



EMISNÍ NORMY A JEJICH VLIV NA AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství
Autor práce: **Roman Rybáček**
Vedoucí práce: doc. Ing. Lubomír Moc, CSc.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechanical Engineering ■

EMISSION STANDARDS AND THEIR IMPACT ON THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Bachelor thesis

Study programme: B2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301R000 – Mechanical Engineering

Author: **Roman Rybáček**
Supervisor: doc. Ing. Lubomír Moc, CSc.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Roman Rybáček**
Osobní číslo: **S13000902**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojní inženýrství**
Název tématu: **Emisní normy a jejich vliv na automobilový průmysl**
Zadávací katedra: **Katedra vozidel a motorů**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte analýzu vývoje legislativních předpisů pro mobilní použití pohonných jednotek.
2. Zpracujte metodiky měření emisí na pohonných agregátech automobilů.
3. Zpracujte časový vývoj technických řešení ke snížení emisí na konvenčních pohonných agregátech.
4. Zpracujte předpoklady pro další použití konvenčních pohonných jednotek a alternativní pohony z hlediska vývoje emisních předpisů.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: cca 40 stran textu a příloh

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

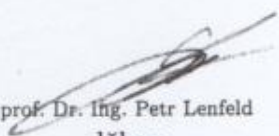
- [1] Obecně www stránky s problematikou emisí spalovacích motorů.
- [2] FLIEGEL, J. *Analýza nejistot emisních testů na vozidlovém dynamometru*. Liberec, 2014. Diplomová práce. TUL, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů.

Vedoucí bakalářské práce:


doc. Ing. Lubomír Moc, CSc.
Katedra vozidel a motorů

Datum zadání bakalářské práce: 6. března 2015

Termín odevzdání bakalářské práce: 6. června 2016


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Robert Voženilek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 6. března 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování:

Rád bych poděkoval Doc. Ing. Lubomíru Mocovi, CSc. a Ing. Miroslavu Dolenskému za jejich cenné rady a podněty, které mi pomohli při psaní bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval mé rodině a přátelům za jejich podporu během studia.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá vlivem emisních norem na automobilový průmysl. Práce analyzuje vývoj legislativních předpisů pro používání mobilních pohonných jednotek a uvádí metodiku měření emisí na pohonných agregátech automobilu. Stěžejní částí práce je přehled technických opatření používaných ke snížení emisí na konvenčních agregátech. Dále je zde nastíněna problematika použití konvenčních pohonných jednotek v budoucnosti a použití alternativních pohonů dle současných legislativních předpisů.

Klíčová slova:

Emisní normy, emisní testy, EU6, homologace, HEV, PHEV, BEV

Abstract

The bachelor thesis deals with influence of emission standards on automotive industry. Thesis analysis development of emission standards for using mobile drive units and shows methodics of measuring emissions on propulsion automobile aggregates. Main part of thesis is summary of technical remedy using for reduction of emissions on conventional aggregates. Then there is outlined the issue of conventional powertrains in the future and the use of alternative propulsion according to current legislative regulations.

Key words:

Emission Standards, emission tests, EU6, homologation, HEV, PHEV, BEV

Obsah

Úvod.....	14
1 Vývoj emisních legislativních předpisů	15
1.1 Emisní limity v EU	16
1.1.1 Přejechod na EU6.....	18
1.2 Emisní limity v USA	19
1.2.1 Historický vývoj.....	19
1.2.2 Tier III	19
1.2.3 Porovnání s EU	19
1.3 Emisní limity v Rusku	20
1.4 Emisní limity v Indii.....	20
1.5 Emisní limity v Čínské lidové republice.....	21
2 Metodiky měření emisí na pohonných agregátech automobilů.....	22
2.1 Metodika měření emisí v EU	22
2.2 Emisní testy	22
2.2.1 NEDC (New European Driving Cycle)	23
2.2.2 FTP (Federal Test Procedure)	24
2.2.3 WLTP.....	24
3 Historický vývoj technických opatření na konvekčních agregátech	26
3.1 Aktivní opatření ovlivňující spalovací proces	26
3.1.1 Způsob vstřikování paliva	26
3.1.2 Turbodmychadla	29
3.1.3 Proměnné časování ventilů	30
3.1.4 Kompresní poměr.....	32
3.1.5 Recirkulace výfukových plynů	33
3.1.6 Millerův cyklus	35
3.2 Aktivní opatření neovlivňující spalovací proces	36
3.2.1 Systém vypínání válců	36
3.2.2 Start - stop rekuperace.....	38
3.2.3 Rekuperace energie pomocí setrvačnickové metody	39
3.2.4 Recirkulace benzínových par	40
3.3 Pasivní opatření	41
3.3.1 Katalytické konvertory.....	41
3.3.2 Filtry pevných částic	46

3.4	Downsizing	46
4	Budoucnost pohonných jednotek	48
4.1	Budoucnost konvenčních pohonných jednotek	48
4.2	Alternativní pohony	51
4.2.1	HEV	52
4.2.2	PHEV	55
4.2.3	BEV	57
4.2.4	Porovnání alternativních pohonů	59
5	Možnosti výrobců při překročení legislativních předpisů	65
5.1	Pokutování při překročení emisních limitů	65
5.2	Superkreditový systém	65
5.3	Zhodnocení finančního dopadu udělených pokut	66
	Závěr	67
	Použitá literatura	68
	Přílohy	79

Seznam obrázků

Obr. 1 – Přehled emisních norem ve světě.....	18
Obr. 2 - Režimy plnění spalovacího prostoru typu FSI.....	27
Obr. 3 - Řez turbodmychadlem.....	30
Obr. 4 - Princip činnosti systému VTEC	31
Obr. 5 - Princip činnosti systému Valvelift.....	32
Obr. 6 - Princip recirkulace výfukových plynů.....	34
Obr. 7 - Časování ventilů spalovacího motoru při použití Millerova cyklu.....	35
Obr. 8 - Princip činnosti systému DoD	37
Obr. 9 - Princip činnosti systému ZAS	37
Obr. 10 - Schéma systému KERS vyvíjený automobilkou Volvo	40
Obr. 11 - Schéma umístění a vedení recirkulace benzínových par	40
Obr. 12 - Oxidační reakce	41
Obr. 13 - Redukční reakce	41
Obr. 14 - Dvoucestný katalyzátor	42
Obr. 15 - Třicestný katalyzátor	43
Obr. 16 - Katalyzátor s ukládáním NO _x	44
Obr. 17 - SCR katalyzátor.....	45
Obr. 18 - Princip downsizingu	47
Obr. 19 - Paralelní HEV.....	53
Obr. 20 - Sériová konstrukce HEV	53
Obr. 21 - Sériově - paralelní konstrukce HEV pohonu všech kol.....	54
Obr. 22 - Toyota Prius.....	54
Obr. 23 - Řešení pohonu všech kol v koncernu VW.....	56

Seznam grafů

Graf 1 - Vývoj emisních opatření omezující CO ₂ v různých částech světa	16
Graf 2 - Závislost povolených emisí CO ₂ na hmotnosti vozidla.....	17
Graf 3 - Průběh NEDC.....	23
Graf 4 - EPA Federal Test Procedure	24
Graf 5 - Průběh testovacího cyklu WLTP	25
Graf 6 - Graf závislosti teploty spalovacího prostoru na kompresním poměru	32
Graf 7 - Graf závislosti tlaku ve válci na kompresním poměru	33
Graf 8 - Graf závislosti množství vyprodukovaných emisí na rychlosti automobilu.....	34
Graf 9 - PV diagram Millerova cyklu	36
Graf 10 - Snížení spotřeby paliva v závislosti na rychlostním stupni vozidla	38
Graf 11 - Graf závislosti koncentrace NO _x na směšovacím poměru	43
Graf 12 - Množství celkových ztrát pístového spalovacího motoru	49
Graf 13 - Třecí ztráty v motoru	50
Graf 14 - Prodeje vozů dle stupně hybridizace	52
Graf 15 - Světové prodeje plug-in hybridů dle regionů	56
Graf 16 - Porovnání používaných baterií, porovnání BEV s EREV	57
Graf 17 - Odhadované prodeje vozů s alternativním pohonem v EU	59

Seznam tabulek

Tab. 1 - Dělení vozů dle WLTP	25
Tab. 2 - Účinnost přeměny dvoucestného katalyzátoru	42
Tab. 3 - Účinnost přeměny třícestného katalyzátoru.....	43
Tab. 4 - Účinnost přeměny NSCR katalyzátoru.....	44
Tab. 5 - Účinnost přeměny SCR katalyzátoru.....	45
Tab. 6 - Zástupci vozů HEV	60
Tab. 7 - Zástupci vozů PHEV	61
Tab. 8 - Zástupci vozů BEV	63
Tab. 9 - Velikost pokuty v EU při překročení CO ₂ limitů	65
Tab. 10 - Násobný faktor superkreditů	66

Seznam zkratek:

CO	Oxid uhelnatý
NO _x	Oxidy dusíku
HC	Nespalitelné uhlovodíky
SO _x	Oxidy síry
PM	Pevné částice
CO ₂	Oxid uhelnatý
NO	Oxid dusný
NO ₂	Oxid dusnatý
CH ₂ O	Formaldehyd
H ₂ O	Voda
Al ₂ O ₃	Oxid Hlinitý
Pt	Platina
Pt	Paládium
Rh	Rhodium
BaO	Oxid barnatý
SO ₂	Oxid sirný
NH ₃	Čpavek
N ₂	Dusík
γ TiAl	Gama fáze slitiny TiAl
BEV	Battery electric vehicle, bateriové elektrické vozidlo
BPEV	Blended plug-in electric vehicle, Smíšené plug-in elektrické vozidlo
CARB	California air resources board, Kalifornská norma čistého ovzduší
ČLR	Čínská lidová republika
DOD	Displacement on demand, Odpojení na požádání
DPF	Diesel particular filter, Filtr pevných částic
ECE	Economic commission for Europe, Evropská ekonomická komise
EGR	Exhaust gas recirculation, Recirkulace výfukových plynů
EHK	Evropská hospodářská komise
EPA	Environmental protection agency, Agentura pro ochranu životního prostředí
EREV	Extended range electric vehicle, Elektrické vozidlo s prodlouženým odjezdem
EU	European union, Evropská unie
EUDC	Extra urban driving cycle, Mimoměstský testovací cyklus
FCEV	Fuel cell electric vehicle, Elektrické vozidlo s palivovými články
FSI	Fuel system injection, systém vstřikování paliva
GM	General motors
HEV	Hybrid electric vehicle, Hybridní elektrické vozidlo
KERS	Kinetic energy recuperation, Rekuperace kinetické energie
LEV	Low – emission vehicle, Nízko emisní vůz

NEDC	New european driving cycle, Nový evropský testovací cyklus
NMHC	Non methan hydrocarbons, Nemetanické uhlovodíky
OHV	Over head valve
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicle, Elektrické plug-in vozidlo
PSA	Peugeot Société Anonyme
RFB	Redox flow battery, Tekut� redox baterie
SCR	Selective catalytic reduction, Selektivn� katalytick� redukce
TFSI	Turbo fuel systém injection, Systém vstřikování paliva s přepřňov�n�m
TLEV	Transition low emission vehicle, N�zko emisní vozidlo
TSI	Twinturbo system injection, Systém vstřikování paliva s dvojit�m přepřňov�n�m
TWC	Three way catalytic convertor, Tř�cestn� katalyzátor
ULEV	Ultra low emission vehicle, Vozidlo s extra n�zk�mi emisemi
USA	United states of america, Spojen� státy americk�
VTEC	Variable Timing and Lift electronic control, Variabilní elektronick� zdvih a časování
VW	Volkswagen
WLTP	World wide light duty emission test procedure, Celosv�tov� emisní test pro lehk� užitn� vozidla
ZAS	Zylinderabschaltung, Vypínání válců
ZEV	Zero emission vehicle, Vozidlo s nulovými emisemi

Úvod

V historii výroby pohonných jednotek vozidel hrál hlavní roli výkon a to mnohdy bez ohledu na tvorbu škodlivých látek. S přibývajícím množstvím automobilů se tyto látky začaly stávat problémem. Proto v současné době mají emisní normy na automobilový průmysl zásadní vliv, jemuž se často podřizuje celá koncepce vozidla.

Cílem bakalářské práce je posoudit vliv emisních norem na automobilový průmysl a to zejména na pohonné jednotky vozidel.

Práce popisuje problematiku emisních norem ve vybraných státech. Mezi tyto státy patří především státy, případně státní uskupení, s nejvyšší produkcí škodlivých látek. K plnému pochopení problematiky se práce zabývá popisem emisních testů vozidel. Vzhledem k omezenému rozsahu je vybrán pouze průběh homologace vozidel používaný v EU. U ostatních států jsou testovací cykly stručně popsány, aby bylo možné je porovnat s plánovaným testovacím cyklem pro celosvětové použití (WLTP).

Hlavní část bakalářské práce obsahuje popis vybraných emisních opatření používaných ve spalovacích motorech, které jsou v současnosti používány nebo jsou dále vyvíjeny především kvůli zpřísňujícím se emisním limitům. Na tuto část navazuje kapitola zabývající se budoucností konvenčních spalovacích agregátů a alternativních pohonů vozidel v příštích deseti až dvaceti letech.

V závěrečné části je popsán superkreditový systém zvyhodňující vozy s nízkými emisemi a způsob pokutování výrobců vozidel při překročení emisních limitů.

1 Vývoj emisních legislativních předpisů

První legislativní předpisy omezující emise produkované automobily se začaly ve světě objevovat ve druhé polovině 60. let v USA a v Japonsku. Později je následovaly státy západní Evropy a Skandinávie. Na počátku 90. let vydaly státy EU normy, které výrazně snižovaly povolené emise. V průběhu posledních 20 let dochází ke zpříšňování limitů a v současné době jsou legislativní předpisy států EU na podobné úrovni jako v USA.

Zavádění nových legislativních předpisů lze rozdělit do dvou základních směrů. Jedná se o směry technology – following a technology – forcing.

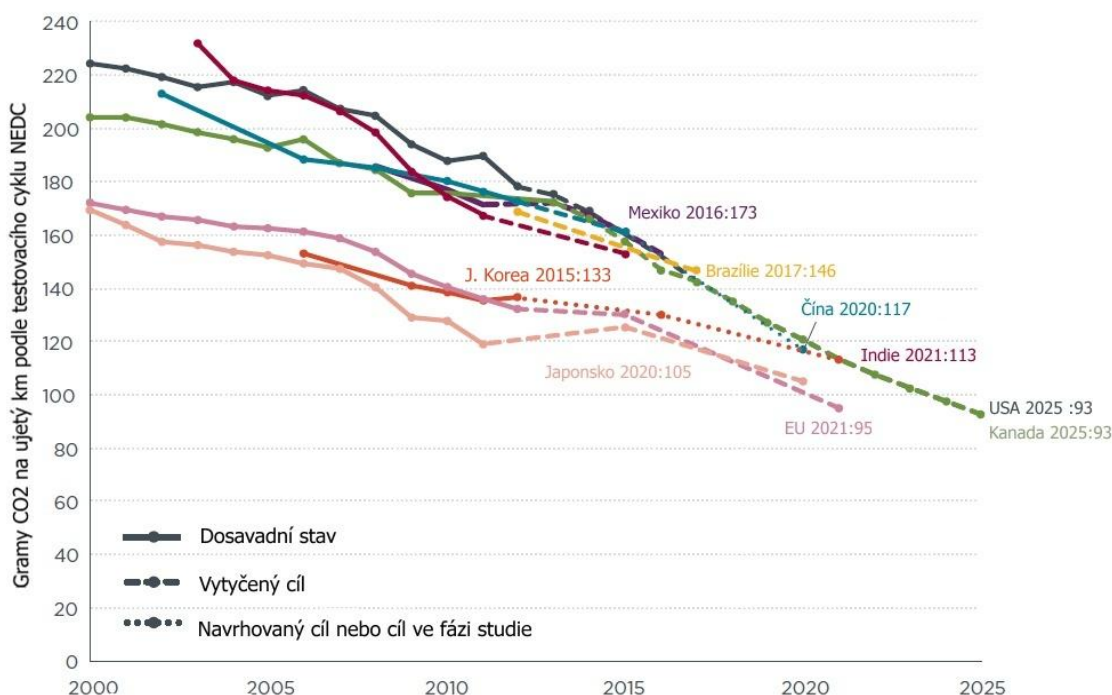
Hlavní myšlenkou směru technology – following je používat již existující a veřejnosti představené technologické možnosti, které by mohly dále snižovat množství škodlivin obsažených ve výfukových plynech. Největší výhodou jsou nízké náklady na vývoj těchto opatření. Tento směr je využíván ve státech s nižšími emisními nároky a donedávne doby také v zemích EU.

Druhý směr, tedy technology – forcing, se vyznačuje především tím, že technologické možnosti snížení emisí zatím nebyly vyzkoušeny v praxi. Výrobci jsou tedy nuceni vyvíjet, testovat a nasazovat vlastní opatření pro snižování škodlivých emisí vlastními možnostmi. To samozřejmě zvyšuje náklady na vývoj jednotlivých modulů a tím se zvyšuje i cena automobilu. Uvedený směr je již od počátku používán v USA a v Japonsku. V dnešní době se situace mění a díky zpříšňování emisí se ke směru technology – forcing přiřadily i státy EU. [40]

Předpisy postupně sledují stále větší množství škodlivých látek ve výfukových plynech. V současné době se od sebe kontrolované polutanty, až na drobné výjimky, výrazně neliší. Mezi hlavní kontrolované škodliviny patří:

1. **Oxid uhelnatý (CO)** – bezbarvý, nezapáchající, avšak velmi toxický a jedovatý plyn, který vzniká při nedokonalém spalování. Jeho množství je ovlivněno především přípravou a bohatostí směsi.
2. **Oxidy dusíku (NO_x)** – jedná se především o NO a NO₂, tyto látky velmi negativně působí na zdraví člověka, především na jeho respirační ústrojí. Vznikají za vysokých teplot a tlaků ve spalovacím prostoru, kde dochází k oxidaci vzdušného kyslíku.
3. **Nespálené uhlovodíky (HC)** – jedná se o zbytky nespáleného paliva. Hlavním problémem je jejich karcinogenost a mutagenost. Vznikají za podobných podmínek jako CO. K jejich vzniku částečně přispívá i obsah síry ve spalovaném palivu.
4. **Oxidy síry (SO_x)** – podíl síry ve výfukových plynech je vzhledem k celkovému obsahu síry vyprodukovaného v průmyslu zanedbatelný. Přesto je obsah síry v palivu sledován a omezován především kvůli jejímu negativnímu dopadu na životnost a správnou funkci katalyzátoru.
5. **Pevné částice (PM)** – jedná se o produkt především diesellových motorů. Jejich množství je neustále snižováno z důvodu jejich karcinogenního vlivu.

