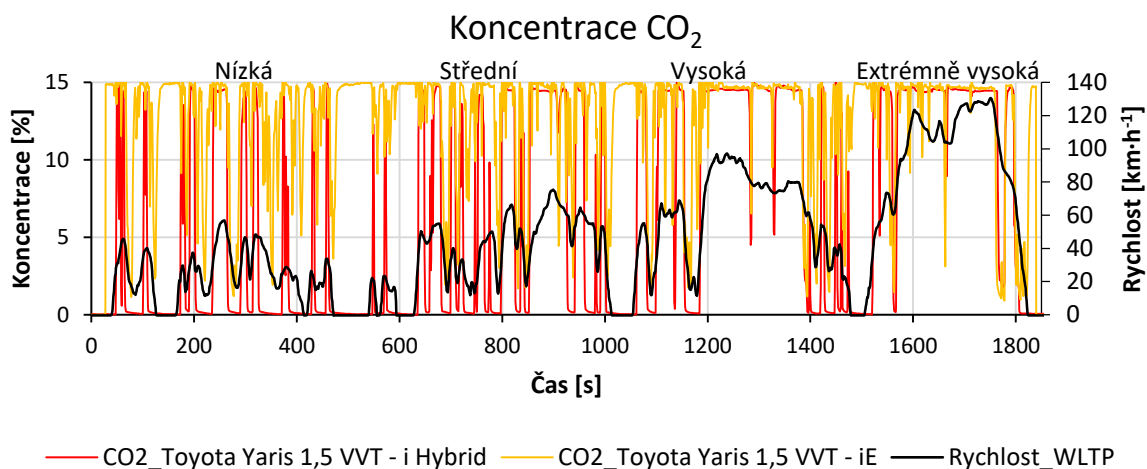
Dále lze z Grafu 7 vyzorovat, že při nízkých rychlostech probíhajících v městském režimu byl u hybridního vozidla k elektrickému motoru spínán zážehový motor pouze při akceleracích, tudíž koncentrační hodnoty CO dosahovaly při nízkých rychlostech maximálně 0,01 %. Vozidlo s čistě spalovacím motorem dosahovalo koncentračních hodnot CO při nízkých rychlostech v maximální míře 0,015 %. Tudíž maximální koncentrační hodnoty při nízkých rychlostech jsou téměř srovnatelné. Vozidlo s čistě zážehovým motorem má při akceleracích četnější nárůsty koncentrací CO oproti hybridnímu vozidlu, což svědčí o kombinaci spalovacího a elektrického motoru. U středních rychlostí hybridní vozidlo produkovalo zvýšené koncentrace CO opět pouze při akceleracích, kde maximální koncentrační hodnota dosáhla k 0,035 %. Vozidlo se samostatným zážehovým motorem dosahuje při středních rychlostech v důsledku akcelerace vyšších koncentrací CO v porovnání s hybridním vozidlem, a to v maximální hodnotě 0,07 %. Ve vysokých rychlostech, kde se nachází prudké akcelerace a vyšší zatížení, hybridní vozidlo dosahuje maximální koncentrace CO 0,017 %, oproti tomu vozidlo se samostatným zážehovým motorem produkuje CO v koncentraci 0,18 %, což je téměř desetinásobek v daný okamžik při ostré akceleraci. V dálničním režimu při extrémně vysokých rychlostech je navýšení koncentračních hodnot CO u hybridního vozidla zaznamenán při akceleraci z dané rychlosti přesahující $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ na vyšší rychlosti, kde je spalovací motor v plném zatížení společně s elektromotorem. Maximální koncentrace CO u hybridního vozidla při extrémních rychlostech dosahuje 0,04 %. Oproti tomu konvenční vozidlo dosahuje u extrémně vysokých rychlostí při agresivní akceleraci maximální koncentrační hodnoty CO stejně jako u mimoměstského režimu, a to 0,18 %.



Graf 7 Porovnání koncentrací CO obou vozidel

Na Grafu 8 jsou vidět průběhy koncentrací oxidu uhličitého v závislosti na rychlosti uvedené dle jízdního cyklu WLTP obou testovaných vozidel. Maximální hodnoty koncentrací CO₂ se pohybují u obou dvou testovaných vozidel mezi 14 až 15 %. Koncentrace CO₂ nastávají pouze tehdy, pokud je do spalovacího prostoru přiváděno palivo a probíhá proces spalování. U vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid lze pozorovat, v jakém okamžiku byl spouštěn zážehový motor, a kdy naopak vozidlo využívalo čistě elektrický motor. Zážehový motor byl spouštěn při náhlých akceleracích a při zvýšené či vysoké zátěži napříč společně i s elektromotorem. V klidovém stavu při plynulé jízdě do 50 km·h⁻¹ nebo prostřednictvím decelerace byl využíván pouze elektrický motor, přičemž hodnoty koncentrací při dostatečných prodlevách působení elektromotoru dosahovaly 0 %. Naopak u vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – iE byl zážehový motor v činném stavu po celou dobu jízdního cyklu. V Grafu 8 lze vidět, že koncentrace CO₂ hybridního vozidla v porovnání s konvenčním vozidlem dosahují v dané okamžiky nulových hodnot, avšak vozidla využívající pouze zážehový motor se k nulovým hodnotám koncentrace CO₂ jen přibližují. U konvenčního vozidla se zážehovým motorem je zaznamenán úbytek koncentrací CO₂ pouze při deceleraci se zařazeným rychlostním stupněm a uvolněným akceleračním pedálem. Při deceleraci vozidla koncentrace CO₂ opět narůstá při sešlápnutí spojkového pedálu kvůli následnému přeřazení na nižší rychlostní stupeň. V ten okamžik po dobu přerušení přenosu točivého momentu mezi motorem a převodovým ústrojím, řídicí jednotka vozidla začne řídit množství vstříkovaného paliva do spalovacího prostoru tak, aby byly u zážehového motoru udrženy volnoběžné otáčky, a tak se motor samovolně nevypnul. Proto i v klidových stavech, při sešlápnutém spojkovém pedálu, kdy je zařazen první rychlostní stupeň nebo uvedením převodového ústrojí do neutrální polohy, se koncentrace CO₂ pohybují v maximálních hodnotách. Z tohoto Grafu 8 je zřejmé, že vozidlo Toyota Yaris 1,5 VVT – iE produkovalo větší množství koncentračních hodnot CO₂ ve srovnání s vozidlem Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid ve všech rychlostních režimech celého jízdního cyklu WLTP. Srovnatelný výskyt maximálních koncentrací CO₂ byl zaznamenán u obou vozidel při vysokých a extrémně vysokých rychlostech, kde hybridní