6. Oxid uhličitý (CO₂) – jde o plyn podporující skleníkový efekt, k jehož snižování se zavázaly státy tzv. Kjótským protokolem v celém průmyslovém odvětví. Omezení bývá vydáváno v samostatných normách a jeho množství se liší podle oblastí. Z Grafu 1 je zřejmé, že v současné době je nejpřísnější nařízení v EU a v Japonsku. [75]



Graf 1 - Vývoj emisních opatření omezující CO₂ v různých částech světa [70]

1.1 Emisní limity v EU

První emisní limit byl v EU přijat v roce 1971, jednalo se o normu ECE 15. Tato norma zpočátku omezovala pouze zážehové motory, vznětové byly zahrnuty až v průběhu vývoje dané normy. Původní norma měřila oxid uhelnatý a nespálené uhlovodíky, později přibýlo měření NO_x. Norma byla celkem čtyřikrát přepracovaná a koncem 80. let byla nahrazena vyhláškou EHK 83, která se stala základem pro nynější legislativní systém.

Stávající legislativa v EU (A.1) se začala zavádět na počátku 90. let. V roce 1993 byla zavedena emisní norma Euro 1, která rozdělovala limity podle druhu spalovaného paliva. Emisní norma sledovala několik druhů škodlivin: oxid uhelnatý, oxidy dusíku, pevné částice, odparné emise (2,0 g/test) a nespálené uhlovodíky. Sledované polutanty se nezměnily, pouze se s každou další normou snižovaly limitní hodnoty. [13][40]

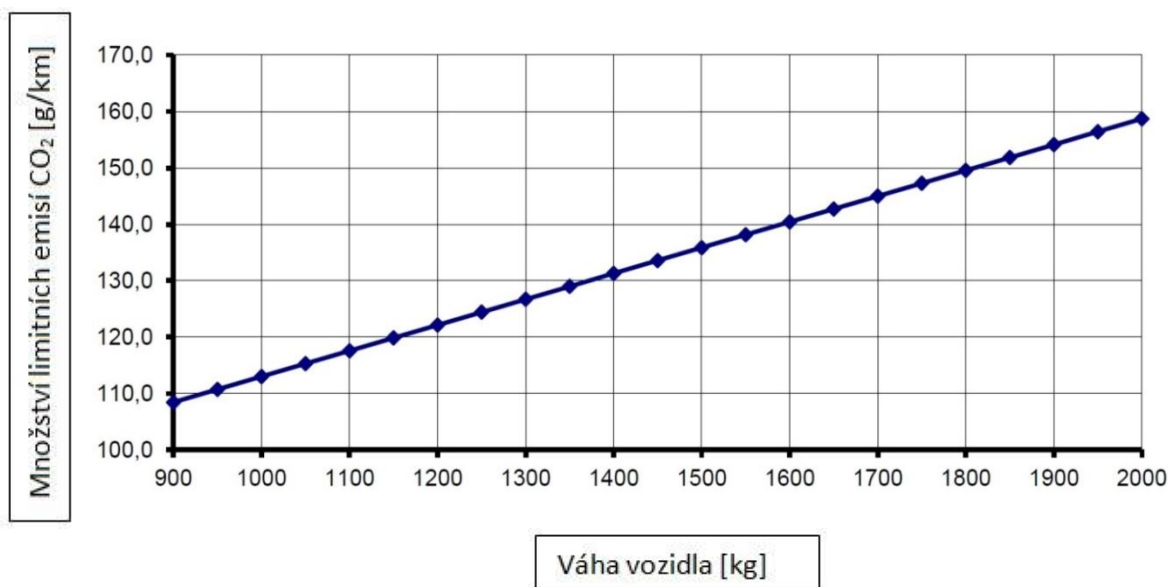
V současné době se sleduje především množství CO₂ obsaženého ve výfukových plynech. Objem CO₂ ve výfukových plynech však není obsaženo ve stávajícím předpisu. Jedná se o samostatnou normu omezující množství exhalovaného plynu z automobilu.

Množství CO₂ není pro všechny automobily stejné. Množství povolených emisí pro konkrétní model se určuje v závislosti na pohotovostní hmotnosti vozidla (Graf 2). [107] [67]

Množství povolených CO₂ emisí se určí ze vztahu (1).

$$CO_2limit = 130 + 0,0457 \cdot (M - 1375) \quad (1)$$

M – hmotnost vozidla



Graf 2 - Závislost povolených emisí CO₂ na hmotnosti vozidla

V roce 2020 vstoupí v platnost omezení (dle normy EU 443/2009), které stanoví limit CO₂ pro nově vyrobené automobily na hodnotu 95 g/km. Vzhledem k tomu, že emise CO₂ jsou přímo závislé na spotřebě paliva automobilu, zjistíme, že nově vyráběné benzínové motory by neměly mít homologační spotřebu vyšší než 4,06 l/100 km (2) a dieselové motory 3,54 l/100 km (3). [85]

Tyto hodnoty lze vypočítat podle následujících vzorců:

$$S_z = E \cdot 0,04276 \quad (2)$$

$$S_v = E \cdot 0,03727 \quad (3)$$

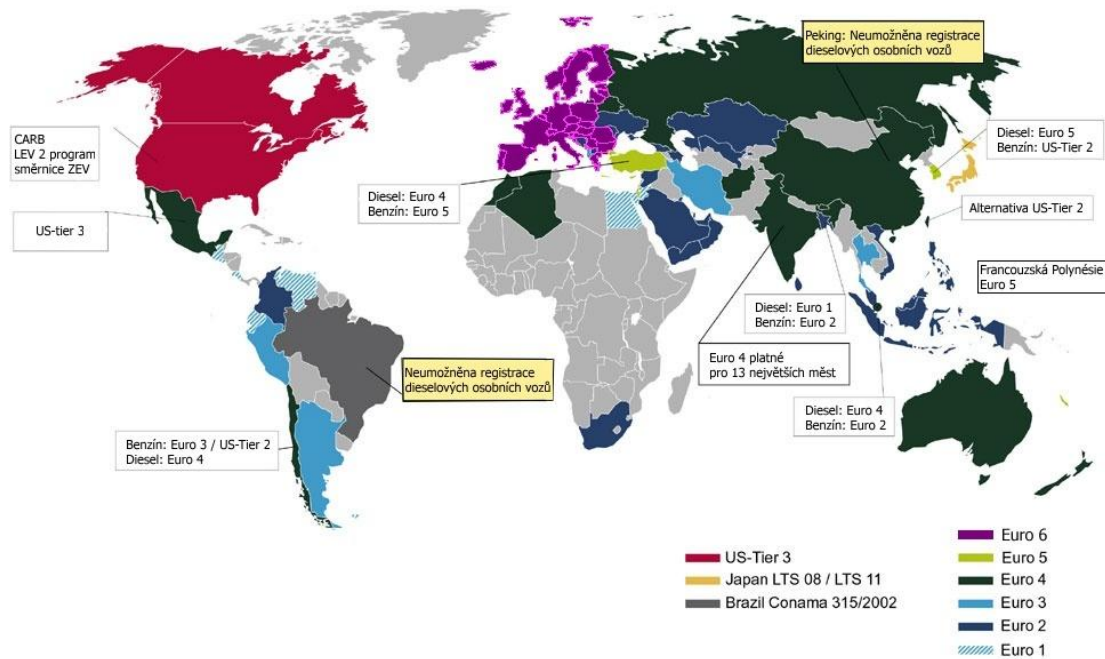
S_z – spotřeba paliva zážehového motoru

S_v – spotřeba paliva vznětového motoru

E – emisní limit CO₂

[77]

Emisní limity vydávané EU se staly výchozím zdrojem pro mnoho dalších států. Často se jedná o převzaté normy Euro, které jsou dále doplněny vlastními specifikacemi pro danou oblast. Na Obr.1 je zřetelné, které státy vychází z emisních norem EU a EHK, patří mezi ně: Rusko, Čína, Indie, Austrálie a další asijské, africké a některé jihoamerické státy. [3]



Obr. 1 – Přehled emisních norem ve světě [3]

1.1.1 Přejít na EU6

Z tabulky A.1 vyplývá, že přechodem na emisní normu Euro 6 se značně snížily hodnoty limitů vyprodukovaných nespálených uhlovodíků u benzínových motorů a množství NO_x u dieselových motorů. Zatímco pro benzínové motory by neměl být problém splnit nové emisní limity (např. zavedením pokročilejších systémů např.: Start - Stop, přidáním sekundárního katalyzátoru, systému recirkulace spalin atd.), pro dieselové motory bude nová emisní norma znamenat značný technologický posun, který si vyžádá použití nákladných opatření pro dosažení cílové hodnoty polutantů.

Inovaci pro nově vyráběné osobní automobily bude rozšíření SCR katalyzátorů, opatření pro snižování tření, složité výfukové soustavy atd. Na vozidlech přibude i mnoho dalších opatření, které zvýší jejich výrobní náklady. Bude tedy na výrobcích, jakým způsobem budou vzniklou situaci řešit tak, aby se tato skupina vozů nestala pro zákazníky neatraktivní. Jednou z možností je dotování tohoto druhu motorizace výrobcí. Pokud by snížili svou marži, vozidla s dieselovými agregáty by mohla pro zákazníky zůstat cenově dostupná. [109]

1.2 Emisní limity v USA

Kanada, USA a země ve sféře jejich politického vlivu (Jižní Korea, Perský záliv) používají normy vytvořené federálním úřadem EPA a kalifornským institutem CARB. Systém zavádění limitů v USA je od evropského značně odlišný. Celostátně platí norma vydaná úřadem EPA, nyní Tier III. V současné době dochází v jednotlivých státech k postupnému zavádění kalifornských norem, které jsou přísnější než norma celostátní.

1.2.1 Historický vývoj

Emisní limity pro osobní automobily prodávané v USA byly poprvé vydány v roce 1968. Jednalo se o normu, která státem nebyla kontrolována, ale znamenala předzvěst výrazných omezení výrobců automobilů. Od roku 1970 došlo ke značnému snížení emisních limitů a zároveň byl zřízen systém státní kontroly jejich dodržování. V 90. letech se změnil stávající systém zavádění emisních limitů. Celostátně byl federálním úřadem EPA zaveden standard Tier I. [40]

V letech 1993 – 1994 byl na území státu Kalifornie, jako důsledek problémů se značně znečištěným ovzduším v Los Angeles a jiných kalifornských městech, zaveden přísnější emisní systém. Tento systém rozděloval automobily do různých tříd. Jedná se o transitional low-emission vehicle (TLEV), low-emission vehicle (LEV), ultra low-emission vehicle (ULEV) a zero-emission vehicle (ZEV). Poslední zmiňovanou třídu, tedy vozidlo s nulovými emisemi, jsou schopny splnit pouze elektromobily. Kalifornie se tak stala první zemí, která svou legislativu upravila pro tento druh pohonu osobních vozů. [40] [12]

1.2.2 Tier III

V současné době platí v USA emisní norma s označením Tier III (A.2), vycházející z kalifornských norem. Ta vstoupila v platnost v březnu 2013 a je úzce spojená s další kalifornskou normou LEV III, jejíž zavedení je plánováno na období mezi lety 2017 a 2025. Výrobci nynější platné normy musí splnit jednu ze sedmi tříd. Třídy jsou označovány jako Bin + číslo. Číslo za třídou znamená množství NO_x a NMOG v miligramech ujetých na míli. Během homologačního cyklu jsou navíc vozidla se zážehovým motorem testována s benzínem, který má 10% podílu etanolu E10.

Tier III dále zvýšil dobu životnosti, během které automobil nesmí překročit emisní limit na 150 000 mil nebo 15 let. Tento požadavek je ekvivalentem kalifornského limitu LEV III. Další částí nařízení je požadavek na snížení množství síry v naftě z 30 ppm na 10 ppm. Toto nařízení úzce souvisí s předchozím, protože na obsahu síry závisí životnost třicestného katalyzátoru a bez snížení jejího obsahu v palivu by dosažení 150 000 mil bylo obtížnější. [12]

1.2.3 Porovnání s EU

Federální úřad USA začal s omezováním škodlivých emisí dříve než EU. Do nedávné doby byly emisní limity mnohem přísnější než je tomu u nás, a tak získaly automobilky v USA značnou výhodu v zavádění a vývoji nových opatření. V posledních letech se situace změnila a omezení jsou na podobné úrovni. Rozdíl mezi Tier III a Euro 6 je

ovšem ve sledovaných emisích, protože americká norma obsahuje navíc ještě omezení množství vyprodukovaného formaldehydu.

Osobně považuji za hlavní rozdíl způsob testování. Zejména pak testovací cyklus FTP, který se od evropského značně odlišuje (viz. kapitola 3). Stejně vozidlo testované v EU a v USA tak může mít zcela odlišné výsledné hodnoty emisí.

1.3 Emisní limity v Rusku

Ruská federace přejala normativní předpisy EU v téměř nezměněné podobě (A.3). Zavádění emisních norem probíhá oproti EU zpožděně cca o 6-10 let. Limity tedy nejsou omezením pro zahraniční výrobce, kteří mohou použít konvenční opatření montovaná do vozů ve státech s přísnějšími emisními limity. První emisní norma vešla v platnost již v roce 1999, ale ta nebyla výrobci příliš dodržována, protože chyběl kontrolní úřad, který by na dodržování norem dohlížel. V roce 2006 bylo vydáno další emisní omezení Euro 2, které je již výrobci a importéry automobilů dodržováno a státem kontrolováno. [110] [139]

1.4 Emisní limity v Indii

První indická emisní norma vešla v platnost v roce 1989. Tato norma byla brzy nahrazena komplexnějšími předpisy, které rozlišovaly benzínové (1991) a diesellové (1992) motory. Od roku 2000 začala Indie postupně přejímat evropské normy pro osobní automobily (A.4), které byly upraveny pro specifické potřeby indického trhu, konkrétně pro dvou a tříkolová vozidla.

S ohledem na téma práce je zde uváděna pouze legislativa pro čtyřkolová lehká užitková vozidla. [69]

V současné době v Indii platí celostátní emisní norma Bharat Stage III založená na emisní normě Euro 3. Legislativní předpis Bharat Stage IV založený analogicky na normě Euro 4 platí ve vybraných 13 městech (Bombaj, Kalkata, Čennaj, Bengalúru, Hajdarábád, Secuderabad, Ahmadábád, Puné, Surat, Kánpur, Ágra, Solapur a Lacknaú) a v národní oblasti Dillí. Dalším rozdílem oproti EU je úprava homologačního cyklu NEDC, nejvýraznější odchylkou je snížení maximální rychlosti na 90 km/h oproti evropskému testovacímu cyklu. Zavedení Bharat Stage V je plánováno přibližně na rok 2015. [138]

Uvedené emisní normy nejsou tak přísné jako v EU a v USA (A.5) např. povolený limit CO₂ v roce 2015 je 135 g/km a v roce 2021 je plánován na 113 g/km. Výrobci tak nejsou nuceni instalovat všechna dostupná opatření pro snížení emisí, která by mohla být poškozena nekvalitním palivem.

1.5 Emisní limity v Čínské lidové republice

První snahy o zavedení emisních norem v Číně se datují na počátek 80. let, ale národní program pro snížení škodlivých emisí pro automobilový průmysl započal až v polovině let 90. V tuto dobu se Čína rozhodla zavést legislativní systém podobný evropskému (A.6). Zároveň používá pouze nepatrně pozměněný testovací cyklus NEDC. [137]

V současné době platí celostátně emisní norma China IV, vycházející z předpisu Euro 4. Zpřísnění limitů je celostátně plánováno na rok 2018, kdy má vstoupit v platnost emisní norma China 5. Ta v současné době platí v Pekingu a Šanghaji. Zavádění emisních norem tedy neprobíhá celostátně, ale vždy nejdříve v Pekingu a Šanghaji, následně v Kantonu a až poté celostátně (A.7). Mnoho měst zavádí systém, který rozděluje jednotlivé automobily podle emisních tříd. Navíc v Pekingu není umožněna registrace vozidel se vznětovým motorem.

Emisní limity jsou dále rozděleny na dvě kategorie:

- Kategorie 1 – je určena pro automobily s nižší hmotností než 2,5 tuny a s maximálně 6 cestujícími.
- Kategorie 2 – je určena pro ostatní lehká užitková vozidla, tato kategorie se dále dělí podle váhových tříd:
 - Třída I pro vozidla s nižší hmotností než 1350 kg;
 - Třída II pro vozidla s hmotností mezi 1350 a 1760 kg;
 - Třída III pro vozidla s hmotností vyšší než 1760 kg.

[137]

2 Metodiky měření emisí na pohonných agregátech automobilů

V rámci homologace vozidel jsou pro emisní předpisy stanoveny postupy pro jejich měření. Ty se liší podle země, ve které jsou použity. Práce se dále bude zabývat metodikou používanou ve státech EU.

2.1 Metodika měření emisí v EU

Postup homologace vozidla je popsán vyhláškou EHK 83/692. Tato vyhláška stanovuje přesný postup homologační zkoušky.

V rámci zkoušky je nejprve stanoven tzv. silniční model, který slouží k nastavení dynamometru v laboratorní fázi měření emisí. Silniční model se stanoví tak, že se vůz rozjede po zkušební dráze až na rychlost 150 km/h. Poté se nechá samovolně zpomalit. Během zpomalování je pak zaznamenávána aktuální rychlost v závislosti na čase. Pomocí těchto hodnot je následně nastaven dynamometr, kterým se docílí toho, že v laboratoři je vůz testován v podmínkách velmi blízkých reálnému odporu prostředí.

Před samotnou zkouškou probíhá kalibrace dynamometru. Vůz je zahřát na provozní teplotu a poté je válcem rozjet na rychlost 150 km/h. Následně se nechá zpomalovat, přičemž se měří odchylky a upravuje odpor dynamometru. Po zkalibrování dynamometru následuje tzv. pre-test. Během pre-testu je dynamometr nastaven na hodnoty jízdních odporů, jež byly získány při kalibraci. Vozidlo pak dodržuje stanovený jízdní cyklus, jako při samotném testu. Poté je vozidlo temperováno po dobu alespoň 6 hodin při teplotě 20 až 30 °C.

Po těchto procesech je přikročeno k samotnému emisnímu testu. Vozidlo je umístěno na dynamometr, který je nastaven na hodnoty odporů získaných v předchozích fázích. Vozidlo poté jede v předepsaném cyklu. Výfukové plyny jsou během celého testu nasávány spolu s čistým filtrovaným vzduchem tak aby proud výfukových plynů a vzduchu byl stále stejný. Tato směs je následně ukládána do vaků. Poté se jednotlivé složky měří a výsledné množství polutantů jsou uváděny v g/km.

Po skončení emisního testu se provádí tzv. verifikace silničního modelu. Proces je shodný s fází kalibrace, tedy rozjetí vozu na 150 km/h a následně jeho samovolné zpomalení. Výsledné časy zpomalení se poté poměří s časy, na které byl dynamometr nastaven před emisním testem. V případě, že se výsledky v předem dané toleranci neliší o více než 5%, je test úspěšný. Pokud by se výsledky lišily o více než tuto toleranci, byl by test považován za neplatný a bylo by nutné jej opakovat. [85]

2.2 Emisní testy

Během testování je používán standardizovaný testovací cyklus. V současné době lze rozdělit tři základní testovací cykly.

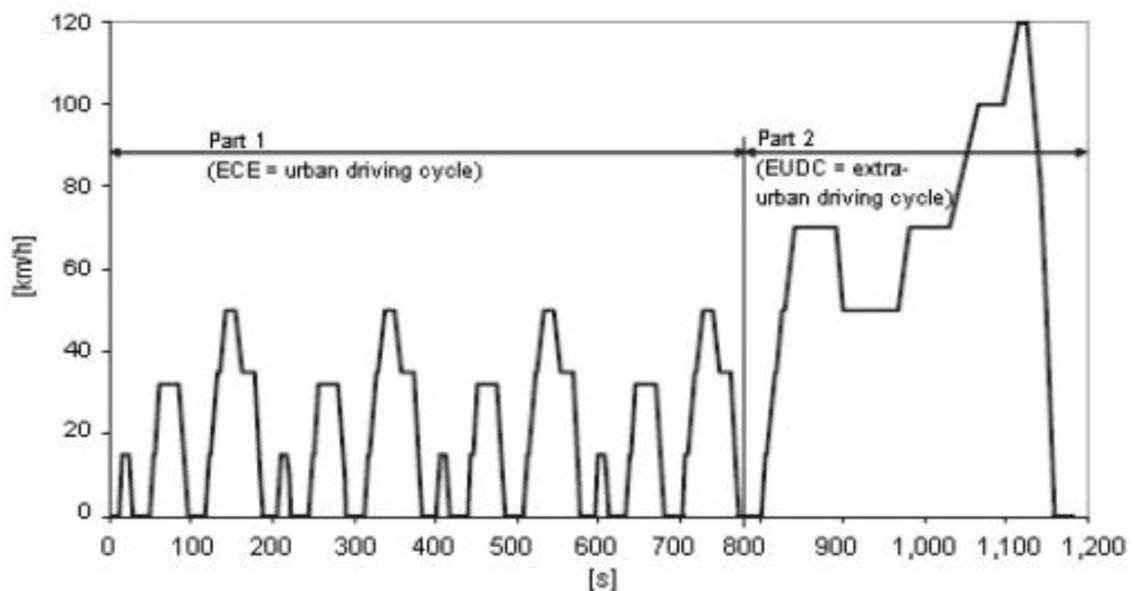
- NEDC.
- FTP.
- New driving cycle JC 08.

Tyto testovací cykly z hlediska směrodatnosti výsledků již nevyhovují. Je proto plánováno zavedení nového testovacího cyklu WLTP.

2.2.1 NEDC (New European Driving Cycle)

Jedná se o testovací cyklus používaný v EU a také ve státech, jejichž normy se na evropských zakládají. Tento cyklus trvá 1 180 sekund a automobil během něj ujede vzdálenost 11 007 m. Skládá se ze dvou na sebe navazujících částí. Výsledky spotřeby paliva a množství CO₂ se zapisují jako tři různé hodnoty - městská, mimoměstská a kombinovaná spotřeba. [88]

Test (Graf 3) začíná se studeným startem motoru. Jeho první částí je tzv. městský cyklus (ECE = urban driving cycle). Druhou částí je mimoměstský cyklus (EUDC = extra - urban driving cycle).



Graf 3 - Průběh NEDC [34]

V první fázi se opakují čtyři po sobě jdoucí cykly ECE simulující pohyb vozidla v městské dopravě, kde vozidlo různě zrychluje, zpomaluje a zastavuje. Maximální rychlost v této části je 50 km/h.

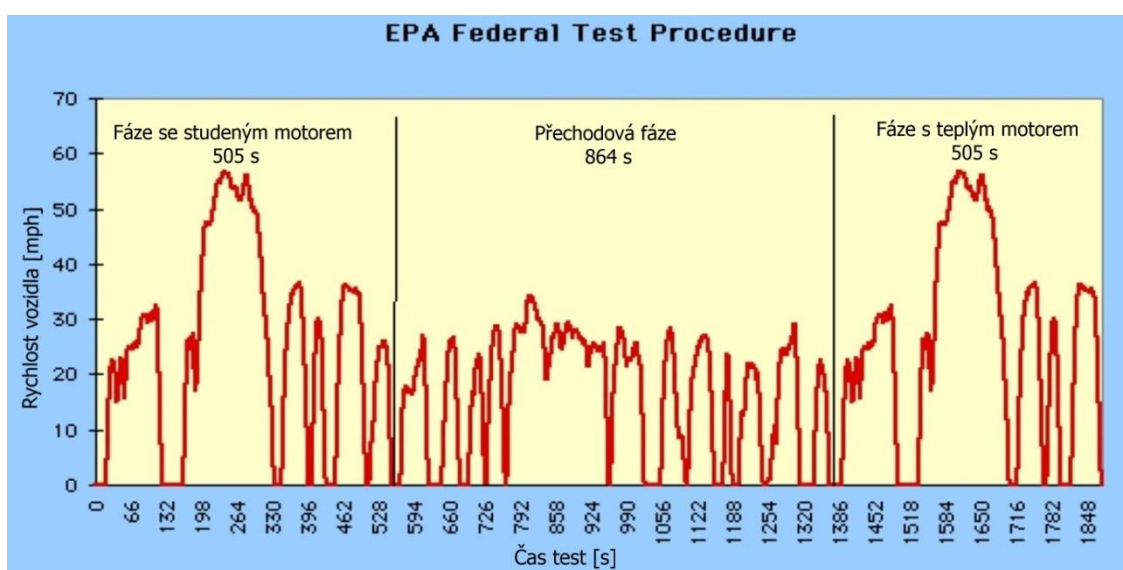
Ve druhé fázi je simulována jízda mimo město a krátký úsek jízdy po dálnici. Při bližším pohledu zjistíme, že automobil během testu postupně zrychluje na maximální rychlost. Po jejím dosažení již pouze zpomaluje do úplného zastavení. Kritickým místem této fáze je poslední část zrychlování, kdy má vozidlo dosáhnout maximální rychlosti 120 km/h. V tomto úseku dosahují lepších výsledků pětistupňové převodovky oproti šestistupňovým, jelikož nemusí během zrychlování na maximální testovací rychlost řadit vyšší rychlostní stupeň. Tento výsledek je možný pouze v laboratorních podmínkách. Celkové výsledky testu mohou být v reálných podmínkách nakonec zkresleny až o desítky procent. Je tedy jasné, že test již nesplňuje požadavky na korektní testování nových automobilů. [111] [129]

2.2.2 FTP (Federal Test Procedure)

USA používá vlastní testovací cyklus, který se řídí federálním úřadem EPA. Tento testovací cyklus (Graf 4) trvá 1 874 vteřin. Automobil během něj urazí vzdálenost 17,77 km, ale maximální rychlost během procesu je oproti evropskému pouze 91 km/h (57 mp/h). Test se skládá ze tří částí (Graf 4). [88]

První část (Cold start phase) začíná studeným startem motoru a automobil během ní dosáhne maximální rychlosti, tedy 91 km/h. Následuje přechodná část (Transient Phase), kdy automobil střídavě akceleruje a deceleruje v relativně nižších rychlostech v rozmezí od 0 km/h do 56 km/h. Poslední fáze s názvem Hot Start Phase, má totožný průběh s první fází, ale jak z názvu vyplývá, probíhá se zahřátým motorem. [41] [30]

Vzhledem k výraznému kolísání rychlostí v přechodové části bude mít tento cyklus oproti NEDC lepší přesnost výsledků v nižších a středních rychlostech. Domnívám se však, že velkou nevýhodou testu je nízká maximální rychlost.



Graf 4 - EPA Federal Test Procedure [26]

2.2.3 WLTP

V současné době musí výrobci automobilů procházet se stejným modelem nabízeným v různých zemích několika odlišnými homologačními procesy. Problémem je, že úprava automobilu na větší počet testovacích cyklů je nadměrnou finanční zátěží. Z tohoto důvodu by měl být v roce 2017 celosvětově zaveden standardizovaný testovací cyklus WLTP neboli **World-harmonized Light-duty vehicles Test Procedure**, který sjednotí podmínky pro homologaci v různých zemích světa. Hlavními iniciátory sjednocení homologačního cyklu jsou EU a Japonsko.

Dalším důvodem pro nasazení WLTP je značná odlišnost většiny současných testovacích cyklů od reálného prostředí, kde je často velmi těžké či dokonce prakticky nemožné, aby řidič automobilu dosáhl homologované spotřeby paliva.

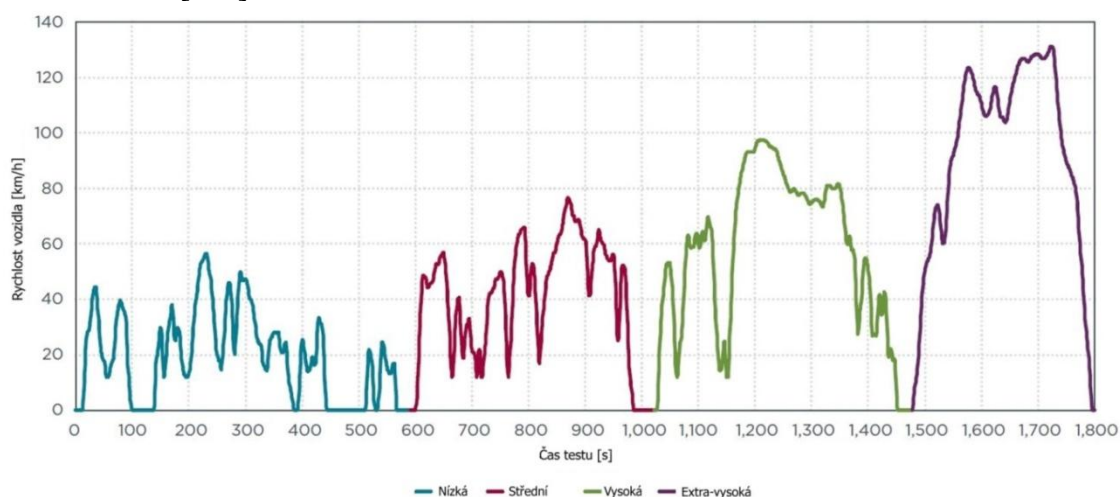
Aby byly výsledky směrodatné pro různé druhy vozidel, je test rozdělen do tří tříd podle poměru výkonu motoru a pohotovostní hmotnosti vozidla (Tab. 1). Jelikož na trhu nejvíce pokrývá nabídku vozů právě třída 3, práce se nadále zabývá testovacím cyklem pro třetí třídu vozidel.

Tab. 1 - Dělení vozů dle WLTP

Třída	$x = \frac{\text{měrný výkon [W]}}{\text{pohotovostní hmotnost [kg]}}$	Rychlostní části
Třída 3	$x > 34$	Nízká, Střední, Vysoká, Extra-vysoká
Třída 2	$34 \geq x > 22$	Nízká, Střední, Vysoká
Třída 1	$x \leq 22$	Nízká, Střední

Cyklus WLTP (Graf 5) je rozdělen do čtyř rychlostních částí (nízká, střední, vysoká, extra-vysoká). Oproti NEDC, ve kterém jsou přesně stanoveny body pro řazení manuálních převodovek, probíhá během WLTP řazení u manuálních převodovek dle GSI (Gear shift indicator). Časy řazení jsou tak u každého automobilu individuální. Oproti tomu automobil s automatickou převodovkou musí testem projít ve všech režimech jízdy. Homologované výsledky u automatických převodovek se poté uvádí z nejvíce užívaného jízdního režimu.

Samotný cyklus mnohem lépe simuluje reálné jízdní podmínky. Automobil akceleruje a deceleruje mnohem více než je tomu u testu typu NEDC. Značnou část testu automobil jede jen na volnoběh. Cyklus je postavený tak, aby byl nucen automobil během testu mnohem více řadit. Test celkově trvá 1 800 sekund a automobil během něj ujede 23 262 metrů. [140]

**Graf 5** - Průběh testovacího cyklu WLTP [140]

3 Historický vývoj technických opatření na konvekčních agregátech

Pokud by docházelo k dokonalému spalování, bylo by produktem spalování pouze H_2O a CO_2 . Ve spalovacím prostoru však probíhá nedokonalé spalování, tím dochází k produkci i jiných, většinou škodlivých prvků. Jejich množství je redukováno opatřeními, jejichž vývoj se začal ve větší míře zvyšovat až se zaváděním emisních norem. Technická opatření pro snižování emisí lze rozdělit na dvě hlavní skupiny, aktivní a pasivní.

Pro větší přehlednost uvádím následující dělení:

- Aktivní opatření ovlivňující spalovací proces.
- Aktivní opatření neovlivňující spalovací proces.
- Pasivní opatření.

V následujících kapitolách budou představeni vybraní zástupci těchto skupin. Jedná se zpravidla o opatření, která tvorbu nebo zpracování emisí nejvíce ovlivní. Separátně se poté budu věnovat downsizingu, který nelze řadit mezi konkrétní opatření, ale jde o konstrukční směr výroby motorů.

[75] [141]

3.1 Aktivní opatření ovlivňující spalovací proces

Aktivní opatření jsou ta, která se na snižování emisí podílí přímo během jejich vzniku. Tato kapitola uvádí výčet hlavních opatření tohoto druhu.

3.1.1 Způsob vstřikování paliva

V současné době jsou téměř všechny vyrobené zážehové motory vybaveny vstřikovacími systémy, které nahradily zastaralé agregáty vybavené karburátorem. Hlavní předností karburátorů byla jejich jednoduchost, spolehlivost a nízká cena. S narůstajícími požadavky na ekologii však vzrostla i složitost karburátorů a tím i jejich cena, čímž ztratily svou hlavní výhodu. Vstřikovací systémy nyní mnohem lépe plní požadavky na hospodárnost, ekologii a výkon.

Benzínové vstřikovací systémy se dělí do tří hlavních skupin.

- Vícebodové vstřikování (nepřímé vstřikování).
- Centrální vstřikování (nepřímé vstřikování).
- Přímé vstřikování.

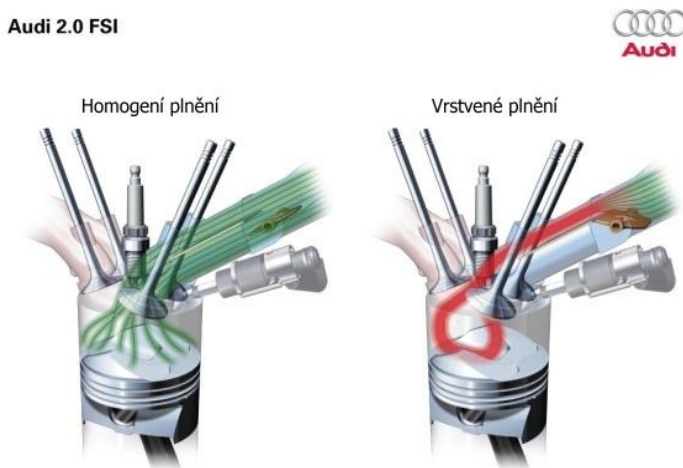
[132]

Nepřímé vstřikování je v dnešní době na ústupu. Kromě maloobjemových motorů s ním nebude možno plnit emisní normy Euro 6 a CO_2 emisní limity. Příkladem mohou být motory MPI vyráběné v koncernu VW, které se v současné době ještě vyrábějí, ale většinou jsou již distribuovány na trhy mimo EU.

Při přímém vstřikování benzínu je nejprve do spalovacího prostoru nasán vzduch a následně je do něho vstříknuto palivo. K jeho hoření nedochází okamžitě, ale díky době

zvolené geometrii pístu, poloze vstřikovače a sacího kanálu dojde k co nejlepšímu rozprostření paliva ve spalovacím prostoru. Proto je palivo vstřikováno pod vysokým tlakem, aby došlo k jeho jemnému rozprášení. Následně dojde k zažehnutí směsi zapalovací svíčkou. „Prvním evropským výrobcem systému s přímým vstřikováním paliva je společnost Bosch, která v roce 2000 zavedla systém FSI ve spolupráci s koncernem VW.“ [133]. Přímé vstřikování paliva je oproti nepřímému schopno snížit spotřebu paliva přibližně o 30% (vztaženo k NEDC). Velkou nevýhodou přímého vstřikování paliva je vznik značného množství pevných částic. S rozšířením přímého vstřikování je od normy Euro 5c sledováno i množství pevných částic u vozů se zážehovým motorem.

Moderní vstřikovací systémy musí být schopny pracovat ve dvou základních režimech plnění spalovacího prostoru (Obr. 2). Ty se od sebe liší jak množstvím vstříknutého paliva, tak časem vstřikování. To umožňuje dosáhnout nižší spotřeby paliva a zároveň i nižší hodnoty vyprodukovaných emisí. Pokud motor pracuje při nízkém zatížení, pracuje v režimu vrstveného plnění. Naopak při vyšším zatížení přejde motor do režimu homogenního plnění. Při střídání těchto dvou režimů lze dosáhnout velmi nízkých hodnot NO_x . [43]



Obr. 2 - Režimy plnění spalovacího prostoru typu FSI [92]

Režim vrstveného plnění má za úkol snížit spotřebu automobilu. Toho je dosaženo za cenu zvýšeného množství emisí. Toho je dosaženo tím, že je spalována chudá směs s $\lambda \approx 1,5$. Palivo je vstříknuto až během komprese. Palivo i vzduch jsou přesně vířeny tak, aby v okolí zapalovací svíčky byla směs velmi bohatá a s přibývajícím vzdáleností se její bohatost snižovala.

Během režimu homogenního plnění se zvýší spotřeba paliva, zároveň ovšem dochází k lepšímu spálení směsi. Tím je k dispozici větší výkon motoru a zároveň se sníží obsah polutantů. V tomto případě je palivo vstřikováno již během sání a je rovnoměrně rozmístěno v celém spalovacím prostoru s hodnotou λ pohybující se od 0,8 až do 1. [133] [39]

V koncernu VW je dnes používáno několik typů přímého vstřikování, jsou to:

- FSI.
- TFSI.
- TSI.

FSI

Tento vstřikovací systém je schopný jak homogenního, tak vrstveného plnění. Vstřík je umístěn vedle sání tak, že je palivo vstřikováno pod úhlem na píst. V něm jsou dvě, na sebe kolmé, drážky. Jedna usměrňuje vstříknuté palivo a druhá vzduchový vír. Tato koncepce má velkou výhodu ve snížení spotřeby paliva, problémem ovšem je větší množství vyprodukovaných NO_x emisí. [114]

TFSI

Vstřikovací systém tohoto typu se nijak výrazně neliší od typu FSI. Jediným rozdílem je vybavení motoru turbodmychadlem, což zvyšuje výkon a točivý moment motoru. [119]

TSI

Motory s označením TSI jsou přeplňované agregáty vybavené přímým vstřikováním paliva. Agregát je vybaven víceportovými vstřikovacími palivy, ty jsou vyrobeny tak, že mají více otvorů pro vstřikování, čímž je dosaženo lepšího rozptýlení paliva ve spalovacím prostoru. Díky tomu je sníženo množství HC a je snížena tvorba pevných částic. [120]

Dieselové vstřikovací systémy se dnes konstruují buď se vstřikováním do vírové komůrky nebo s přímým vstřikováním.