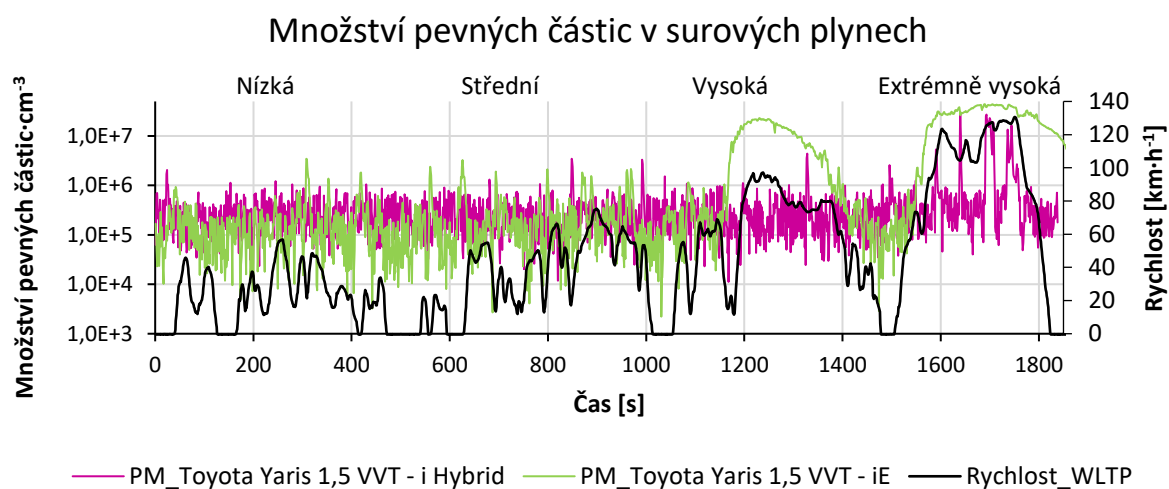
vozidlo plně využívalo zážehový motor samostatně, anebo v kombinaci s elektrickým motorem v důsledku jízdy při vysokém zatížení.



Graf 8 Porovnání koncentrací CO₂ obou vozidel

Graficky znázorněný průběh obou měřených vozidel z pohledu produkce množství pevných částic na cm³ v surových plynech v závislosti na dané rychlosti jízdního cyklu WLTP je k vidění na Grafu 9. Pevné částice vznikají ve spalovacích motorech při hoření obohacené směsi. Z grafického zobrazení je patrné, že vozidlo Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid produkovalo při nízkých a středních rychlostech obecně srovnatelné, místy i vyšší množství PM ve srovnání s konvenčním vozidlem Toyota Yaris 1,5 VVT – iE. Ovšem při vysokých a extrémně vysokých rychlostech je zvyšující se produkční množství PM na cm³ zaznamenáno u konvenčního vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – iE v porovnání s vozidlem Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid. Zvýšené množství pevných částic u hybridního vozidla může být zapříčiněno častým spouštěním nedostatečně prohřátého zážehového motoru a jeho vypínáním, čehož je při nízkých městských a středně vysokých mimoměstských rychlostech využíváno. Množství PM u hybridního vozidla také narůstá při vysoké zátěži neboli vysokých rychlostech, naopak při deceleraci by měl být spalovací motor vypnut a pevné částice by se neměly tvořit. Také při akceleracích by hybridní vozidlo mělo produkovat snížené množství PM oproti vozidlu konvenčnímu, z důvodu kombinace s motorem elektrickým. Konvenční vozidlo má zážehový motor v provozu po celý jízdní cyklus, tudíž je prohřát na dostatečně vysoké provozní teploty, čímž je možná nižší produkce PM při nízkých a středních rychlostech. Při vysokých a extrémně vysokých rychlostech se při ostrých akceleracích a značném zatížení zřejmě usazené pevné částice na povrchu vnitřních stěn výfukového vedení uvolnily. Proto mohlo množství pevných částic u konvenčního vozidla při akceleraci a zvýšeném zatížení při vysokých a extrémně vysokých rychlostech tak značně narůst. Hodnoty PM částic na cm³ se u obou vozidel pohybovaly v přijatelném rozmezí. V obecném pojetí z hlediska množství pevných částic se pohybují hodnoty v rozmezí 8·10⁴ až 5·10⁵ PM na cm³ u hybridního vozidla a u vozidla konvenčního se hodnoty pohybují v rozmezí 3·10⁴ až 3·10⁵, pokud se neberou v úvahu extrémní.

U porovnání vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid s konvenčním vozidlem Toyota Yaris 1,5 VVT – iE dle Grafu 9, kde jsou zaznamenány hodnoty množství pevných částic koncentrovaných na cm^3 obsažených v surových plynech lze uvést, že hybridní vozidlo produkovalo při nízkých rychlostech přijatelné množství, kde maximální hodnota dosahovala $1,23 \cdot 10^6$ PM na cm^3 . Naproti tomu konvenční vozidlo se zážehovým motorem vyprodukovalo při nízkých rychlostech v důsledku akcelerace maximální množství $2,4 \cdot 10^6$ PM na cm^3 . Při středních rychlostech hybridní vozidlo vyprodukovalo nejvyšší hodnotu $3,3 \cdot 10^6$ PM na cm^3 . Konvenční vozidlo oproti tomu vyprodukovalo při středních rychlostech nejvyšší množství $3,28 \cdot 10^6$ PM na cm^3 . Při vysokých a extrémně vysokých rychlostech byl u obou dvou vozidel zaznamenán nárůst PM částic na cm^3 , což mohlo být způsobeno uvolněním nashromážděných pevných částic ve výfukovém potrubí z provozu při nižších rychlostech nebo také náhlým obohacováním palivové směsi. Hybridní vozidlo dosahovalo maximální hodnoty $3,88 \cdot 10^6$ PM na cm^3 při akceleraci z dané rychlosti $75 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ na vyšší rychlost. Naproti tomu konvenční vozidlo při vysoké rychlosti dosahovalo nejvyšší hodnoty $2,17 \cdot 10^7$ PM na cm^3 . Množství pevných částic při extrémně vysokých rychlostech narůstalo z celého jízdního cyklu nejvíce. Maximální hodnota hybridního vozidla dosahovala $2,8 \cdot 10^7$ PM na cm^3 při extrémně vysokých rychlostech, avšak u konvenčního vozidla byla zaznamenána nejvyšší hodnota produkce $4,29 \cdot 10^7$ PM na cm^3 .



Graf 9 Porovnání množství pevných částic v surových plynech obou vozidel

8 Závěr

Tato diplomová práce se zabývala analýzou hybridního vozidla z pohledu emisí. V rešeršní části byl uveden historický vývoj týkající se hybridních vozidel. Dále je popisována základní charakteristika funkce hybridního pohonu u osobních vozidel a také jednotlivé rozdělení dle kategorií uspořádání komponent ve vozidle a hybridizačního významu. Následně jsou možné komponenty aplikované u hybridního pohonu dostatečně popsány z hlediska jejich funkce. V této části jsou též brány v potaz jízdní cykly, při nichž je analýza emisí uskutečňována. Součástí teoretické části je také charakteristika emisí jako celku, kde jsou zohledněny emisní normy platné pro státy Evropské unie, stručný popis jednotlivých emisních složek z hlediska jejich tvorby a vlivu na lidské zdraví, v poslední řadě je popsána případná regulace jednotlivých emisních složek produkovaných spalovacími motory.

V praktické části byly analyzovány z pohledu emisí dvě vozidla, hybridní vozidlo Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid a konvenční vozidlo Toyota Yaris 1,5 VVT – iE sloužící ke komparaci naměřených emisních hodnot. Při jízdním cyklu WLTP byly u obou testovaných vozidel zaznamenávány koncentrační hodnoty CO, CO₂ a také množství PM, jež se vyskytovaly v surových plynech. Získané koncentrační hodnoty emisních složek NO_x byly jak u vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid, tak i u konvenčního vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – iE natolik nízké, že je nebylo možné rozlišit s šumem měřicího přístroje. To svědčí o skvělém řízení obou zážehových motorů, tudíž nejsou uváděny. Koncentrace CO u vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid dosahovala maximální hodnoty 0,04 % z celého jízdního cyklu WLTP v dálničním režimu při akceleraci z rychlosti 104 km·h⁻¹ na rychlost 104 km·h⁻¹, naopak u konvenčního vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – iE byla zaznamenána nejvyšší koncentrace CO o hodnotě 0,18 % při ostré akceleraci jak u mimoměstského, tak u dálničního režimu, z čehož plyne, že koncentrace CO jsou u vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid nižší o 0,14 % oproti vozidlu Toyota Yaris 1,5 VVT – iE. V obecném náhledu na celkový průběh koncentrací CO během jízdního cyklu WLTP jsou u hybridního vozidla zaznamenány dvakrát nižší hodnoty než u vozidla konvenčního. Z pohledu koncentrací CO₂ byly zaznamenány maximální hodnoty dosahující 15 % jak u vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid, tak u vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – iE. Obě testovaná vozidla lze porovnat dle četnosti výskytu maximální koncentrace CO₂, kde vozidlo Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid vykazovalo delší prodlevy bez působení zážehového motoru, což prokazují poklesy koncentrací CO₂ na nulovou hodnotu při deceleraci, plynulé jízdě do 50 km·h⁻¹ a taktéž v klidovém stavu, kdy vozidlo mělo v působnosti pouze elektrický motor. Koncentrace CO₂ u konvenčního vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – iE v průběhu celého jízdního cyklu WLTP na nulovou hodnotu neklesla, pouze se přiblížila minimální hodnotou 1,2 % při deceleraci se zařazeným rychlostním stupněm. Z toho plyne, že méně četnější koncentrace CO₂ produkovalo vozidlo Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid ve srovnání s vozidlem Toyota Yaris 1,5 VVT – iE. Z hlediska množství pevných částic produkovaných na cm³ v surových plynech je vozidlo Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid takřka srovnatelné, v některých okamžicích i horší, s vozidlem Toyota Yaris 1,5 VVT – iE pouze v městském a příměstském režimu. Naopak v mimoměstském a dálničním režimu je na tom

vozidlo Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid s množstvím PM produkovaných na cm^3 v surových plynech lépe, než konvenční vozidlo Toyota Yaris 1,5 VVT – iE. Přesto se množství PM koncentrovaných na cm^3 v surových plynech vyskytuje v přijatelných hodnotách u obou dvou testovaných vozidel. Vozidlo Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid vykazovalo v obecném stavu po celý jízdní cyklus WLTP rozmezí $8 \cdot 10^4$ až $5 \cdot 10^5$ PM produkovaných na cm^3 v surových plynech. Pro porovnání – u konvenčního vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – iE bylo zjištěno rozmezí v obecném stavu $3 \cdot 10^4$ až $3 \cdot 10^5$ PM produkovaných na cm^3 v surových plynech. Z toho plyne, že v obecném stavu u obou testovaných vozidel je množství pevných částic koncentrovaných na cm^3 takřka totožné. Vozidlo Toyota Yaris 1,5 VVT – iE vykazovalo častější nárůst množství produkovaných PM při akceleracích oproti vozidlu Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid. Při dálničním režimu, kde byla vozidla analyzována z pohledu emisí v extrémních rychlostech, byl u vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid zaznamenán nárůst na maximální hodnotu $2,8 \cdot 10^7$ PM na cm^3 při akceleraci z rychlosti $104 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ na $115 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, kde se vyskytoval spalovací motor ve zvýšené zátěži. Vozidlo Toyota Yaris 1,5 VVT – iE při mimoměstském a dálničním režimu vykazovalo značný nárůst množství PM na cm^3 v surových plynech, přičemž maximální hodnota vyskytující se v dálničním režimu vykazovala $4,29 \cdot 10^7$ PM na cm^3 při rychlosti $127 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Tyto extrémní nárůsty množství pevných částic u obou analyzovaných vozidel mohly být způsobeny uvolněním pevných částic usazených uvnitř výfukového vedení při ostré akceleraci a vysokém zatížení motoru. Z toho lze usoudit, že množství PM koncentrovaných na cm^3 v surových plynech u vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid a vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – iE je z celkového hlediska takřka srovnatelné.

Vozidlo Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid v důsledku náležitě řízené kombinace zážehového motoru s elektrickým motorem prokázalo nižší koncentrační hodnoty CO a méně četný výskyt koncentrací CO_2 vůči vozidlu Toyota Yaris 1,5 VVT – iE při průběhu jízdního cyklu WLTP. Množství pevných částic koncentrovaných na cm^3 obsáhlých v surových plynech bylo u vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid a vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – iE téměř srovnatelné. Jelikož vozidlo Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid vykazovalo produkci nižších nebo srovnatelných hodnot emisních složek ve srovnání s vozidlem Toyota Yaris 1,5 VVT – iE, je možné předpokládat, že také spotřeba paliva u vozidla Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid se pohybuje v nižších hodnotách oproti vozidlu Toyota Yaris 1,5 VVT – iE.

Co se týče produkce emisních složek, vozidla využívající hybridní pohon lze považovat za alternativní náhradu konvenčních vozidel. Hybridní vozidla se též oproti konvenčním vozidlům chovají šetrněji vzhledem ke globální problematice vztahující se k oteplování planety a čerpání neobnovitelných přírodních zdrojů.