Vstřikovací systémy s vírovou komůrkou mají rozdělen spalovací prostor na dvě části. Hlavní částí je samotný spalovací prostor válce, před ním je umístěna vírová komůrka, ve které ústí vstřikovač paliva. Při vstříknutí paliva je díky speciálnímu tvaru komůrky palivo rozvířeno a poté je dopraveno do prostoru válce, kde dojde k jeho spálení. Nevýhodou tohoto systému jsou větší tepelné ztráty při žhavení během studeného startu a dále také složitější a dražší konstrukce hlavy motoru. Výhodou ovšem je vyšší víření směsi a tím účinnější spalování. [133]

Od přímého vstřikování zážehových motorů se vznětové liší tím, že ke vstříknutí směsi dojde až ve chvíli, kdy se má palivo vznítit. K tomu, aby došlo k co nejefektivnějšímu shoření paliva, se používají vstřikovací trysky s více otvory často ovládané piezoelektricky. Piezoelektrický ovladač spíná dvakrát rychleji než elektromagnetický. To má velkou výhodu v možnostech řízení systému, dochází totiž k přesnému dávkování paliva a k jeho lepšímu rozprašování. Navíc díky vysoké rychlosti spínání lze snížit doby mezi vstřikováním a tím lze výrazně upravit vstřikovací proces. Jednotlivé druhy vstřikovacích systémů se od sebe liší především způsobem řízení vstřikování a dopravou paliva. [28]

Koncern VW v dnešní době již používá výhradně systém Common – Rail. Ten se oproti jiným typům odlišuje jednak svou konstrukcí, ale i vyššími pracovními tlaky. Soustava je zkonstruována tak, že vstřikovače jsou napojeny na společný palivový zásobník, který je natlakován přibližně na 180 – 200 MPa. Palivo, vstříknuté do válce pod vyšším tlakem vytváří lepší směs pro hoření, tím je dosaženo vyšší účinnosti. Vstřikovací tlak se navíc s otáčkami palivového čerpadla nemění a kromě velmi nízkých otáček je udržován ve zmiňovaném rozmezí. [143] [25]

3.1.2 Turbodmychadla

Turbodmychadlo je zařízení, které využívá kinetickou energii obsaženou ve výfukových plynech. Ta je díky kompresoru převedena na rotační energii dmychadla. Energie je následně pomocí lopatek turbíny, použita k přeplňování motoru. Tím dojde ke zvětšení výkonu a točivého momentu motoru. V závěru se sníží spotřeba paliva a tím se sníží i množství vyprodukovaného CO₂. V závislosti na velikosti motoru umožňuje použití turbodmychadla snížení emisí CO₂ o 10 až 20 %. [123]

Turbodmychadla začínají plnit svou funkci teprve od 1800 min⁻¹ u diesellových motorů a 2500 min⁻¹ u benzínových motorů. Jejich pracovní rozsah je také omezen, protože s vyššími otáčkami dmychadla roste i plnicí tlak. Pokud by byl plnicí tlak příliš vysoký, motor by byl zbytečně zatěžován a jeho životnost by se tím snížila.

Tento problém lze vyřešit několika různými konstrukcemi, mezi které patří:

- Turbodmychadlo s proměnnou geometrií.
- Turbodmychadlo s regulačním šoupátkem.
- Sekvenční dvojité turbodmychadlo.

Turbodmychadlo s proměnnou geometrií používá nastavitelné vodící lopatky turbíny. „Změnou geometrie se přizpůsobuje průtočný průřez turbíny a tím i zpětný tlak, který na ni působí. Změna geometrie se provede natočením vodících lopatek turbíny otáčivým pohybem stavěcího prstence pneumatickým přestavovačem.“ [43]

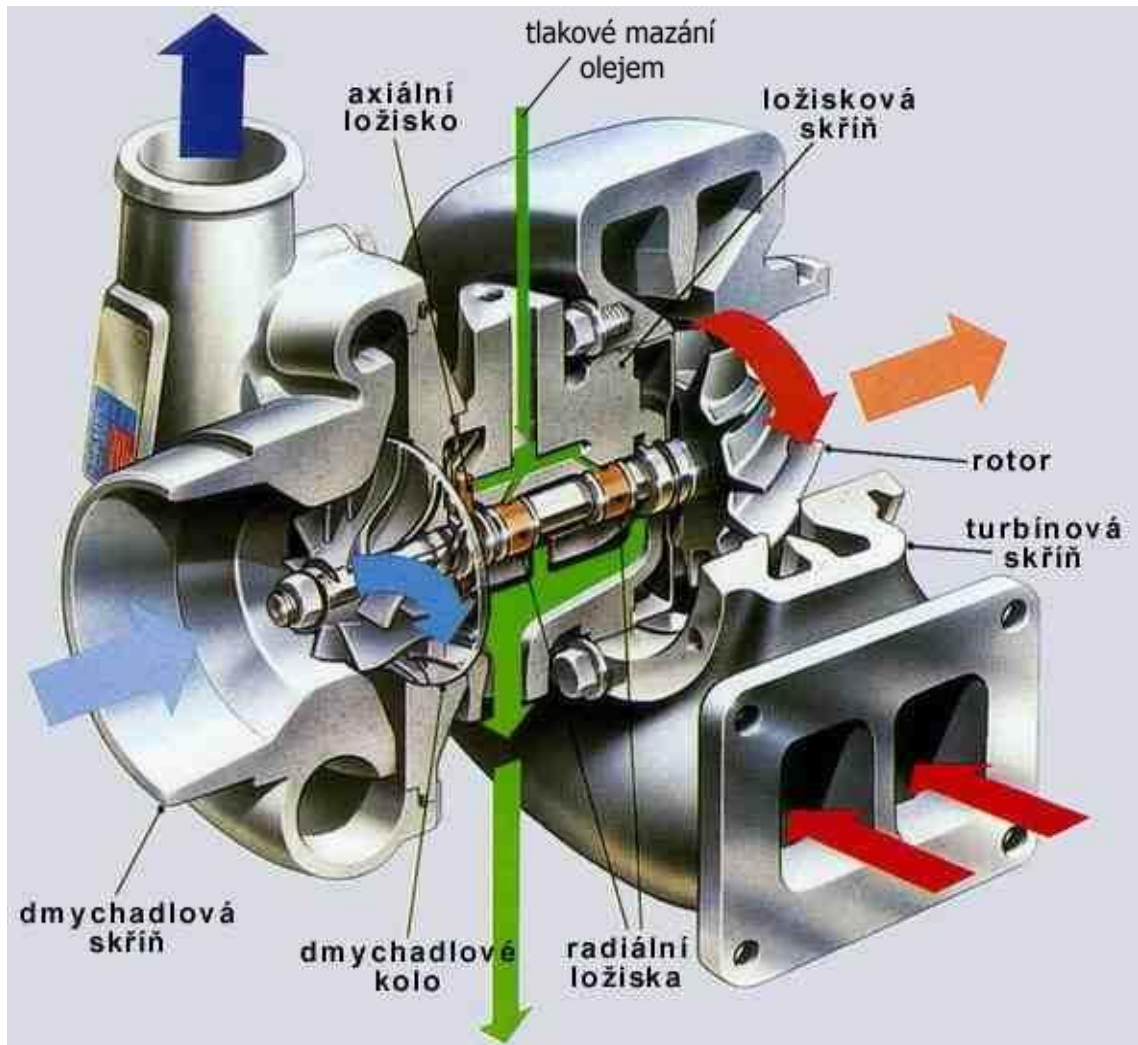
Turbodmychadlo s regulačním šoupátkem pracuje se dvěma průtočnými kanály. Při nižších otáčkách je otevřen pouze první kanál, kterým proudí spaliny o vysoké rychlosti, tím má turbodmychadlo vysoké otáčky. Při požadovaném plnicím tlaku je pak pomocí šoupátka otevřen druhý průtočný kanál, tím klesne rychlost proudění i plnicí tlak.

Sekvenční dvojité turbodmychadlo se používá u vozidel s požadavkem na velké počáteční zrychlení. Jedná se o sestavu dvou dmychadel různé velikosti. První pracuje za nízkých otáček motoru a jsou k němu výfukové plyny přiváděny po celou dobu chodu. Druhé dmychadlo začíná pracovat až při vyšších otáčkách motoru tzn., že je k dmychadlu přiveden plyn až po sepnutí pneumatického nebo elektropneumatického ventilu v závislosti na vydání pokynu řídicí jednotkou. [43]

Turbodmychadlo je složené ze dvou malých turbín připevněných na společnou hřídel. První turbína je roztáčena pomocí kinetické energie výfukových plynů a rotační energie je pak převáděna na druhou turbínu, která slouží jako kompresor. Vzduch je poté vytlačován k chladiči stlačeného vzduchu (intercooler) a dále do spalovacího prostoru válce. V současné době se používají turbodmychadla, která jsou schopna dosáhnout otáček až 300 000 min⁻¹. Z uvedených informací je zřejmé, že soustava je pod velkým tepelným, chemickým i mechanickým zatížením, je proto nutné aby byla z odolného materiálu. Turbíny jsou vyráběny především ze slitin hliníku, niklu a titanu jako jsou INCONEL a GAMA TiAl (gama fáze slitiny titanu a hliníku). Další namáhanou součástí jsou ložiska hřídele. Nejpoužívanější jsou fluidní ložiska. Jedná se o třecí ložiska, jejichž vnitřní a vnější kroužky ložiska se nedotýkají, jsou ale velmi blízko u sebe a vrstva mezi nimi je díky kapilární elevaci vyplňována olejovým filmem. Problémem je, že tyto ložiska se mohou velmi snadno rozvibrovat, kvůli tomu musí mít rotory ve skříní vůli alespoň 0,4 mm. Snížení této vůle je možné při použití kuličkových ložisek, které lépe odolávají rezonančním vlivům. Díky tomu lze vůli snížit až na 0,1 mm. Proto mají tato turbodmychadla vyšší účinnost. Problémem je ovšem zátěž

valivých ložisek při tak vysokých otáčkách, které by mohly způsobit jejich zadření, v extrémních případech dokonce i explozi.

Prvním vozem s přeplňovaným motorem vyráběným ve Škoda Auto byl v roce 1996 vůz Octavia s motory typu TDI vyráběnými v koncernu VW. Vůz splňoval emisní normu Euro 3. [61] [47] [65] [45]



Obr. 3 - Řez turbodmychadlem [142]

3.1.3 Proměnné časování ventilů

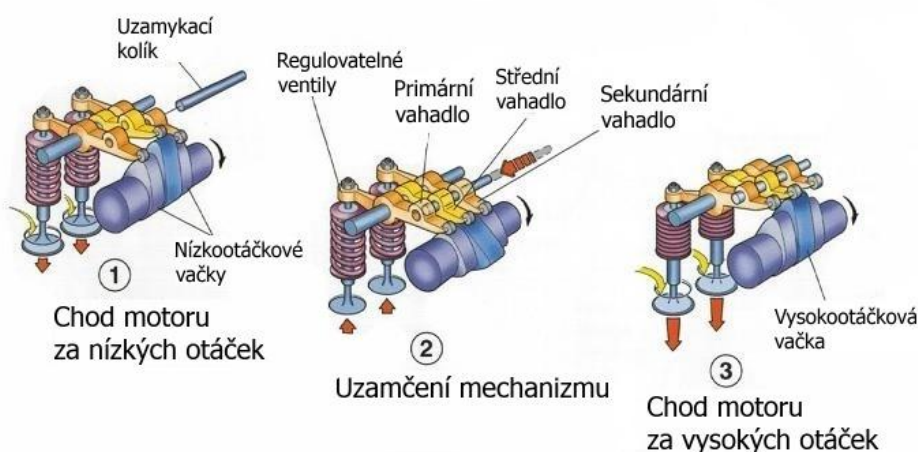
Proměnné časování ventilů je používáno pro zdokonalení spalovacího procesu v celém rozsahu pracovních otáček motoru. Toho lze docílit regulací průběhu časování ventilů nebo jejich zdvihu, případně kombinací těchto dvou procesů.

Časování ventilů bývá nastaveno na optimální hodnotu. Ta je ovšem pouze částečným kompromisem. Při zvýšení otáček se stává, že motor dosáhne tzv. přídavného plnění válce a naopak při nižších otáčkách dochází k vytlačování směsi zpět do sacího kanálu. Aby k těmto jevům nedocházelo, bylo zavedeno proměnné časování ventilů, které tyto problémy buď minimalizuje, nebo úplně odstraní. Technické řešení variabilního časování je různé pro každého výrobce automobilu. Lze se tak setkat se systémem natáčení vačkové hřídele vůči klikové hřídeli úpravou geometrie rozvodového mechanismu nebo mechanickou změnou polohy vačkového hřídele. Nejjednodušší

možností řízení časování mají motory bez vačkové hřídele, kde na změnu časování stačí úprava řídicí jednotky. [43] [42]

Průkopníkem této technologie je společnost Honda, která v roce 1983 představila motor s tímto systémem. V současnosti ve svých automobilech používá systém VTEC (Obr. 4). Vačková hřídel je zde vybavena dvěma vačkami s rozdílnou geometrií. Ty jsou napojeny na vlastní vahadla. V nízkých a středních otáčkách pracují krajní vačky, které umožňují pouze nízký zdvih ventilů, což příznivě působí na spotřebu paliva. V případě zvýšení otáček jsou pak krajní vahadla propojena kolíkem s prostředním vahadlem, kterému přísluší ostřejší vačka s vyšším zdvihem. [46] [121]

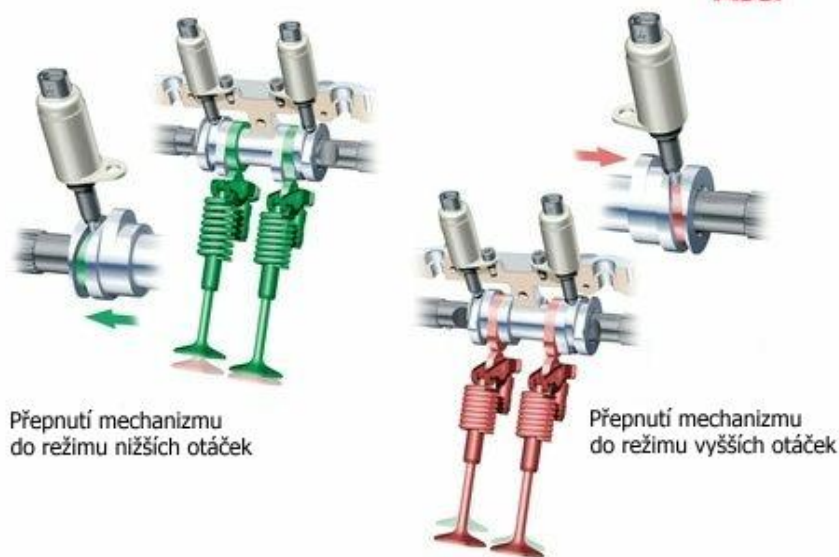
VTEC (Variable Timing Electronic Control) Systém



Obr. 4 - Princip činnosti systému VTEC [145]

Koncern VW používá systém Valvelift (Obr. 5) vyvinutý firmou Audi. Ten je vybaven atypickou vačkovou hřídelí se šnekovým ovládacím mechanismem. Konstrukce vačkové hřídele je podobný systému VTEC, tedy použití dvou rozdílných profilů vačky. Hlavním rozdílem je způsob přepínání zabírající vačky. Při nízkých a středních otáčkách zabírá pomalá vačka, zatímco ostřejší je umístěna mimo činné plochy. V případě nárůstu otáček je poté vysunut kolík na jedné straně podle směru, kterým se má vačka pohybovat. Kolík zapadne do šneku umístěného na vačkové hřídeli a vytváří posunovací mechanismus, který během jednoho spalovacího cyklu (dvou otoček klikové hřídele) posune vačkový element tak, aby byla v kontaktu se zdvihátkem vačka určená pro vyšší otáčky. To umožňuje otvírat sací ventil mezi 2 – 5,7 mm při režimu nízkých otáček a při režimu vyšších otáček potom až 11 mm. Valvelift byl poprvé nasazen do motorů Audi V6 s přímým vstřikováním FSI o objemu 2,8 – 3,2 litrů, kde je systém schopen snížit spotřebu paliva až o 7% oproti motorům bez něho. [102] [131]

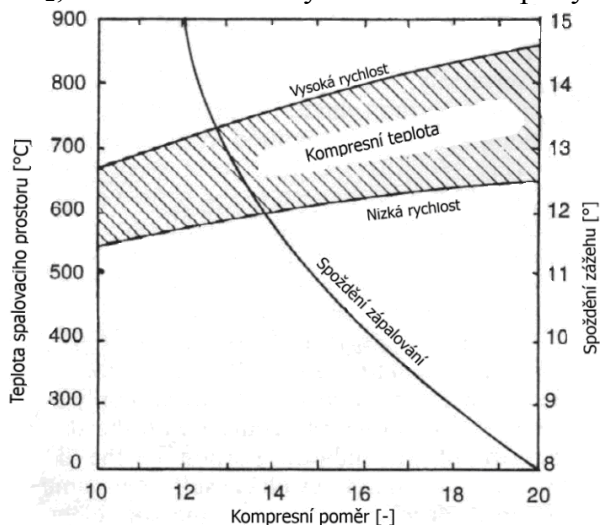
Audi valvelift systém



Obr. 5 - Princip činnosti systému Valvelift [131]

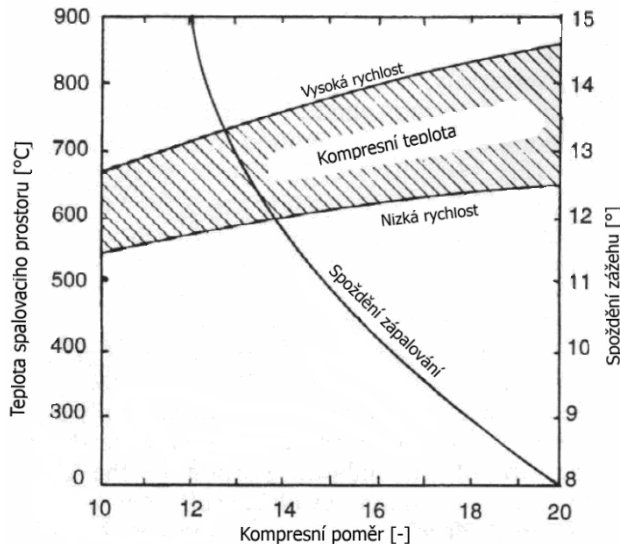
3.1.4 Kompresní poměr

Kompresní poměr (stupeň stlačení směsi) ϵ , je poměr pracovního prostoru válce ku objemu spalovacího prostoru. *Se vzrůstajícím kompresním poměrem roste i účinnost spalovacího motoru. Nárůst však není lineární. Se zvyšujícím se kompresním poměrem nastává ovšem problém s kvalitou paliva.* [117] Kompresní poměr je u zážehových motorů omezen samovznícením směsi ve spalovacím prostoru, protože při kompresním poměru $\epsilon = 11,5$ je ve spalovacím prostoru teplota přibližně 500 – 650 °C (Graf 6). U vznětových motorů je poté podmínkou minimální kompresní poměr $\epsilon_{\min} = 12$, teprve tehdy dochází k zapálení nafty ve spalovacím prostoru. V praxi se však hodnoty u dieselových motorů s přímým vstřikováním pohybují přibližně kolem hodnoty $\epsilon = 17$ a u motorů komůrkových dokonce až $\epsilon = 22$. Zvýšený kompresní poměr umožní spalovacímu motoru spalování chudší směsi. Tím lze snížit množství vyprodukovaného CO_2 , zároveň ovšem zvýšením tlaku a teploty stoupne množství NO_x . [117] [43] [63]



Graf 6 - Graf závislosti teploty spalovacího prostoru na kompresním poměru [59]

Při zvyšování kompresního poměru se výrobci musí potýkat se značnými problémy, kterými jsou např. klepání, samozápaly, nebo zhoršená účinnost při plném zatížení. Zároveň zvýšením kompresního poměru dosáhneme i vyššího pracovního tlaku ve válci (Graf 7). Tím dochází k namáhání součástí motoru. Automobilky již kompresní poměr značně navyšují, např. Mazda se svou řadou motorů Skyactiv – G dosahuje $\varepsilon = 14$ a chce poměr navýšit až na hodnotu $\varepsilon = 18$. Tohoto zvýšení lze docílit vhodnou konstrukcí spalovacího prostoru, případně úpravou vstřikování. [95] [63]

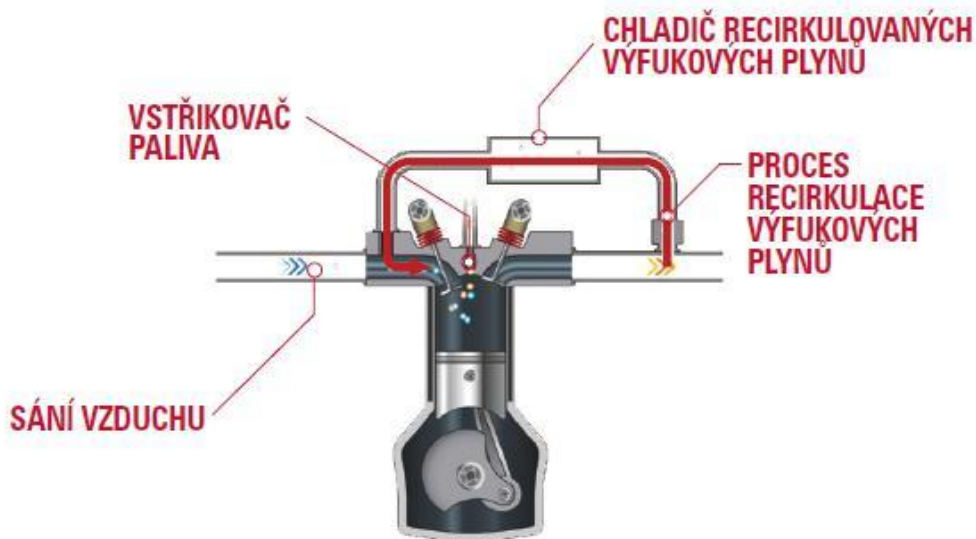


Graf 7 - Graf závislosti tlaku ve válci na kompresním poměru [59]

Jednou z možností úpravy motoru je i použití tzv. variabilního kompresního poměru. Toho lze dosáhnout buď změnou konstrukce motoru, nebo úpravou spalovacího cyklu. Cestou změny konstrukce motoru se poprvé vydala automobilka Saab, která sice používala velké množství standardních dílů, ale díky nadměrné složitosti konstrukce se do sériové výroby motor nedostal. Cestou zcela odlišné konstrukce motoru se vydal koncern PSA, který vyvinul spalovací motor s kolíbkovým zdvihovým mechanismem umožňující změnit velikost spalovacího prostoru až o 9 mm, čímž lze upravovat kompresní poměr od 7:1 až po 18:1. Zcela jiná konstrukce motoru však znamená značné navýšení výrobních nákladů. Zda se tato konstrukce rozšíří, ukáže až čas. Naopak při změně spalovacího cyklu, lze použít většinu dílů shodných s klasickým agregátem. Příkladem může být cyklus založený na Atkinsonově cyklu, který pomocí změny uzavírání a otevírání sacích ventilů umožňuje změnu sacího a expanzního objemu. Tento způsob se mi pro masovou produkci zdá vhodnější než změna konstrukce motoru. [31] [29]

3.1.5 Recirkulace výfukových plynů

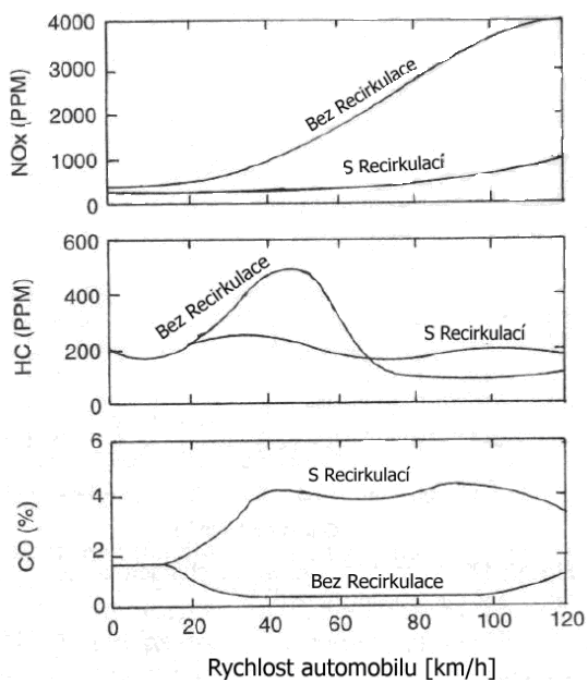
Dalším z pasivních opatření pro dieselové motory je zařízení recirkulace výfukových spalin (EGR - exhaust gas recirculation; AGR - Abgasrückführung). Zařízení je jedním z hlavních, které umožňovalo splnit emisní normy Euro 4 a vyšší, pro velkoobjemové dieselové motory. S přísnějšími limity se ovšem jedná o nutnost i pro motory používané v osobních automobilech.



Obr. 6 - Princip recirkulace výfukových plynů [84]

Princípem technologie je vrácení ochlazených výfukových spalin zpět do sání, zde se smísí s čerstvým vzduchem (Obr. 6). Smíšením poté dojde ke snížení koncentrace kyslíku ve směsi i rychlosti hoření. Snižuje se i nejvyšší teplota na čele plamene, což způsobuje významný pokles NO_x ve výfukových plynech. Pokles teploty se nemusí zdát výrazný, ovšem vznik NO_x je exponenciálně závislý na teplotě, proto i malé snížení teploty je na jeho množství znatelné. Při použití elektronické regulace lze u benzínových motorů použít 60% – 70% spalin. [8] [59]

Recirkulace spalin je nezbytná především u motorů s přímým vstřikováním. Pokud motor pracuje v režimu vrstveného plnění, lze díky tomu zredukovat další opatření pro snížení NO_x na minimum. Použitím systému narůstá množství CO a v nižších rychlostech také HC (Graf 8). [59]



Graf 8 - Graf závislosti množství vyprodukovaných emisí na rychlosti automobilu [59]

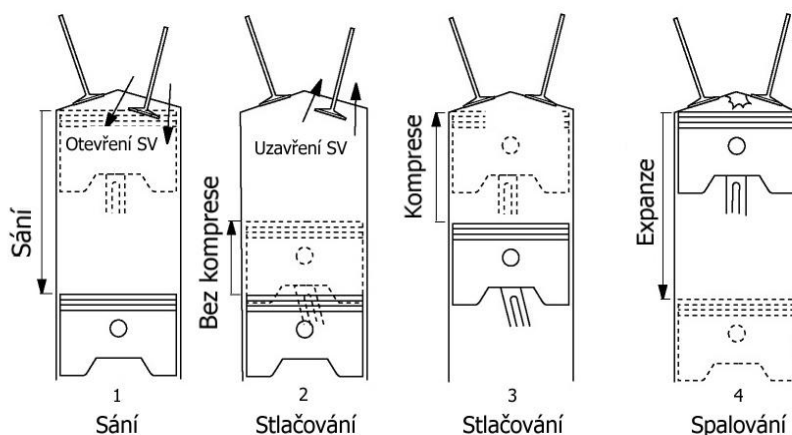
Použitím recirkulace spalin lze snížit hodnotu emisí NO_x až o 60%. „Zároveň však zvýšení podílu zbytkových plynů nad jistou hranici vede k nedokonalému spalování a tím ke zvýšení emisí uhlovodíků, spotřeby paliva a neklidnosti běhu motoru.“ (132) Jedná se o poměrně levné zařízení, které oproti jiným ve větší míře nezatěžuje ani výrobce ani zákazníka.

3.1.6 Millerův cyklus

Jedním z aktivních opatření, které se začalo ve větší míře používat, je Millerův cyklus. Jedná se o cyklus spalovacího motoru založený na Ottově cyklu a je velice podobný cyklu Atkinsonovu. Tyto tři cykly pracují se všemi čtyřmi fázemi téměř shodně, hlavní rozdíl nastává ve fázi komprese. Ottův cyklus má stejný objem kompresní i expanzní, u ostatních tomu tak není.

Atkinsonův cyklus využívá proměnnou dráhu pístu pomocí speciálního klikového mechanismu k tomu, aby se zdvih pístu během expanze zvýšil oproti zdvihu ve fázi sání.

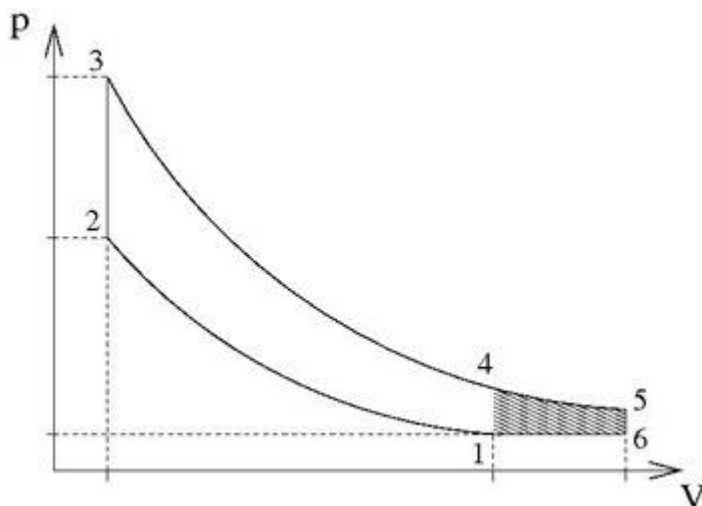
U Millerova cyklu je změny objemu dosaženo pomocí proměnného časování ventilů a jejich zdvihu při zachování standardní koncepce motoru (Obr. 7). Během komprese nedochází k uzavření sacího ventilu přibližně do 30 % zdvihu pístu. Tím je na kompresi vynaloženo menší množství energie, ale část směsi je vytlačena zpět do sacího potrubí. Ztráta nedovřením sacího ventilu je proto nahrazena přeplňováním. Zapálená směs poté dodá dostatek energie na to, aby byl vykonán celkový zdvih. Tím dojde i ke změně kompresního poměru. [43] [38]



Obr. 7 - Časování ventilů spalovacího motoru při použití Millerova cyklu [81]

Pokud porovnáme Millerův cyklus (6-2-3-5) s cyklem Ottovým (1-2-3-4) pomocí p-V diagramu (Graf 9) zjistíme, že Millerův cyklus pracuje s větším množstvím objemu. Tím lze dosáhnout vyšší technické práce a motor má vyšší účinnost. „Motor s Millerovým cyklem dodává srovnatelný výkon, jako motor s atmosférickým plněním, který má obsah asi 1,5krát větší.“ [43].

Domnívám se, že tento typ spalovacího cyklu vykazuje velkou výhodu ve zvýšení účinnosti. Předpokládám, že se rozšíří a v budoucnu ho bude u svých agregátů používat i Škoda Auto.



Graf 9 - PV diagram Millerova cyklu [68]

3.2 Aktivní opatření neovlivňující spalovací proces

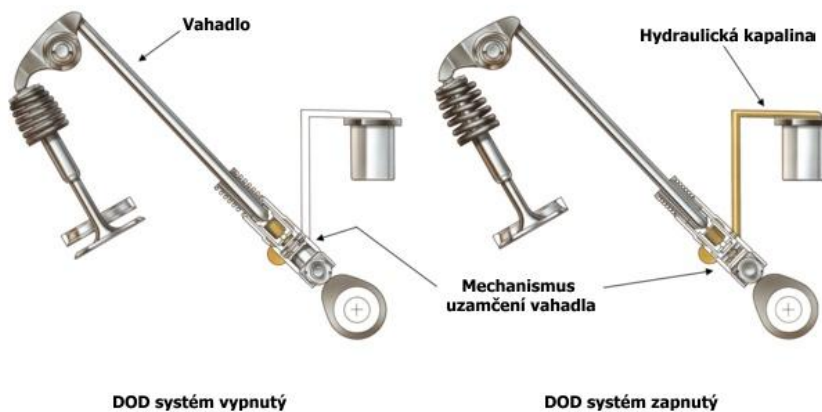
Podobně jako u předcházející skupiny se jedná o opatření podílející se na snížení tvorby škodlivin. Tato opatření však snižují množství vznikajících škodlivin nepřímo.

3.2.1 Systém vypínání válců

V běžném provozu se často setkáváme se situacemi, kdy automobil jede stálou rychlostí a minimálně akceleruje (např. jízda po dálnici nebo klidná jízda v zastavěné oblasti). Není tedy potřebný celkový výkon motoru, protože k pohonu vozidla je využíváno přibližně 30% celkového výkonu. S přihlédnutím k této skutečnosti byl vyvinut systém vypínání válců využívaný především u šesti a víceválcových motorů. Vzhledem k nutnosti snížit spotřebu paliva se však tato technologie rozšiřuje i do motorů s nižším počtem válců. [48]

Samotný systém funguje tak, že pro daný spalovací prostor uzavře sací i výfukové ventily. Tím ve válci nedochází ke spalovacímu procesu, ani k výměně plynů. Dojde tedy nejen ke snížení potřebného množství paliva pro válec, ale také k úbytku ztrátové energie potřebné pro výměnu plynů. [130]

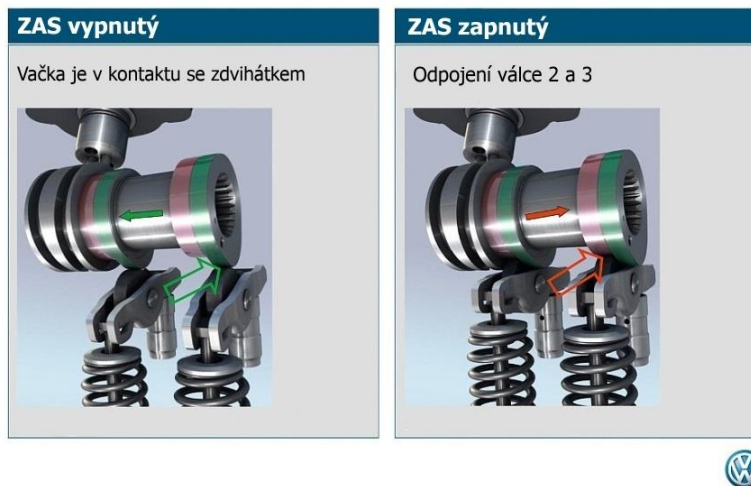
Prvním takto vybaveným automobilem se stal Cadillac V8-6-4 vyráběný v rámci koncernu GM. Odpojování válců bylo řízeno palubním počítačem. Ten odpojil dva nebo čtyři válce tak, že mechanicky přerušil kontakt zdvihátka s OHV rozvodem. Motor byl velmi nespolehlivý a na trhu nenašel uplatnění. V současné době používají automobily vyráběné v rámci koncernu GM systém pod názvem Displacement on demand (Obr. 8). Ten je řízen hydraulickou soustavou, která na pokyn řídicí jednotky odpojí vahadlo a uzavře ventil.[86]



Obr. 8 - Princip činnosti systému DoD [52]

Koncern VW používá pro čtyřválcové motory technologii posouvání vaček označovaný jako ZAS - Zylinderabschaltung systém (Obr. 9). Za běžného provozu vačka stlačuje ventil, ovšem při sepnutí systému je vačka posunuta. V té chvíli je v kontaktu se stopkou ventilu pouze válcová část vačkové hřídele a ventil tedy nevykonává svou funkci. Vypnutí probíhá pomocí šnekového mechanismu podobně jako u systému Valvelift. Celková doba deaktivace trvá přibližně 13 – 36 ms pro dva válce současně a to pro druhý a třetí válec. „Systém je funkční v rozsahu od 1400 do 4000 min^{-1} při točivém momentu od 25 do 75 Nm. To odpovídá asi 70% cyklu NEDC.“ [130]

1,4 I TSI

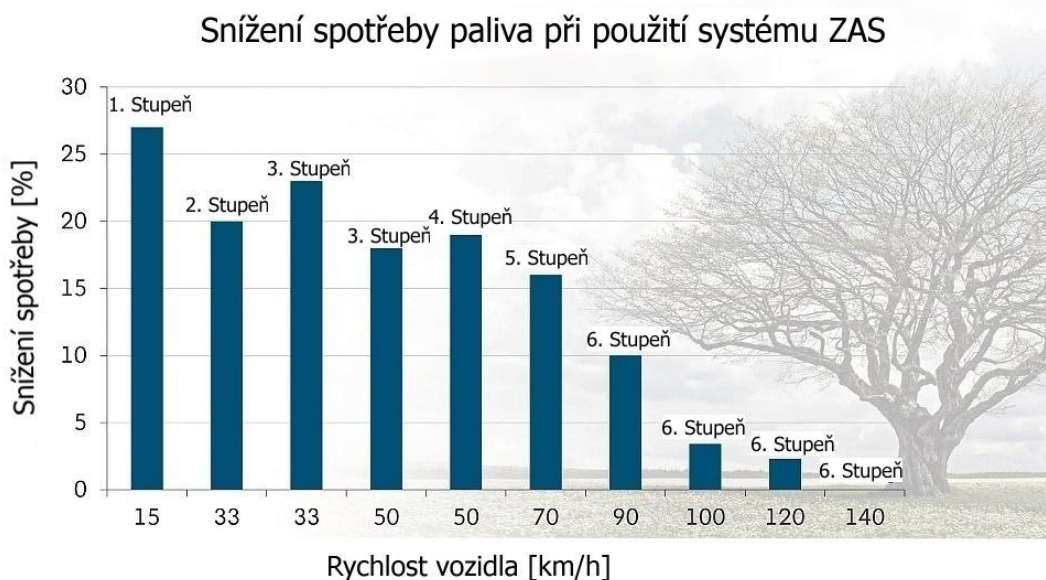


Obr. 9 - Princip činnosti systému ZAS [93]

Deaktivace válců, jak bylo již na začátku zmíněno, se začala využívat zejména pro šesti a víceválcové motory. Při jejím využití nedochází k výrazným negativním efektům. Při deaktivaci jednoho válce ve čtyřválcovém motoru, ale dochází k jeho rezonování a zvyšuje se hlučnost. Proto dojde k vypnutí u dvou válců zároveň, čímž se motor opět vyváží. Další možností je vypínání jednotlivých válců nezávisle na sobě. V blízké budoucnosti odhaduji značné rozšíření této technologie především mezi čtyřválcovými motory a to hlavně díky dobrým výsledkům. Zařízení je totiž schopno snížit spotřebu paliva přibližně o 6 - 10 % v závislosti na testovacím cyklu (Graf 10).