Lze konstatovat, že vozidla s hybridním pohonem jsou pravděpodobně pouze mezičlánkem k přechodu na vozidla s čistě elektrickým pohonem. Bohužel pro čistě elektrický pohon vozidel nejen v České republice, ale i v celé Evropské unii není vytvořena dostatečná energetická síť s nabíjecími centry. Také je možné, že pokud by vozidla s elektrickým pohonem byla vyslána do provozu ve velkém množství, mohla by být energetická síť při tak velkém a náhlém odběru elektrické energie přetížena.

9 Seznam použité literatury

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

[2] HROMÁDKO, Jan. Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.

[3] HROMÁDKO, Jan. Speciální spalovací motory. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2011. ISBN 978-80-213-2168-7

[4] KAMEŠ, Josef. Spalovací motorová vozidla: část: Spalovací motory. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2002. ISBN 80-213-0895-8.

[5] LIU, Wei. Introduction to hybrid vehicle system modeling and control. Hoboken, N.J.: Wiley, c2013. ISBN 978-1-118-30840-0.

[6] MATĚJOVSKÝ V. Automobilová paliva. Grada Publishing a.s., 2004. 228s. ISBN: 8024762404

[7] VARGA, Bogdan Ovidiu - ICLODEAN, Calin – MARIASIU, Florin. Electric and hybrid buses for urban transport : energy efficiency strategies. Switzerland: Springer, 2016. ISBN 978-3-319-41248-1.

[8] VLK, František. Koncepce motorových vozidel: koncepce vozidel : alternativní pohony : komfortní systémy : řízení dynamiky : informační systémy. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5276-0.

Internetové zdroje

[9] 11 ways to cut your driving emissions. *RAC Motoring Services* [online]. 11. června 2018 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://www.rac.co.uk/drive/advice/emissions/11-ways-to-reduce-your-car-emissions/>

[10] ACEA: osobní auta produkují jen procento emisí CO₂. *Svaz Dovozců Automobilů* [online]. Autodealers, 09. 10. 2018 [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: <http://portal.sda-cia.cz/clanek.php?id=6204&v=m>

[11] BARLOW, T. J. et. al. *A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions* [online]. Version 3. Berkshire: TRL Limited, 2009 [cit. 2019-02-15]. ISBN 978-1-84608-816-2. Dostupné z: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/4247/ppr-354.pdf

- [12] BARTÁK, Pavel. *Hybridní pohony v automobilových aplikacích* [online]. 2010 [cit. 2019-01-26]. Dostupné z: [file:///E:/DP/Diplomová%20práce/Zdroje/Jednotlivé%20komponenty%20hybridních%20vozidel/Učební%20text_Hybridní%20pohony%20v%20AA_PBarták\(.pdf](file:///E:/DP/Diplomová%20práce/Zdroje/Jednotlivé%20komponenty%20hybridních%20vozidel/Učební%20text_Hybridní%20pohony%20v%20AA_PBarták(.pdf). Doprovodný učební text. Západočeská univerzita v Plzni.
- [13] BEDNÁŘ, Marek. Jak funguje diesel? Proč je hlučný, těžký a proč efektivní?. *Autoforum.cz* [online]. 29. 8. 2015 [cit. 2019-01-30]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/technika/jak-funguje-diesel-proc-je-hlucny-tezky-a-proc-efektivni/>
- [14] BRAIN, Marshall - HALL-GEISLER, Kristen. How Car Engines Work. *HowStuffWorks* [online]. c2019 [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: <https://auto.howstuffworks.com/engine1.htm>
- [15] BU-201: How does the Lead Acid Battery Work?. *Battery University* [online]. [cit. 2019-02-07]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/lead_based_batteries
- [16] BU-209: How does a Supercapacitor Work?. *Battery University* [online]. [cit. 2019-02-08]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/whats_the_role_of_the_supercapacitor
- [17] BU-210: How does the Fuel Cell Work?. *Battery University* [online]. [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/fuel_cell_technology
- [18] CRUISING. *Fueleconomy* [online]. [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: <https://www.fueleconomy.gov/feg/hybridAnimation/hybrid/hybridcruising.html>
- [19] ČERMÁK, Jiří. Asynchronní stroje - konstrukce, princip funkce a řízení. *OEnergetice.cz* [online]. 10. únor 2017 [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/asynchronni-stroje-konstrukce-princip-funkce-a-rizeni/>
- [20] ČUMPELÍK, Jiří. Snižování emisí ve výfukových plynech. *MM spektrum* [online]. 09. 10. 2007 [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/snizovani-emisi-ve-vyfukovych-plynech.html>
- [21] Diagnostika. *Sien* [online]. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: www.sien.cz/diagnostika.html
- [22] DUFKOVÁ, Marie. Li-ion baterie. *Třípól - časopis pro studenty* [online]. 25. dubna 2015 [cit. 2019-02-07]. Dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/prakticke-informace/1677-li-ion-baterie>. ISSN 2464-7888.
- [23] DUNN, Philip. Hybridní auta - klady a zápory. *Phys.org* [online]. 19. 01. 2006 [cit. 2018-12-26]. Dostupné z: <https://phys.org/news/2006-01-hybrid-cars-pros-cons.html>

- [24] DUSIL, Tomáš. Hybridní pohony aneb není hybrid jako hybrid: Čím se liší plug-in hybrid od mild hybridu a full hybridu?. *Auto.cz* [online]. 15. 7. 2018 [cit. 2019-01-22]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/hybridni-pohony-plug-in-hybrid-mild-hybrid-full-hybrid-123123>
- [25] DUSIL, Tomáš. Selektivní katalytická redukce (SCR). Vše, co jste chtěli vědět o AdBlue!. *Auto.cz*[online]. 4. 7. 2017 [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/selektivni-katalyticka-redukce-scr-vse-co-jste-chteli-vedet-o-adblue-108222>
- [26] DVORŮŽEK, František – JAVOR, Vladimír. STK opět zpřísnily. Na emisních testech jdou po filtrech pevných částic. *IDNES.cz* [online]. 27. února 2018 [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/autoservis/filtr-pevnych-castice-emise-stk-kontrola.A180220_083957_autoservis_fdv
- [27] ENANG, Wisdom - BANNISTER, Chris. Modelling and control of hybrid electric vehicles (A comprehensive review). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. Netherlands: Elsevier BV, 2017 [cit. 2019-01-22]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.075>. ISSN 1364-0321.
- [28] ENGINE EXHAUST PARTICLE SIZER SPECTROMETER MODEL 3090. *Kenelec* [online]. 2016 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.kenelec.com.au/ken/wp-content/uploads/2016/06/3090.jpg>
- [29] ENGINE EXHAUST PARTICLE SIZER™ SPECTROMETER MODEL 3090. *TSI Incorporated* [online]. Kenelec Scientific Pty, 2016 [cit. 2019-03-05]. DOI: P/N 298035. Dostupné z: <https://www.kenelec.com.au/ken/wp-content/uploads/2018/12/TSI-3090-EEPS-Engine-Exhaust-Particle-Sizer-Spectrometer-SpecSheet.pdf>
- [30] ESI[tronic] 2.0 - software, který dokáže více. *Bosch* [online]. 2015 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <http://aa.bosch.cz/infoboxy/esi-tronic.html>
- [31] Euro 1 to Euro 6 video guide – find out your vehicle's emissions standard. *RAC Motoring Services* [online]. 25. října 2018 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://www.rac.co.uk/drive/advice/emissions/euro-emissions-standards/>
- [32] FERENC, BOHUMIL. SPOTŘEBA A EMISE: SPOTŘEBA A EMISE CO2 URČUJÍ SMĚRY VÝVOJE ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ. *Autodily MJauto* [online]. BŘEZEN 2001 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: http://www.mjauto.cz/newdocs/ferenc/fer_mo14/fer_mo14.htm
- [33] Funkce katalyzátoru. *F.T.G.* [online]. c2019 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://www.dpf-ftg.cz/funkce-katalyzatoru>