Domnívám se, že systém by bylo možné zkombinovat s proměnným časováním ventilů (např. kombinace systémů ZAS a Valvelift). Tyto systémy by s vhodnou úpravou vačkového hřídele a šnekového mechanismu bylo možné používat na stejném agregátu, čímž by došlo k výrazné úspoře paliva. Protože úspora paliva je při nižších rychlostech výrazná, předpokládám velké rozšíření tohoto systému.

V současné době je systémem vypínání válců ve Škoda Auto vybaven vůz Superb s motorem 1,4 TSI.



Graf 10 - Snížení spotřeby paliva v závislosti na rychlostním stupni vozidla [93]

3.2.2 Start - stop rekuperace

Pro snížení spotřeby paliva především v městském provozu se rozšířilo používání systému typu Start - Stop. Škoda Auto ho ve svých vozech používá v kombinaci s rekuperací brzděné energie.

Vzhledem k tomu, že při zastavení vozu agregát vykonává zbytečnou práci, je ve vozech používán systém Start - Stop. Jeho použití má smysl při zastavení vozidla na dobu delší než dvě sekundy, kdy automobil vynaloží menší množství energie na nastartování zahřátého motoru než na jeho udržení v chodu. Systém motor vypne v případě, že řídicí jednotka zaregistruje splnění všech nutných okrajových podmínek (dodržení bezpečnosti posádky a provozu). Poté se při vyřazení rychlosti a uvolnění spojkového pedálu motor vypne. Opačným způsobem motor naskočí (vyšlápnutí spojky, zařazení rychlosti). Vzhledem ke zvýšenému počtu startování motoru, oproti vozu bez systému, je kladen mnohem větší důraz na životnost namáhaných součástí. To zahrnuje baterii uzpůsobenou pro vyšší počet startů, tvrdší ozubení startéru a jeho protikusů na setrvačnicku, startér pracující za vyšších otáček pro plynulejší start motoru, řízený alternátor s elektrickým regulátorem pracujícím v rozsahu 12 – 15 V atd. Automobil vybavený tímto systémem je schopný snížit množství CO₂ o 5 – 10 g/km v kombinovaném cyklu dle NEDC.

Rekuperace brzděné energie je zajištěna použitím řízeného alternátoru s elektronickou regulací namísto alternátoru s konstantním napětím. Při deceleraci automobilu se napětí na regulátoru alternátoru zvýší nad hodnotu napětí na akumulátoru, tedy na 15 V. V té chvíli se změní tok elektrické energie, který je směřován k baterii a elektrickým systémům v automobilu. Při následné akceleraci dojde ke snížení napětí na regulátoru na hodnotu napětí baterie. Tehdy jsou spotřebiče napájeny alternátorem i baterií. Také nedochází k dobíjení baterie do chvíle, než poklesne její kapacita na určitou hodnotu. Protože alternátor v daném okamžiku pracuje při nižším odporu magnetického pole, tzn. při nižší zátěži, dosáhneme snížení zátěže spalovacího motoru. Použitím rekuperace brzděné energie lze snížit emise CO₂ o dalších 2 – 4 g/km dle testovacího cyklu NEDC.

K prvnímu nasazení systému Start - Stop ve Škoda Auto došlo v roce 2010 v modelech Green Line, ty se tak staly prvními microhybridy automobilky (viz. Kapitola 4.1).

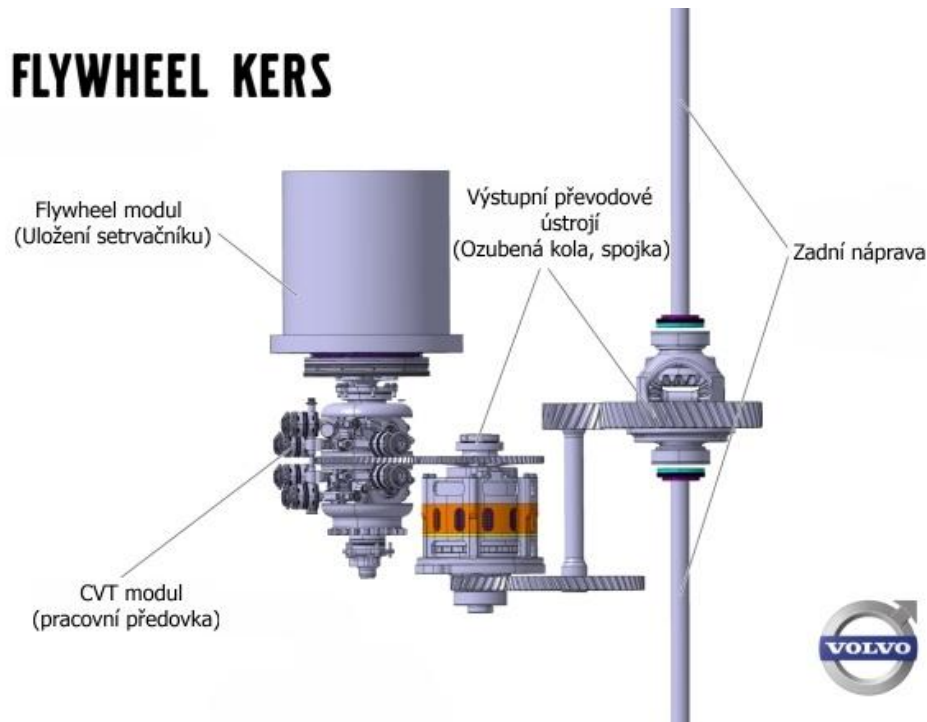
Zatímco Start - Stop systém je užitečný především v městském provozu, tak systém rekuperace pomáhá spořit palivo v průběhu celé jízdy. Souběžné použití těchto dvou opatření považuji za vhodný krok k dalšímu snižování emisí. Předpokládám, že rekuperace brzděné energie bude dále zdokonalována a dosáhne ještě vyšší účinnosti. V kombinaci s nízkými náklady se jedná o efektivní opatření pro snížení spotřeby pracující v celém průběhu jízdy. Zároveň odhaduji další vývoj systému Start - Stop, který by šlo použít ve více situacích než je pouze vypnutí motoru při zastavení vozu (např. při dojíždění vozu, při jízdě z kopce atd.). [135]

3.2.3 Rekuperace energie pomocí setrvačnickové metody

Rekuperací systémy typu KERS se poprvé objevily u vozů Formule 1, zde se jednalo o nabíjení baterií pomocí přebytku energie z brzd. Automobilka Volvo tento způsob upravila tak, aby nebylo potřeba vybavovat každé kolo elektrickým generátorem. Využívá k tomu systém užitkový kinetickou energii setrvačnicku nazvaný Flywheel KERS. [106]

Soustava (Obr. 10) se skládá z převodového mechanismu vybaveného mokrou spojkou, který roztáčí setrvačnicku umístěný ve vakuu. Při brzdění je setrvačnicku roztočen až na 60 000 min⁻¹. Během akcelerace je ze setrvačnicku převedena energie na nápravu. Systém je umístěn na zadní nápravě, v případě aktivace systému tak dochází k dočasnému pohonu obou náprav vozu. [105] [80]

Konstrukce systému je velice zajímavá a možnosti jejího využití se teprve ukáží. Předpokládám ovšem, že velkého rozšíření se tento způsob rekuperace nedočká. To proto, že systém váží přibližně 60 kg, což je váha, kterou pro správnou funkci a zachování vhodného momentu setrvačnosti snížit nejspíše nelze. Dalším důvodem je, že řidič musí vynaložit velké úsilí, aby dodržel správný způsob jízdy pro dobrou funkčnost tohoto systému. Je zde totiž potřeba dodržovat zcela odlišný jízdní styl, než jakým je tradiční ekonomická jízda, čímž by sice došlo k využití setrvačnicku, ale nedošlo by k využití jiných opatření snižujících spotřebu. [36]

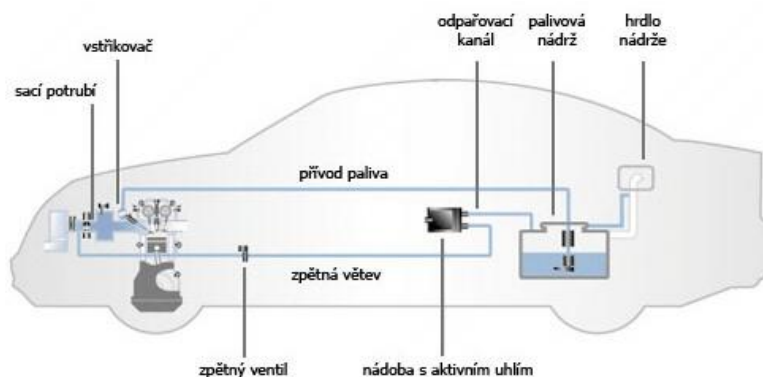


Obr. 10 - Schéma systému KERS vyvíjený automobilkou Volvo [36]

3.2.4 Recirkulace benzínových par

Přibližně 10% celkových emisí automobilu je tvořeno odparnými emisemi z motoru. Množství odparných emisí je kontrolováno, proto musí výrobci automobilů eliminovat i tento zdroj. Toho lze docílit odvětráváním palivové nádrže (Obr. 11). [75]

Benzínové výpary se zachycují v nádobce s aktivním uhlím, kam je napojena odvětrávací hadička. „Aktivní uhlí zadržuje benzínové výpary a propouští do okolního prostoru jen čistý vzduch.“ [43]. Aby byla umožněna regenerace aktivního uhlí, je nádoba spojena hadičkou se sacím potrubím. Při chodu motoru vznikne podtlak, který umožní recirkulaci vzduchu v nádobě. Vzduch prochází přes aktivní uhlí a strhává z něj palivo, které se na něm usadilo, to pak putuje do spalovacího prostoru. [43]



Obr. 11 - Schéma umístění a vedení recirkulace benzínových par [113]

3.3 Pasivní opatření

Pasivní opatření jsou taková, která snižují množství emisí již vzniklých v procesu spalování.

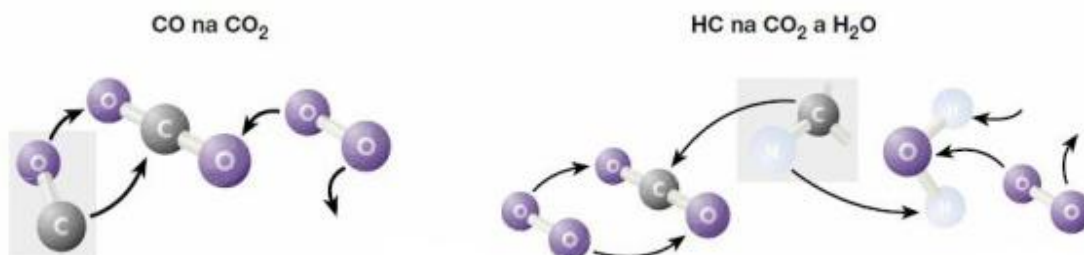
3.3.1 Katalytické konvertory

Jedná se o jedno z nejstarších opatření, které díky svým technologickým možnostem nemůže být nahrazeno žádným jiným. Slouží k přeměně škodlivých látek na látky ekologicky nezávadné. Hlavní součástí katalyzátoru je keramický nebo kovový vysoce porézní válec, na jehož povrchu je nanesena vrstva vzácných kovů, které fungují jako inhibitor pro chemické reakce. Katalyzátory pracují s různými hodnotami účinností pro jednotlivé druhy polutantů. Účinnost katalyzátoru se vypočítá dle vzorce (4). [40]

$$\frac{(Katalyzátor_{vstup} - Katalyzátor_{výstup})}{Katalyzátor_{vstup}} \cdot 100 = \text{Účinnost katalyzátoru [\%]} \quad (4)$$

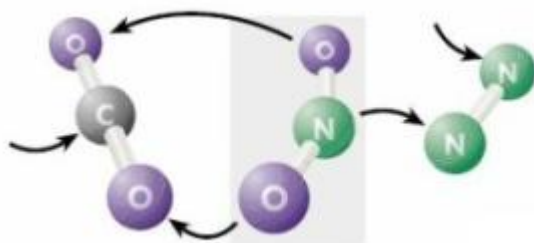
Katalyzátory lze z chemického principu rozdělit na:

1. **Oxidační katalyzátor** - potřebuje ke zpracování polutantů dostatek kyslíku, toho lze dosáhnout spalováním chudé směsi nebo externím přiváděním vzduchu. „Při oxidaci je poté CO přeměňován na CO₂, zároveň uhlovodíky oxidují na H₂O a CO₂. V podstatě se jedná o dodatečné spalování.“ [116]



Obr. 12 - Oxidační reakce

2. **Redukční katalyzátor** - pracuje tak, že je sloučeninám odebrán kyslík, čímž se zpracovávají NO_x na N₂ a na CO₂.



Obr. 13 - Redukční reakce

[116]

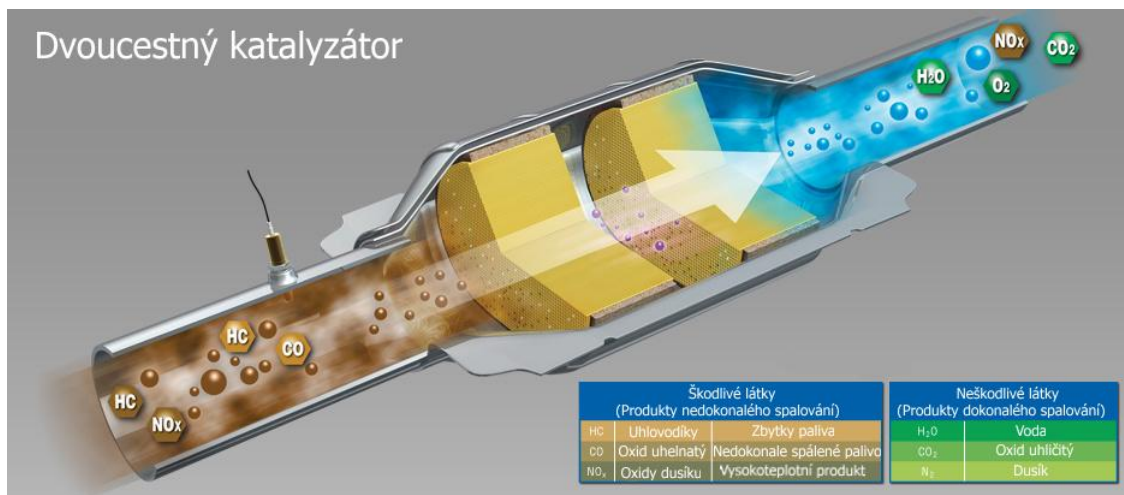
V současnosti se ve vozidlech používá:

1. Dvoucestný (oxidační) katalyzátor.
2. Třícestný katalyzátor.
3. Katalyzátor s ukládáním NO_x (Absorpční katalyzátor).
4. Katalyzátor pro kontinuální selektivní redukci (SCR).

Dvoucestný katalyzátor – jedná se o oxidační katalyzátor, jehož nasazení se datuje do 70. let minulého století. Dvoucestný katalyzátor (Obr. 14) nebo také diesellový oxidační katalyzátor má za úkol snižovat množství CO a HC. Podmínkou pro správnou funkčnost je dostatečné množství kyslíku, proto může pracovat buď u motorů spalujících chudou směs ($\lambda > 1$) nebo je potřeba do výfukového potrubí zavést sekundární přívod vzduchu. Během oxidace dochází k dodatečnému hoření, proto plyn na výstupu katalyzátoru může mít větší teplotu než na vstupu. Katalyzátor se u benzínových motorů již prakticky nepoužívá, ale své uplatnění našel u diesellových motorů, kde pracuje s relativně uspokojivými hodnotami účinností (Tab. 2). [78]

Tab. 2 - Účinnost přeměny dvoucestného katalyzátoru

Látka	CO	HC	CH ₂ O	PM
Účinnost přeměny	95-99%	80-90%	80-99%	70-88%



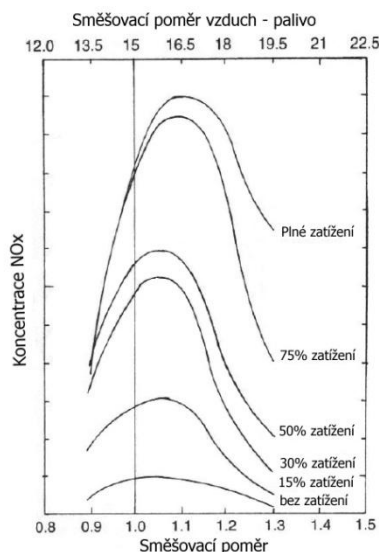
Obr. 14 - Dvoucestný katalyzátor [37]

Třícestný katalyzátor (TWC) – jedná se o často používaný druh katalyzátoru, který je vytvořen spojením oxidačního a redukčního katalyzátoru zároveň. Pro správnou funkčnost se tento typ využívá u motorů pracujících se stechiometrickou směsí paliva $\lambda \approx 1$ (Pozn.: Stechiometrická směs je taková směs, která má poměr přibližně 14,7 kg vzduchu na 1 kg paliva.). Nelze ho tak použít u motorů, které pracují s tzv. chudou směsí paliva, protože přebytek kyslíku u tohoto katalyzátoru znemožňuje redukci NO_x.