- [34] FURUSHO-PERCOT, S. et.al. Improved Soot Measurements with an ENGINE EXHAUST PARTICLE SIZER. *Researchgate* [online]. Poland, 20 May 2016 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Stephane_Percot2/publication/303672497_Improved_Soot_Measurements_with_an_Engine_Exhaust_Particle_Sizer/links/575058f908aefe968db72ba6/Improved-Soot-Measurements-with-an-Engine-Exhaust-Particle-Sizer.pdf?origin=publication_detail
- [35] HANLON, Mike. New bonsai 100 bhp Hybrid Synergy Drive for Toyota Yaris. *New Atlas* [online]. 6. února 2012 [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: https://newatlas.com/toyotas-yaris-gets-bonsai-100-bhp-hybrid-synergy-drive/21352/?fbclid=IwAR2KPsSM2Ds2Yr2iA_MWwVoUgeeoH6xyNjIT291FXMpwqLYImrORMxAyR58#gallery
- [36] HANNAN, M.A., AZIDIN, F.A., MOHAMED, A. Hybrid electric vehicles and their challenges: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. Netherlands: Elsevier BV, 2013 [cit. 2019-01-22]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.097>. ISSN 13640321.
- [37] HORČÍK, Jan. Historie hybridních aut, 1. díl. *Hybrid.cz* [online]. 2009 [cit. 2018-12-14]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-1-dil>
- [38] HYBRID BRAKING. *Fueleconomy* [online]. [cit. 2018-12-15]. Dostupné z: <https://www.fueleconomy.gov/feg/hybridAnimation/hybrid/hybridbraking.html>
- [39] Hybridní automobily – historie. *Auto.cz* [online]. 03. 08. 2008 [cit. 2018-12-14]. Dostupné z: <http://blog.auto.cz/baracudaj/2008-08/hybridni-automobily-historie/>
- [40] Hybridní automobily 2. *Auto.cz* [online]. 05. 08. 2008 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <http://blog.auto.cz/baracudaj/2008-08/hybridni-automobil-2/>
- [41] Jak fungují hybridy. *Fueleconomy.gov* [online]. 2019 [cit. 2018-12-26]. Dostupné z: <https://www.fueleconomy.gov/feg/hybridtech.shtml>
- [42] KDY DOJDE ROPA A CO SE STANE? V OPTIMISTICKÉ VERZI ZA 60 LET. A V PESIMISTICKÉ.. *National Geographic* [online]. Redakce, 2018. [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: <https://www.national-geographic.cz/clanky/kdy-dojde-ropa-v-optimisticke-verzi-za-60-let-a-v-pesimisticke.html>
- [43] KILIÁN, Karel. Spalovací motory stále mají šanci: Mikrovlnný zážeh slibuje razantní snížení spotřeby i emisí. *Věda, technika, technologie, budoucnost - VTM.cz* [online]. 18. prosince 2018 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://vtm.zive.cz/clanky/spalovaci-motory-mohou-prezit-mikrovlnny-zazeh-slibuje-snizeni-emisi-o-80-/sc-870-a-196415/default.aspx>

- [44] KTS 520, KTS 550, KTS 650: For fast and efficient vehicle diagnosis. *Glodok Automotive* [online]. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: www.glodokautomotive.com/itemfiles/User%20Manual%20KTS%20520,%20KTS%20550,%20KTS%20650.pdf
- [45] LAWSON, Barrie. Nickel Metal Hydride Batteries. *Electropaedia*[online]. 2005 [cit. 2019-02-07]. Dostupné z: <https://www.mpoweruk.com/nimh.htm>
- [46] LAŽANSKÝ, Milan. Jak funguje EGR ventil? A proč je slabým místem moderních motorů?. *Autorevue.cz* [online]. 26. 1. 2018 [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/jak-funguje-egr-ventil-a-proc-je-slabym-mistem-modernich-motoru>
- [47] LIVINGSTON, Kaylie. *Oxidation-Reduction Catalysis* [online]. 24. března 2016 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://prezi.com/jfszao13pt3e/oxidation-reduction-catalysis/>
- [48] MAŘÍK, J. – KOTEK, M. THE IMPACT OF BIOFUELS ON SKODA RAPID 1.6 TDI ENGINE'S EMISSIONS AND FUEL CONSUMPTION. XLIX. International scientific conference of the Czech and Slovak Universities' Departments and Institutions Dealing with the Research of Combustion Engines [online]. Praha, 2018.
- [49] MATRIX-MG Series [online]. *Bruker*, c2017 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: https://www.bruker.com/fileadmin/user_upload/8-PDF-Docs/OpticalSpectroscopy/Gas_Analysis/MATRIX-MG/Brochures/MATRIX_MG_Brochure_EN.pdf
- [50] MATRIX-MG5. *Bruker* [online]. c2019 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://www.bruker.com/products/infrared-near-infrared-and-raman-spectroscopy/gas-analysis/matrix-mg5/overview.html>
- [51] MURATI, Arnaud. Les constructeurs ne veulent toujours pas de RDE. *Pro L'argus* [online]. 12/10/2015 [cit. 2019-02-14]. Dostupné z: <https://pro.largus.fr/actualites/les-constructeurs-ne-veulent-toujours-pas-de-rde-6625387.html>
- [52] Nickel cadmium cell (NiCd). *Recharge batteries* [online]. [cit. 2019-02-07]. Dostupné z: <https://www.rechargebatteries.org/knowledge-base/batteries/nickel-cadmium-cell-nicd/>
- [53] NICOLAS, Romain. The different driving cycles. *Car-engineer* [online]. 5. 1. 2013 [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: <http://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/>
- [54] NOx Storage Catalyst (NSC). *UMICORE AUTOMOTIVE CATALYSTS* [online]. [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <https://ac.umicore.com/en/technologies/nox-storage-catalyst/>

- [55] Odsávání výfukových plynů: Odsávací ventilátor FILCAR AL - 1500/C [online]. 2014 [cit. 2018-03-14]. Dostupné z: <http://www.technology-garage.cz/odsavaci-ventilatory-filcarrada-al-plechove-lopatkove/odsavaci-ventilator-filcar-al-1500c-ventilator-11-kw-15-hpro-carvantruckbus>
- [56] PASSING. *Fueleconomy* [online]. [cit. 2018-12-15]. Dostupné z: <https://www.fueleconomy.gov/feg/hybridAnimation/hybrid/hybridpassing.html>
- [57] Přehled emisních norem. *Srovnátor.cz* [online]. 27. 09. 2018 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://www.srovnator.cz/clanky/prehled-emisnich-norem/>
- [58] SABRI, M.F.M., et.al. A review on hybrid electric vehicles architecture and energy management strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. Netherlands: Elsevier BV, 2015 [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.036>. ISSN 1364-0321.
- [59] SAJDL, Jan. EGR (Exhaust Gas Recirculation). *Autolexicon.net* [online]. c2019 [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/egr-exhaust-gas-recirculation/>
- [60] SAJDL, Jan. Emise výfukových plynů. *Autolexicon.net* [online]. c2019 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/emise-vyfukovych-plynu/?fbclid=IwAR3bFfcr6uHT5rI4loNK5Bmi5vg4gDeqNLfkfwQ7qhULmRIMiTPVnliEjIM7>
- [61] SAJDL, Jan. Emisní norma EURO. *Autolexicon.net*[online]. c2019 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/emisni-norma-euro/>
- [62] SAJDL, Jan. Mild Hybrid. *Autolexicon.net* [online]. [cit. 2019-01-22]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/mild-hybrid/>
- [63] SAJDL, Jan. Oxid uhličitý CO₂. *Autolexicon.net*[online]. c2019 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/oxid-uhlicity-co2/>
- [64] SPECIÁLNÍ VLASTNOSTI HYBRIDNÍCH VOZIDEL. *Rad Air*[online]. c2019 [cit. 2018-12-26]. Dostupné z: <https://www.radair.com/2017/02/special-features-of-hybrid-vehicles/>
- [65] STEJSKALÍK, Jaromír. SNIŽOVÁNÍ EMISÍ ŠKODLIVIN U VZNĚTOVÝCH MOTORŮ. *Moderní metody v dopravě a přepravě pro 21. století*[online]. 2012 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/3493974-Snizovani-emisi-skodlivin-u-vznetovych-motoru.html>
- [66] Stručný souhrn vlivů emisí z dopravy na životní prostředí a lidské zdraví. *Ročenka dopravy*[online]. Ministerstvo dopravy ČR [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: www.blokovygrant.cz/download.php?id=830&typ=m

- [67] ŠURKALA, Milan. Brusel chce snížit emise aut o 40 % do roku 2030. *Svět mobilně* [online]. 8. 10. 2018 [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: <https://www.svetmobilne.cz/brusel-chce-snit-emitse-aut-o-40-do-roku-2030/6853>
- [68] The Gas Turbine (Automobile). *What-when-how* [online]. The-Crankshaft Publishing [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <http://what-when-how.com/automobile/the-gas-turbine-automobile/>
- [69] The Real Driving Emissions test. *CarEmissionsTestingFacts* [online]. [cit. 2019-02-14]. Dostupné z: <http://www.caremissionstestingfacts.eu/rde-real-driving-emissions-test/>
- [70] Toyota Yaris 2017 - Nové varianty výbavy a motor 1,5 l. *Toyota Central Europe - Czech s.r.o.* [online]. 13. 03. 2017 [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: <https://www.toyota.cz/world-of-toyota/news/2017/toyota-yaris-2017.json>
- [71] Toyota Yaris Hybrid Emergency Response Guide. *Toyota Motor Corporation* [online]. c2012 [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: https://www.toyota-tech.eu/HYBRID/ERG/EN/Yaris_NHP130_erg.pdf
- [72] VAVERKA, Lukáš. Filtr pevných částic mají už skoro všechna benzínová auta. Bát se ho ale nemusíte. *Autobible.cz* [online]. 1. 2. 2019 [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/filtr-pevnych-castic-maji-uz-skoro-vsechna-benzinova-auta-bat-se-nemusite/>
- [73] VOJÁČEK, Antonín. El. motory a jejich řízení - základní přehled - 1.díl. *Automatizace.HW.cz* [online]. 7. červenec 2014 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/el-pohony-mereni-a-regulace/el-motory-a-jejich-rizeni-zakladni-prehled.html>
- [74] What are Brushless DC Motors. *Renesas Electronics* [online]. c2010-2019 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: <https://www.renesas.com/in/en/support/technical-resources/engineer-school/brushless-dc-motor-01-overview.html>
- [75] WHAT IS WLTP AND HOW DOES IT WORK?. *WLTP FACTS* [online]. [cit. 2019-02-14]. Dostupné z: <http://wltpfacts.eu/what-is-wltp-how-will-it-work/>
- [76] Žhavící Svíčky. *Sien* [online]. [cit. 2019-01-30]. Dostupné z: <http://www.sien.cz/zhavicisvicky.html>

10 Seznam zkratek

| Zkratka | Název | Zkratka | Název |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------|--|
| EU | Evropská unie | NiMH | Nikl-metal hydrid |
| km/h, km·h ⁻¹ | Kilometr za hodinu | Li-ion | Lithium-iont |
| cm ³ | Centimetr krychlový | EVT | Electric variable transmission |
| min ⁻¹ | Otáčka za minutu | PST | Powerful split transmission |
| kW | Kilowat | NEDC | New European Driving Cycle |
| Nm | Newtonmetr | WLTP | Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure |
| g/kWh | Gram na kilowatthodinu | ECE | Economic Commission for Europe |
| ° C | Stupeň Celsia | EUDC | Extra Urban Driving Cycle |
| MPa | Megapascal | RDE | The Real Driving Emissions |
| PEMFC | Proton Exchange Membrane Fuel Cell | m | Metr |
| SOFC | Solid Oxide Fuel Cell | s | Sekunda |
| DC | Direct Current | CO | Oxid uhelnatý |
| AC | Alternating Current | HC | Nespálené uhlovodíky |
| BLDC | Brushless DC motor | NO _x | Oxidy dusíků |
| Ah | Ampérhodina | PM | Particulate matter |
| kg | Kilogram | CO ₂ | Oxid uhličitý |
| V | Volt | NO | Oxid dusnatý |
| Wh/den | Watthodina za den | NO ₂ | Oxid dusičitý |
| A | Ampér | SO ₂ | Oxid siřičitý |
| Wh/kg | Watthodina na kilogram | PAH | Polycyklické aromatické uhlovodíky |
| Wh/l | Watthodina na litr | H ₂ O | Voda |
| W/kg | Watt na kilogram | g/km | Gram na kilometr |
| NiCd | Nikl-kadmium | nm | Nanometr |
| Cd | Kadmium | μm | Mikrometr |
| NiOOH | Hydroxid niklu | μg/m ³ | Mikrogram na metr krychlový |