Katalyzátor (Obr. 15) je složen z porézního tělesa, na jehož povrchu je nanášena nosná vrstva (Al₂O₃), která zvyšuje účinnost katalyzátoru. Na této vrstvě jsou umístěny aktivní prvky (Pt, Pl, Rh). Celková hmotnost aktivních prvků bývá mezi 2-3 g. [4]

Jednou z nejdůležitějších součástí katalyzátoru je tzv. lambda sonda. Ta má za úkol změřit složení spalin před katalyzátorem a za ním. Tím dojde ke zpětné vazbě a po vyhodnocení řídicí jednotkou se upravuje poměr paliva a vzduchu proudícího do spalovacího prostoru. [133]

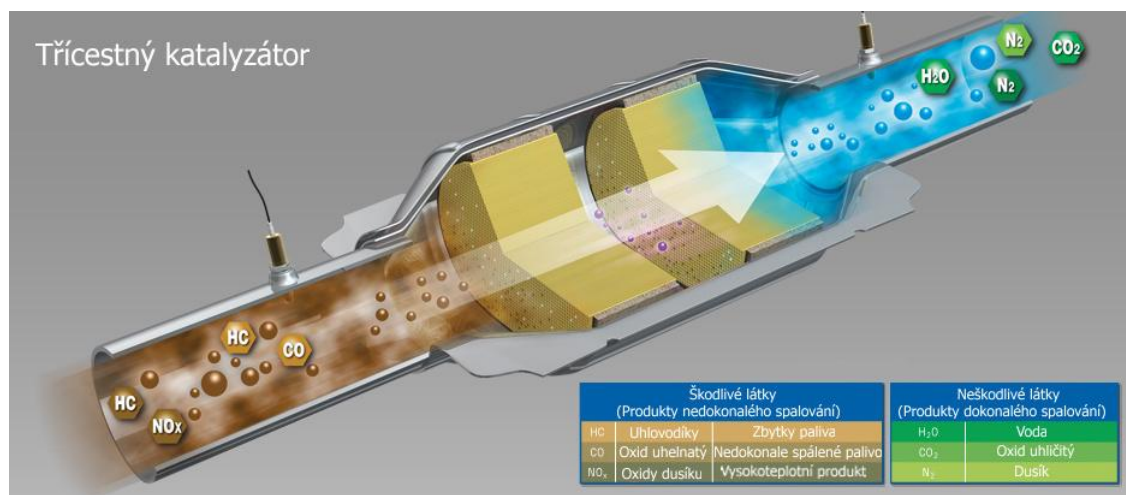
Důležitým údajem u třicestného katalyzátoru je pracovní teplota. Chemické reakce začínají probíhat při 300°C, proto je nutné, aby se katalyzátor zahřál co nejdříve. Pracovní teplota je poté přibližně 400°C až 800°C. Zatímco účinnost přeměny CO a HC je velmi vysoká, množství přeměněných NO_x je silně závislá na zátěži motoru a poměru směsi (Graf 11). [4]



Graf 11 - Graf závislosti koncentrace NO_x na směšovacím poměru [59]

Tab. 3 - Účinnost přeměny třicestného katalyzátoru [19]

Látka	CO	NO _x	HC
Účinnost přeměny	98-99%	-	95%



Obr. 15 - Třícestný katalyzátor [19]

Katalyzátor s ukládáním NO_x (NSCR) – vzhledem k tomu, že třicestný katalyzátor nemůže pracovat u motorů s přímým vstřikováním, které spalují chudou směs, bývá do těchto automobilů nasazován katalyzátor s ukládáním NO_x. Používá se však i u motorů s vrstveným vstřikováním, kde se využívá v kombinaci s třicestným katalyzátorem. NSCR pracuje na principu střídání různých druhů směsí. „Protože zásobníkový katalyzátor obsahuje i vzácné kovy, chová se v provozu se stechiometrickou směsí obdobně jako tříložkový katalyzátor“ [43], tzn. že je schopen přeměňovat HC, CO, NO_x na H₂O, CO₂ a N₂ (Obr. 16).

První fází je spalování chudé směsi, během níž je NO_x ukládán na aktivní vrstvě sloučeniny BaO.

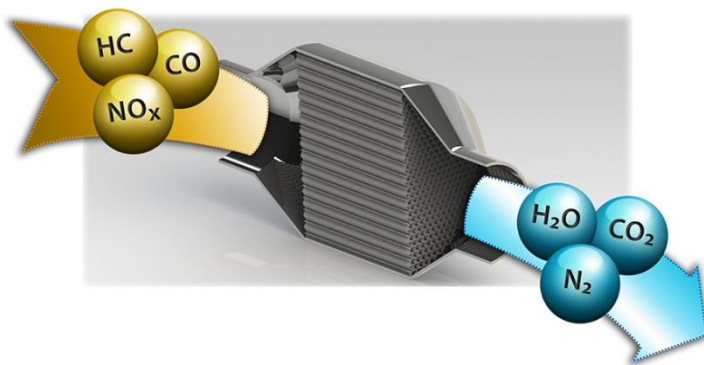
Další fází je regenerace, během které je do spalovacího prostoru vháněna bohatá směs. To umožní uvolnění sloučenin NO_x.

Za další fází lze považovat odsiřování, kdy je spalována směs s $\lambda = 0,8 - 1$. Během ní je uvolňován SO₂ pomocí CO při teplotách nad 650°C.

Katalyzátor funguje s poměrně vysokou účinností (Tab. 4), která benzínovým motorům umožňuje splňovat emisní limity bez výrazných konstrukčních zásahů.[4]

Tab. 4 - Účinnost přeměny NSCR katalyzátoru [91]

Látka	CO	NO _x	HC	CH ₂ O
Účinnost přeměny	95-99%	90-99%	80-90%	80-96%



Obr. 16 - Katalyzátor s ukládáním NO_x [91]

Katalyzátor pro kontinuální selektivní redukcí (SCR) – jedná se o katalyzátor (Obr. 17), který jako jediný pracuje s aktivně dodávanou látkou (čpavek neboli amoniak). Jedná se o toxický plyn, proto jej není možné přímo plnit do zásobníku. Amoniak vzniká z močoviny (NH₂CONH₂), která je uložena v samostatné nádržce, ta se poté tepelnou hydrolyzou rozkládá, aby z ní vznikl požadovaný plyn. Přestože je katalyzátor zaměřen čistě na zpracování NO_x, ze kterých vytváří N₂ a H₂O, je schopen přeměňovat i jiné prvky. Navíc v porovnání s jinými druhy katalyzátorů pracuje SCR v poměrně širokém rozsahu teplot (160°C - 600 °C). [14] [58]

Systémy typu SCR jsou schopny snížit množství NO_x o 80 – 95%. „Tuto vysokou účinnost lze navíc využít k další optimalizaci činnosti motoru, a snížit tak spotřebu paliva o 5 až 7%.“ [58], [80]



Obr. 17 - SCR katalyzátor [14]

Poměrně velkým problémem u SCR je uvolňování NH_3 do prostoru výfukového potrubí za katalyzátorem. Tento jev může nastat pokud NH_3 nezreaguje se škodlivinami (např. při nízké teplotě katalyzátoru nebo při uvolnění nadbytečného množství NH_3 do prostoru SCR). Z tohoto důvodu je za SCR umístěn další katalyzátor označovaný jako „Slip catalyst.“ Jedná se o oxidační katalyzátor, který přeměňuje NH_3 na N_2 a jeho oxidy. To se může zdát kontraproduktivní, vzhledem k tomu, že hlavní snahou výrobců je snížení NO_x , avšak unikající NH_3 z automobilů v městské dopravě je mnohem více nebezpečný než polutanty obsažené v ekologických normách. [92]

Tab. 5 - Účinnost přeměny SCR katalyzátoru [127]

Látka	CO	HC	NO_x	CH_2O	PM
Účinnost přeměny	95-99%	80-90%	40-70%	80-99%	70-88%

Jelikož jednotlivé katalyzátory nejsou schopny zajistit efektivní účinnost při snižování škodlivých polutantů, je ve výfukovém potrubí celá soustava skládající se z různých druhů katalyzátorů, čidel, filtrů, tlumičů hluku atd. Hlavní rozdíl je v soustavách mezi zážehovými a vznětovými agregáty. Diesellové agregáty používají soustavu, která se skládá z EGR ventilu, oxidačního katalyzátoru, DPF a NSCR nebo SCR. U benzinových motorů se také používá EGR ventil, dále však třicestný katalyzátor a NSCR. Pro správnou funkčnost případně brzké zahřátí soustavy, lze v soustavě použít sekundární sání vzduchu, tím urychlíme zahřátí soustavy a její lepší funkci za nízkých teplot. Po zahřátí je sekundární sání vzduchu většinou vypnuté, ovšem u větších agregátů může fungovat po celou dobu chodu. Kombinace jednotlivých opatření zajišťuje, že vyprodukované polutanty budou přeměněny v co nejvyšší míře.

Velkou nevýhodou katalytických konvertorů je jejich vysoká cena a u některých druhů také relativně nízká životnost. Na druhou stranu je nutné konvertory používat téměř ve všech vozech na trhu. Proto nedojde ke snížení konkurenceschopnosti jednotlivých

vozů, ale ke zvýšení výrobních nákladů všech vozů na trhu. Je tedy již na jednotlivých výrobcích, jakým způsobem toto navýšení ceny vyřeší.

3.3.2 Filtry pevných částic

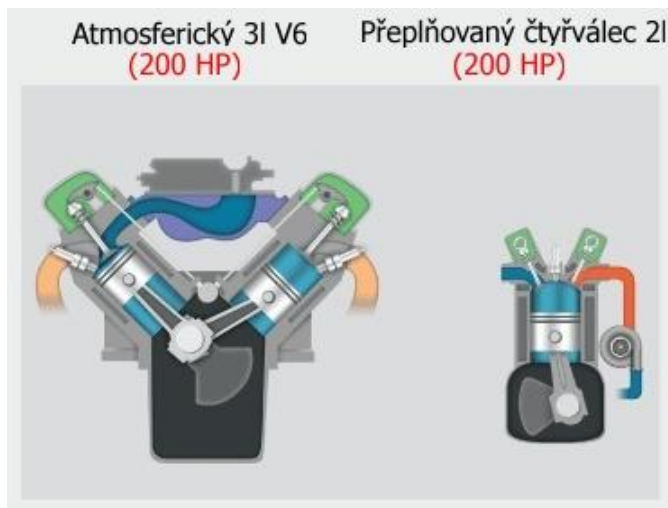
Filtry pevných částic (DPF) jsou jedním z hlavních pasivních opatření pro dieselové motory. Jejich konstrukce je podobná katalyzátorům, ovšem jejich účel je oproti nim značně odlišný. Hlavním účelem DPF je minimalizování množství PM (především sazí). V závislosti na porositě daného filtru je výrobce schopný dosáhnout až 97% účinnosti filtrace.

Proces filtrace pomocí DPF má dvě fáze. V první fázi probíhá ukládání filtrovaných pevných částic. Těleso se postupně zaneseme saze a zhoršuje se tak odvod spalin, proto je nutné tyto nečistoty odstranit. Toho je docíleno druhou fází, kterou nazýváme regenerace. Regenerace může probíhat buď pasivně, nebo aktivně. Pasivní regenerace je proces, který nastává během agresivního jízdního stylu, kdy se teplota DPF značně zvýší. Naopak aktivní regenerace je způsob, který je zajištěn výrobcem. Poté, co řídící jednotka vyše signál, že je DPF zaneseno, dojde k dočasné změně spalovacího procesu, nebo ke vstříknutí paliva do prostoru DPF. Tím se spálí uložené saze.

Prvním vozidlem ve Škoda Auto vybaveným DPF byl vůz Octavia s motorem 1,9 TDI – PD 77kW. K jeho nasazení došlo v roce 2005, model ovšem nebyl vybaven filtrem standardně. K jeho nasazení docházelo buď v rámci mimořádné výbavy, nebo při vývozu automobilu na trhy s nízkou emisními městskými zónami. Motor byl schopný splnit emisní normu Euro 3, při vybavení DPF poté plnit normu Euro 4. Pro všechny následující vznětové motorizace se již stal DPF standardním vybavením. V současné době jsou jím vybaveny všechny dieselové vozy. [112] [4]

3.4 Downsizing

Downsizing neboli zmenšování je jedním z hlavních způsobů jak dosáhnout snížení spotřeby paliva, a tím i množství vyprodukovaného CO₂. Jedná se o konstrukční směr, který snižuje velikost motoru, ale zachovává jeho výkon. Toho lze dosáhnout snížením počtu válců, snížením zdvihu pístů nebo zmenšením vrtání motoru. Zmenšením motoru se dosáhne snížení celkové hmotnosti agregátu, a snížení třecích a tepelných ztrát. Zároveň motor častěji pracuje v režimech vyššího zatížení. V tomto režimu má motor vyšší termodynamickou účinnost, takže lépe využije energii z paliva. Díky tomu klesne i jeho spotřeba. Lze tak nahradit např. vidlicový, atmosférický, šestiválec menším přeplňovaným řadovým čtyřválcem (Obr. 18). Automobil bude mít nižší hmotnost a spotřebu při zachování stejného výkonu. [108]



Obr. 18 - Princip downsizingu [125]

Aby bylo dosaženo co nejlepšího výsledku ve snížení spotřeby paliva, je v procesu downsizingu zahrnuto i zavádění dalších opatření jako je přeplňování, proměnné časování ventilů, recirkulace výfukových spalin a ve většině agregátů přímé vstřikování.

Při použití těchto opatření a zároveň zmenšení velikosti motoru o zhruba 30% dojde ke snížení spotřeby paliva přibližně o 8 - 10%. Příkladem automobilů s downsizingovými motory mohou být Ford Focus s tříválcovým litrovým motorem Ecoboost o 125 kW s hodnotou emisí CO₂ 114 g/km, Fiat 500 s dvouválcem TwinAir o 85 HP s hodnotou CO₂ 95g/km nebo Škoda Citigo s tříválcovým motorem 1,0 MPI s emisní hodnotou CO₂ 95 g/km. Vzhledem k tomu, že zároveň dochází ke snížení materiálových nákladů, považují tuto metodu za velice progresivní. [108] [125] [96]

4 Budoucnost pohonných jednotek

Budoucnost spalovacích motorů je se snižujícími se zásobami ropy a s razantním snižováním emisí CO₂ více než nejasná. V roce 2020 mají být emise CO₂ u nově vyrobených vozidel v EU sníženy na 95 g/km. V dlouhodobém výhledu bude docházet k dalšímu snižování, které by mělo dosáhnout hodnoty 20 g/km v roce 2050. Takto nízkých emisí nelze dosáhnout s konvenčními agregáty, pro které je tato hodnota téměř likvidační. Bude proto nutné, aby byly ve velké míře vyráběny vozy s alternativními pohony dosahující extrémně nízkých nebo nulových emisních hodnot.

Jako nejlepší varianta se vzhledem k současným technologickým možnostem jeví pohony na bázi elektrické energie, případně jejich varianty zkombinované se vznětovými motory. Další možností by mohlo být použití vozidel využívajících ke svému pohonu vodíkové palivové články (FCEV). Zde je ovšem problémem vysoká cena palivových článků a také chybějící síť distribuující paliva.

Práce se bude nadále zabývat elektrickými pohony, které jsou v současné době již sériově vyráběny. Domnívám se, že mají největší potenciál pro to, aby v budoucnosti doplnily paletu spalovacích motorů osobních automobilů.

4.1 Budoucnost konvenčních pohonných jednotek

Vzhledem ke zpřísnujícím se emisním normám, budou muset výrobci automobilů investovat velké množství financí do vývoje konvenčních agregátů. Následující kapitoly se zabývají možným směrem dalšího vývoje.

4.1.1 Účinnost pístových spalovacích motorů

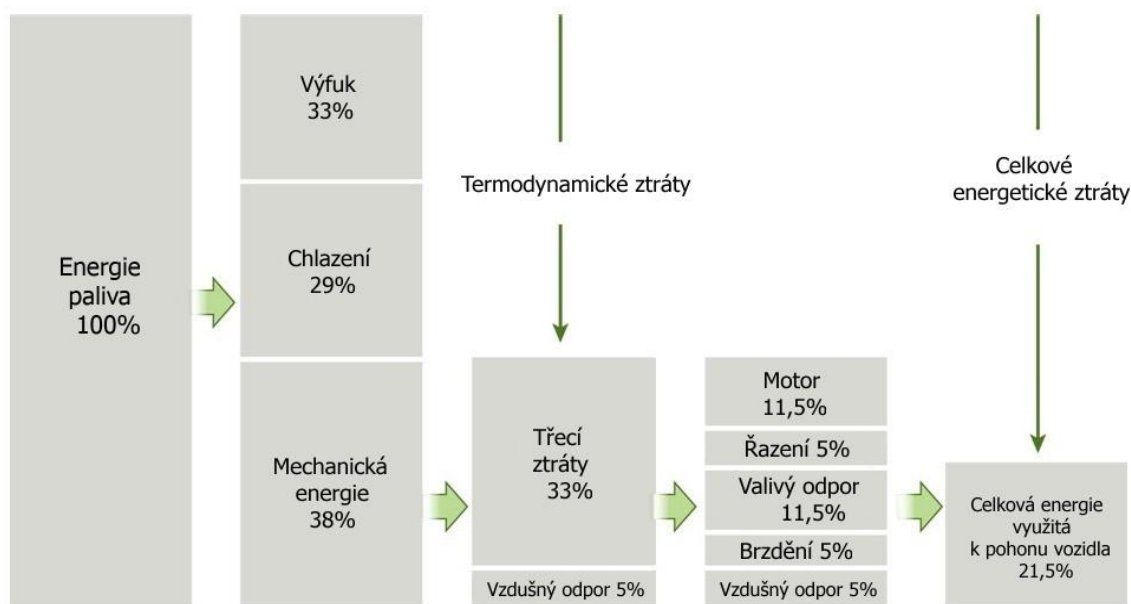
Spalovací motor prošel od svého vzniku řadou úprav, které zvyšovaly jeho účinnost až ke stávající hodnotě přibližně $\eta = 0,35$ pro benzínové motory a $\eta = 0,40$ pro diesellové motory. Snahou výrobců je další zvyšování účinnosti motoru, čímž dojde k lepšímu využití paliva a tím ke snížení množství emisí CO₂.

Pro další zvýšení účinnosti motoru, je potřeba snižovat celkové množství ztrát. Největší ztrátu (30 – 37 %) přitom představuje tepelná energie obsažená ve výfukových plynech, dále pak ztráty vzniklé tepelnou disipací (33 – 25%) a mechanické ztráty (33 – 40%). Mechanické ztráty lze rozdělit následovně:

- Třecí ztráty (12 - 45%).
- Ztráty vzniklé vzdušným odporem (3 – 12%).
- Ztráty vzniklé brzděním (5%).

Při sečtení celkových ztrát je poté na pohon vozu využito 21,5% celkové energie obsažené v palivu (Graf 12).