| Zkratka | Název | Zkratka | Název |
|-------------------|---|---------|----------------------------|
| EGR | Exhaust Gas Recirculation | ŘJ | Řídící jednotka |
| DPF | Diesel particles filter | CF | Calibration factor |
| GPF | Gasoline Particular Filter | DF | Dilution factor |
| SCR | Selective catalytic reduction | Coef. | Coeficient |
| VVT – i | Variable Valve Timing with intelligence | FSI | Fuel Stratified Injectihon |
| VVT – iE | Variable Valve Timing – intelligent by Electric motor | | |
| e – CVT | Electronic continuously variable transmission | | |
| g | Gram | | |
| m ³ /h | Metr krychlový za hodinu | | |
| Hz | Hertz | | |
| dB | Decibel | | |
| mm | Milimetr | | |
| FTIR | Fourier-transform infrared spectroscopy | | |
| cm ⁻¹ | Vlnočet | | |
| GA | Gas Analysis | | |
| EEPS | The Engine Exhaust Particle Sizer | | |
| l/min | Litr za minutu | | |
| kPa | Kilopascal | | |
| OBD | On-Board Diagnostics | | |
| USB | Universal Serial Bus | | |
| PC | Personal computer (počítač) | | |
| ESI | Electronic Information System | | |
| ISO | International Organization for Standardization | | |
| CAN | Controller Area Network | | |
| MS | Microsoft | | |

11 Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. 1 Vozydlo s hybridním pohonem vynalezeno F. Porche [39]..... | 5 |
| Obr. 2 Plug – in hybrid společnosti Galt Motor [39]..... | 6 |
| Obr. 3 Plug – in paralel hybrid Audi [39]..... | 6 |
| Obr. 4 Honda Insight – rok 1999 [39] | 7 |
| Obr. 5 Dislokace pohonné jednotky – Honda Insight [39]..... | 7 |
| Obr. 6 Toyota Prius první typ – rok 1997 až 2003 [39] | 7 |
| Obr. 7 Hlavní komponenty hybridní pohonné jednotky (upraveno) [41]..... | 8 |
| Obr. 8 Hybridní pohon – běžný provoz [18] | 9 |
| Obr. 9 Hybridní pohon – akcelerace (předjíždění) [56] | 9 |
| Obr. 10 Hybridní pohon – brzdění (decelerace) [38] | 9 |
| Obr. 11 Účinnost – spalovací motor [2] | 9 |
| Obr. 12 Účinnost – elektrický motor [2] | 10 |
| Obr. 13 Hybridní pohon vozidla – pracovní cyklus při jízdě (upraveno) [7]..... | 10 |
| Obr. 14 Hybridní pohon – sériové uspořádání [40]..... | 11 |
| Obr. 15 Hybridní pohon – paralelní uspořádání [40] | 12 |
| Obr. 16 Hybridní pohon – kombinace sériového a paralelního uspořádání [40]..... | 13 |
| Obr. 17 Vnější otáčková charakteristika zážehového motoru (upraveno) [5]..... | 17 |
| Obr. 18 Spotřeba paliva – zážehový motor (upraveno) [5] | 17 |
| Obr. 19 Vnější otáčková charakteristika vznětového motoru (upraveno) [5] | 19 |
| Obr. 20 Spotřeba paliva – vznětový motor (upraveno) [5]..... | 19 |
| Obr. 21 Spalovací turbína – pracovní proces [2]..... | 21 |
| Obr. 22 Schéma principu funkce palivových článků [17] | 22 |
| Obr. 23 Umístění systému převodníku / měniče ve vozidle s palivovými články (upraveno) [5] | 22 |

| | |
|--|----|
| Obr. 24 Vnější otáčková charakteristika asynchronního elektromotoru (upraveno) [5] | 24 |
| Obr. 25 Účinnost – asynchronní elektromotor (upraveno) [5] | 24 |
| Obr. 26 Vnější otáčková charakteristika stejnosměrného BLDC elektromotoru (upraveno) [5] | 25 |
| Obr. 27 Účinnost – stejnosměrný BLDC elektromotor (upraveno) [5]..... | 25 |
| Obr. 28 Průběh jízdního cyklu NEDC (upraveno) [53]..... | 34 |
| Obr. 29 Průběh jízdního cyklu WLTP třídy 3 (upraveno) [53] | 35 |
| Obr. 30 RDE – reálné měření emisí za provozu (upraveno) [51]..... | 36 |
| Obr. 31 Struktura katalyzátoru a jeho chemické reakce [33] | 42 |
| Obr. 32 Zpětné vedení výfukových plynů (upraveno) [59]..... | 43 |
| Obr. 33 Filtr pevných částic – struktura a popis [26] | 44 |
| Obr. 34 Schéma selektivní katalytické redukce (upraveno) [20] | 45 |
| Obr. 35 Toyota Yaris 1,5 VVT-i Hybrid [70] | 48 |
| Obr. 36 Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid – schéma rozložení jednotlivých částí hybridního pohonného systému (upraveno) [35] | 49 |
| Obr. 37 Toyota Yaris 1,5 VVT-iE [70] | 49 |
| Obr. 38 Válcový dynamometr (zkušebna)..... | 50 |
| Obr. 39 Centrální ovládací skříň pro válcový dynamometr | 51 |
| Obr. 40 Válcová zkušebna – ustavovací zařízení vozidel | 52 |
| Obr. 41 Odsávací ventilátor FILCAR AL - 1500/C | 52 |
| Obr. 42 Odsávací ventilátor – spouštěcí a řídicí skříň..... | 53 |
| Obr. 43 Plynový analyzátor MATRIX MG – 5 - popis (upraveno) [49]..... | 54 |
| Obr. 44 Sonda od plynového analyzátoru | 55 |
| Obr. 45 Přístroj EEPS – spektrometr velikosti pevných částic z výfukových plynů [28]..... | 56 |
| Obr. 46 Sonda (trubice) - příslušenství přístroje EEPS | 57 |

| | |
|---|----|
| Obr. 47 Termoředící zařízení – příslušenství přístroje EEPS [29] | 57 |
| Obr. 48 Bosch KTS 520 [21] | 58 |
| Obr. 49 Diagnostický software ESI [tronic] 2.0 | 59 |
| Obr. 50 Software ControlWeb | 60 |
| Obr. 51 Software OPUS GA [48] | 60 |
| Obr. 52 Software Engine Exhaust Particle Sizer (EEPS) | 61 |
| Obr. 53 Schéma propojení měřících přístrojů | 63 |
| Obr. 54 Kalibrační certifikát přístroje EEPS | 65 |

12 Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tab. 1 Parametry jednotlivých akumulátorů a ultrakapacitoru [5] | 28 |
| Tab. 2 Jednotlivé emisní EURO normy – povolené emisní hodnoty [31], [57], [61] | 37 |
| Tab. 3 Souhrn základních parametrů testovaných vozidel [70]..... | 47 |
| Tab. 4 Parametry válcového dynamometru ČZU [48]..... | 51 |
| Tab. 5 Parametry odsávacího ventilátoru FILCAR AL - 1500/C [55] | 53 |
| Tab. 6 Parametry plynového analyzátoru MATRIX MG - 5..... | 55 |
| Tab. 7 Parametry spektrometru velikosti pevných částic (EEPS) [29]..... | 57 |
| Tab. 8 Bosch KTS 520 - diagnostické protokoly [21]..... | 58 |

13 Seznam grafů

| | |
|--|----|
| Graf 1 Koncentrace CO _ WLTP _ Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid..... | 67 |
| Graf 2 Koncentrace CO ₂ _WLTP_Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid..... | 68 |
| Graf 3 Množství pevných částic·cm ⁻³ _WLTP_Toyota Yaris 1,5 VVT – i Hybrid | 69 |
| Graf 4 Koncentrace CO_WLTP_Toyota Yaris 1,5 VVT – iE..... | 70 |
| Graf 5 Koncentrace CO ₂ _WLTP_Toyota Yaris 1,5 VVT – iE | 71 |
| Graf 6 Množství pevných částic·cm ⁻³ _WLTP_Toyota Yaris 1,5 VVT – iE..... | 72 |
| Graf 7 Porovnání koncentrací CO obou vozidel..... | 74 |
| Graf 8 Porovnání koncentrací CO ₂ obou vozidel..... | 75 |
| Graf 9 Porovnání množství pevných částic v surových plynech obou vozidel | 76 |

14 Přílohy

Příloha 1 Soubor jízdních cyklů [11]

| Soubor jízdních cyklů | Stručný popis |
|---|---|
| Legislativní jízdní cykly EU | Evropské testovací cykly používané pro účely schvalování automobilů, těžkých nákladních vozidel a autobusů. |
| Americké jízdní cykly | Různé zkušební cykly z USA, včetně jejich typových schvalovacích cyklů - CES, HGV a autobusy. |
| Japonské legislativní jízdní cykly | Testovací jízdní cykly používané pro účely schválení automobilů v Japonsku. |
| Legislativní jízdní cykly motocyklů | Zkoordinované celosvětové testovací jízdní cykly pro schvalování motocyklů. |
| Waren Spring Laboratory jízdní cykly (WSL) | Testovací jízdní cykly pro automobily vyvinuté TRL na trasách Stevenage a Hitchin, které používala bývalá laboratoř společnosti Warren Spring pro silniční testování. |
| TRAMAQ UG214 | Testovací jízdní cykly vyvinuté v rámci programu DfT TRAMAQ, projekt UG214 jsou pro automobily, těžká nákladní vozidla a autobusy. |
| Millbrook | Testovací jízdní cykly vyvinuté firmou Millbrook Proving Ground jsou pro nákladní automobily a autobusy. |
| OSCAR | Testovací jízdní cykly vyvinuté v rámci 5. Evropského projektu: OSCAR - automobily. |
| Jízdní cykly ARTEMIS | Testovací cykly vyvinuté v rámci 5. Evropského projektu: ARTEMIS - autotomobily. |
| Jízdní cykly EMPA | Švýcarské zkušební cykly vyvinuté EMPA pro UBA. |
| Příručka - jízdní cykly | German / Rakouska / Švýcarska (DACH) příručka emisních faktorů. Shrnutí švýcarských jízdních cyklů. |
| Jízdní cykly MODEM-IM | Krátké testovací jízdní cykly vyvinuté pro účely kontroly a údržby v rámci projektu JCS. |
| Jízdní cykly INRETS | Testovací jízdní cykly vyvinuté společností INRETS, která čerpá z dat zaznamenaných kolem Lyonu ve Francii. |
| INRETS krátké cykly (zastaralé) | Krátká verze jízdních cyklů INRETS. |
| Jízdní cykly MODEM | Reálný jízdní cyklus vyvinutý v rámci projektu MODEM, založen na údajích z 60 vozidel při běžném používání v šesti městech ve Velké Británii, Francii a Německu. |
| ARTEMIS WP3141 | Dodatečně testovací jízdní cykly pro automobily získané v rámci projektu ARTEMIS, založené na datech získaných v Neapoli. |
| Modem - HyZem pro osobní automobily | Testovací jízdní cykly vyvinuté pro hodnocení hybridního vozidla. |
| Jízdní cyklus osobního automobilu pro profesionální použití | Testovací jízdní cykly vyvinuté společností INRETS z údajů shromážděných z automobilů používaných k obchodním účelům. |
| Jízdní cyklus pro lehké dodávky (1,3 až 1,7 tuny) | Testovací jízdní cykly vyvinuté firmou INRETS pro malé dodávky. |
| Jízdní cyklus pro 2,5 tuny dodávky | Testovací jízdní cykly vyvinuté společností INRETS pro střední dodávky. |
| Jízdní cyklus pro 3,5 tuny dodávky | Testovací jízdní cykly vyvinuté společností INRETS pro velké dodávky. |
| MTC cykly | Testovací jízdní cykly vyvinuté společností MTC pro automobily. |
| TUG cykly | Testovací jízdní cykly vyvinuté společností TUG, Graz, aby vyhodnotili účinky gradientu. |
| TRRL cykly | Stylové jízdní testovací cykly vyvinuté společností TRRL, založené na rozsáhlém počtu dat. |
| TRL M25 | Testovací jízdní cykly vysokorychlostních vozidel vyvinuté společností TRL na základě údajů shromážděných z dálnice M25 |
| BP autobus cykly | Autobusový testovací jízdní cyklus vyvinutý společností BP |
| TNO autobus | Autobusový testovací jízdní cyklus vyvinutý společností TNO, Nizozemsko |
| Motocyklové cykly FHB | Motocyklové testovací jízdní cykly vyvinuté na Bielské univerzitě, aplikované vědy ve Švýcarsku |