Z grafu 12 vyplývá, že hlavní možností, jak dosáhnout zvýšení účinnosti motoru, je snížení jeho ztrát. Další možností je úprava spalovacího procesu. Poslední variantou je zásadní změna konstrukce motoru. Tato možnost je však finančně nejnáročnější a pro výrobce není stále vhodnou cestou dalšího vývoje. Jednotlivými možnostmi se zabývá další kapitola.



Graf 12 - Množství celkových ztrát pístového spalovacího motoru [66]

4.1.2 Vývoj konvenčních agregátů

Aby výrobci automobilů zajistili plnění emisních limitů, budou muset investovat do dalšího vývoje opatření zvyšujících celkovou účinnost motoru. Lze očekávat, že opatření používaná na motorech montovaných do vozů vyšších tříd se rozšíří i mezi maloobjemové motory. Mezi taková opatření patří proměnné časování ventilů, turbodmychadla s variabilní geometrií, úpravy spalovacích cyklů a další. Práce dále uvádí opatření s největším potenciálem pro další vývoj a jejich použití.

Vzhledem ke stávajícímu trendu vývoje katalytických konvertorů se dá předpokládat, že u nich bude dále zvyšována účinnost přeměny škodlivých látek. Ve výfukovém potrubí bude používáno více kombinací různých druhů konvertorů. Vzhledem ke zpřísnujícím se limitům NO_x lze očekávat, že u značného množství automobilů bude nutné použít SCR katalyzátor. Nutností bude také použití nových druhů konvertorů, jedním z nich bude nejspíše nasazení filtru pevných částic pro benzínové motory.

V oblasti vstřikování benzínových motorů předpokládám další zvyšování pracovních tlaků. To bude vyžadovat i změnu konstrukce motorů, protože stávající agregáty by při navýšení pracovních tlaků již neodpovídaly z pohledu pevnostních požadavků. Dále se domnívám, že dojde ke značnému rozšíření piezoelektrických vstřikovačů umožňujících mnohem lepší řízení vstřikovacího procesu než u elektromagneticky ovládaných vstřikovacích systémů. U dieselových motorů odhaduji nahrazení komůrkových systémů přímým vstřikováním paliva.

Se zlepšením vstřikovacích procesů souvisí i další způsob zvyšování účinnosti motoru, jakým je kompresní poměr. U benzínových motorů se bude dále zvyšovat. Nyní jsou používány hodnoty přibližně $\eta = 13$ až 14 , některé automobilky však používají hodnoty $\eta = 18$ a lze předpokládat jejich další růst. U dieselových motorů je situace zcela opačná. Snížením této hodnoty lze dosáhnout nižšího obsahu polutantů, např. automobilka Mazda snížila jeho hodnotu na $\eta = 14$. Naopak za nevhodné považují systémy variabilního kompresního poměru, které svou složitostí, nárůstem hmotnosti a ceny nepředstavují vhodnou variantu dalšího vývoje.

Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, velkou část ztrát představují ztráty třením. Největší podíl třecích ztrát přímo v motoru mají přitom pístní kroužky. Ke snížení těchto ztrát lze použít povlakování pístních kroužků, spalovacího prostoru a dalších součástí (Graf 13). Jako velmi progresivní metoda se jeví metoda LST. Jedná se o technologii, kdy jsou pomocí laseru do povrchu kroužků a válců vytvořeny mikrodůlky o hloubce přibližně 5,6 mikrometrů. V nich se usazuje olej, což snižuje tření a zvyšuje životnost součástí. Další možností snížení tření je změna, případně úprava maziva. Současné syntetické oleje jsou proto doplňovány různými aditivami. Aditiva však při spálení produkují škodlivé emise. Jako alternativa k minerálním olejům se jeví použití rostlinných olejů. Ty při spálení neprodukují škodlivé emise, nedosahují ale mazacích kvalit minerálních olejů. Tato technologie je sice známá, pro použití v sériové výrobě je ovšem stále příliš drahá. [97]



Graf 13 - Třecí ztráty v motoru [49]

Velký rozvoj předpokládám v oblasti rekuperace energie. Nyní je většina vyráběných vozidel nabízena v kombinaci se systémy Start - stop a rekuperací brzděné energie. Odhaduji, že v řádu několika let bude takto vybaveno 100% vyráběných vozů. Rozsah použitelnosti a množství navracené energie se přitom bude jistě nadále zvyšovat.

Další z velmi progresivních variant se jeví konstrukce motoru typu HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition). Jedná se o motor kombinující výhody jak benzínového, tak dieselového agregátu. Motor je konstruován jako vznětový tzn., že neobsahuje zapalovací svíčku a je u něj nutné používat přímé vstřikovače. Přitom ovšem spaluje benzín případně etanol. Palivo je v motoru rovnoměrně rozprostřeno v celém objemu, tím vzniká homogenní směs. Pro spálení benzínu je potřeba výrazně nižší teplota vznícení, proto motor produkuje nižší množství emisí NO_x. Zároveň je však stejně úsporný jako dieselový motor. V případě, že by motor takto pracoval, jednalo by se o ideální alternativu jak zachovat stávající spalovací motor. V reálném prostředí je ale právě použití paliva s nižší teplotou vznícení hlavním negativem. Dochází tak k předzápalům směsi, což neumožňuje jeho homogenní spalování. K vyřešení tohoto problému by mohlo přispět použití variabilního kompresního poměru, to by však byl již zásadní konstrukční zásah, který by si vyžádal rozsáhlou změnu konstrukce motoru, a tedy i jeho vyšší cenu. Tato technologie je již použita v několika konceptech vozů. Jako první ho v roce 2007 použila automobilka Mercedes – Benz pod firemním názvem DiesOtto ve voze F700. V roce 2014 pak koncern VW vyvinul vlastní

verzi tohoto motoru pod názvem Combined Combustion System (CCS) a použila ho ve voze Touran. [94] [73] [89]

4.1.3 Alternativní paliva

Jinou možností výrobců, jak splnit emisní limity, je úprava motorů pro spalování alternativních paliv.

První možností náhrady benzínu je použití LPG. Jedná se o plyn, který je pro pohon vozidel používán již několik let. Hlavní výhodou je menší množství vyprodukovaných polutantů a nižší cena. Nevýhodou je vyšší spotřeba paliva.

Výhodnější variantou je použití zemního plynu. Ten je nyní distribuován ve dvou variantách a to v plynné stlačené formě (CNG) nebo jako tekutina (LNG). Hlavními výhodami zemního plynu jsou nižší vyprodukované emise a nižší cena. Nevýhodou je však vyšší spotřeba paliva. [87]

Další variantou je použití etanolu jako náhrady benzínu. Jedná se o obnovitelný zdroj paliva, jelikož je vyráběn z biologických materiálů, jako jsou brambory, cukrová řepa, kukuřice atd. Z toho vyplývají i negativní stránky jeho výroby - zvýšení ceny potravin a zabírání zemědělsky vhodných míst pro jejich výrobu. [35]

Pro nahrazení nafty se používá tzv. bionafta. Jedná se o palivo rostlinného původu. Oproti standardní naftě produkují motory spalující bionaftu menší množství polutantů a CO₂. Nevýhodou je zvýšená spotřeba paliva. V současnosti je používána především v autobusech a zemědělských strojích. [104]

4.2 Alternativní pohony

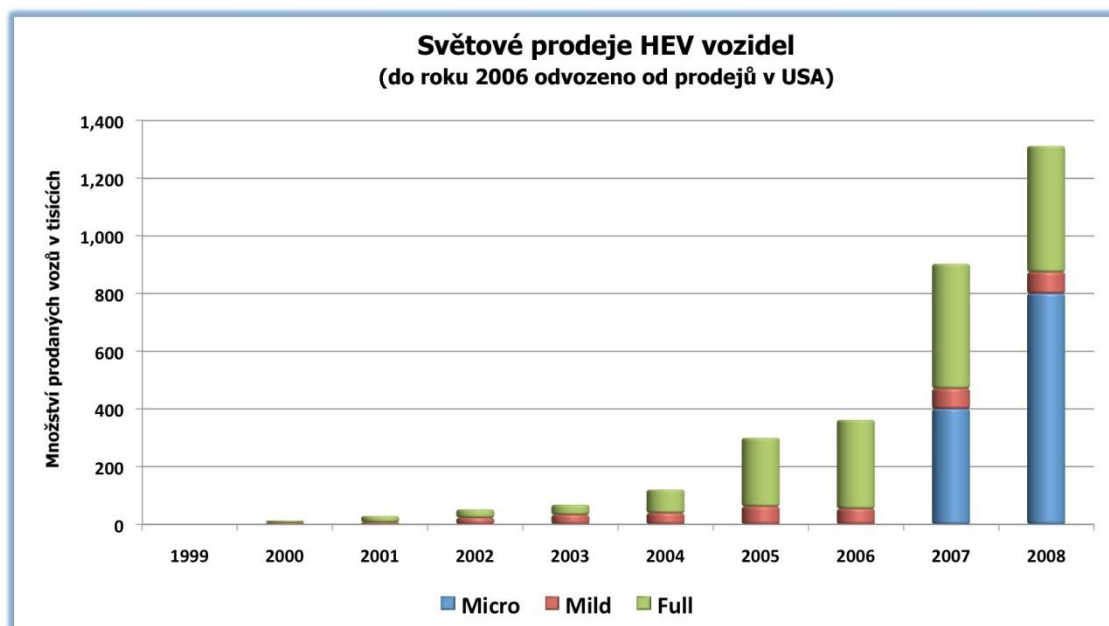
Alternativní pohony využívající elektrickou energii lze rozdělit na tři základní druhy:

- HEV – hybrid electric vehicle.
- PHEV – Plug-in hybrid electric vehicle.
- BEV – battery electric vehicle.

Jednotlivými skupinami vozů se práce zabývá v dalších kapitolách.

Vývoj hybridního vozidla je ekonomicky, technologicky i výrobně velmi náročný, proto jsou vozy vyráběny i jako částečné hybridy. Jednotlivé vozy lze rozdělit podle stupně hybridizace (Graf 14), tedy podle rozsahu použitých technologií, které upravují spotřebu paliva spalovacího motoru.

- 1. Microhybrid** – jedná se o vozidlo s klasickým spalovacím pohonem, je vybaveno systémem typu Start - stop případně rekuperací energie. Zástupci této skupiny jsou např. vozy typu Škoda Green Line.
- 2. Mildhybrid** – jde o vozidlo, které využívá spalovací pohon po celou dobu jízdy. Není tedy možné jet delší trasu výhradně na elektromotor. Ten pouze napomáhá v určitých situacích, jako je rozjezd, zrychlování atd. Zástupce této skupiny je např. vůz Mercedes – Benz S 400 hybrid. [118]
- 3. Fullhybrid** – jedná se o vůz, který je schopen jízdy jak pomocí spalovacího motoru, tak pomocí elektromotoru. Řidič je většinou schopen zvolit jízdní režim. Nejznámějším vozem patřícím do této skupiny je Toyota Prius. [115]



Graf 14 - Prodeje vozů dle stupně hybridizace [98]

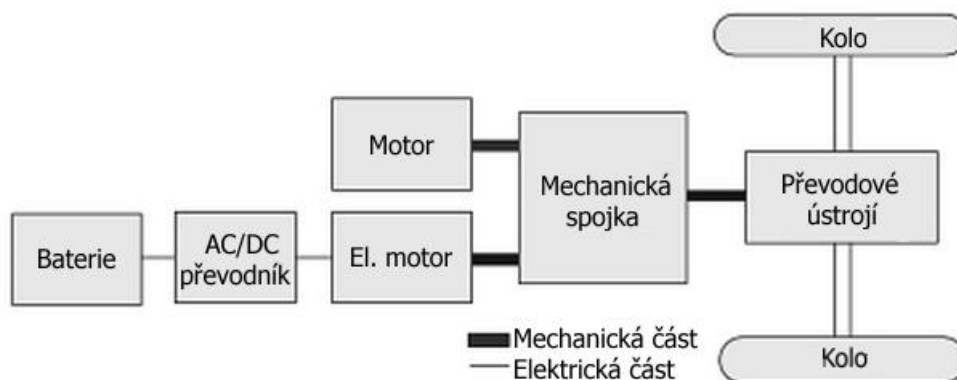
4.2.1 HEV

Hybridní elektrické vozidlo se vyznačuje tím, že kombinuje oba druhy pohonu, elektrický i spalovací. Tím lze docílit nižší spotřeby paliva i při zachování dlouhého dojezdu vozidla. Pokud by automobilu došlo palivo, není vůz schopný další jízdy, protože má v bateriích pouze minimální zásobu elektrické energie. Největší výhodou tohoto pohonu je velká úspora paliva, především v městském provozu. Další výhodou je nižší hmotnost vozu oproti Plug-in hybridu a nižší cena. [72]

HEV v sobě kombinuje jak spalovací, tak elektrický pohon. Jednotlivé koncepty se od sebe značně odlišují. Je možné využívat pohonu všech čtyř kol, pohonu bez převodového mechanismu apod. HEV lze podle konstrukce dělit následovně: [60]

1. Paralelní HEV

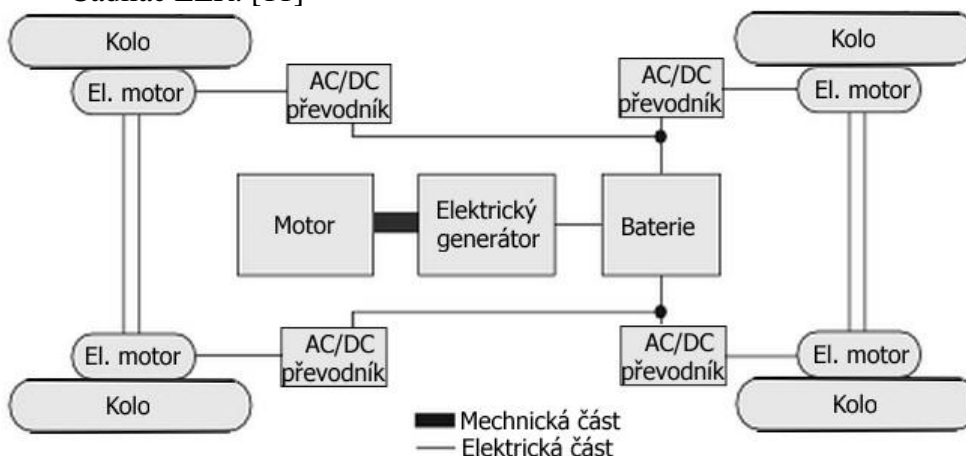
Paralelní konstrukce HEV (Obr. 19) je uspořádána tak, že vozidlo je možné pohánět buď elektromotorem nebo spalovacím motorem. Vozidlo je většinou vybaveno velkým spalovacím motorem a malým elektromotorem s baterií o vyšší kapacitě. Elektromotor může být využíván jako pohon nebo jako generátor pro navrácení elektrické energie při brzdění. Tato koncepce znamená výrazné snížení spotřeby paliva v městské dopravě. Při jízdě mimo město však již není příliš účinná. Tento druh konstrukce je použit např. ve vozech Chevrolet Malibu a Honda Civic Hybrid. [16]



Obr. 19 - Paralelní HEV [82]

2. Sériové HEV

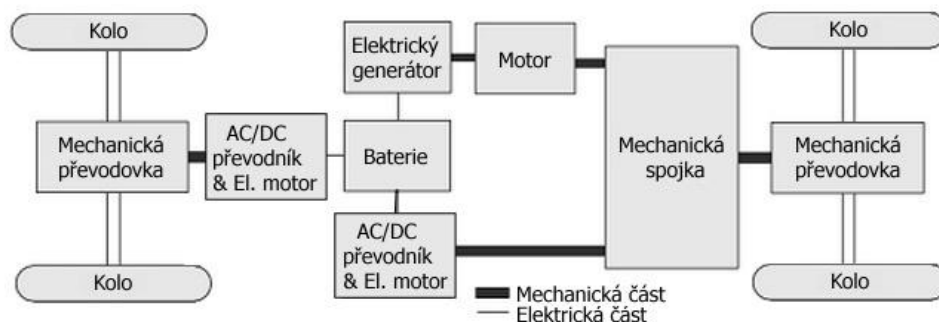
Sériová konstrukce HEV (Obr. 20) znamená, že pro pohon elektromobilu je použit výhradně elektromotor a spalovací motor slouží pouze jako generátor elektrické energie. Oproti vozům s paralelní konstrukcí používají větší baterie, čímž se zvyšuje jejich cena, ale zároveň i pohotovostní váha vozidla. Není ovšem potřeba používat převodové ústrojí. Takto zkonstruovaný je např. vůz Cadillac ELR. [11]



Obr. 20 - Sériová konstrukce HEV [82]

3. Sériově - paralelní HEV

Kombinací obou předchozích konstrukčních řešení získáme nejspíše nejúčinnější druh konstrukce (Obr. 21), protože využijeme výhod obou. Lze totiž pohánět vůz ve dvou módech, jak v sériovém, tak v paralelním. Vůz je tedy schopný jet čistě na elektromotor. V druhém režimu je pak poháněn spalovacím motorem a elektromotor pracuje jako rekuperační jednotka. Vozidlo je vybaveno i kompletním převodovým ústrojím. Takový vůz má velmi nízkou spotřebu paliva a zároveň velký dojezd. Nejznámějším zástupcem této skupiny je vůz Toyota Prius, který je velmi úspěšný především v Japonsku, USA a Velké Británii.



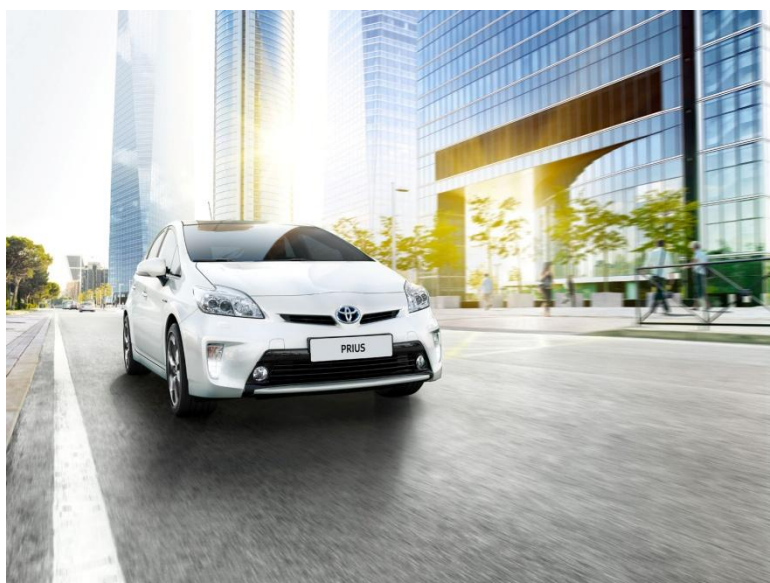
Obr. 21 - Sériově - paralelní konstrukce HEV pohonu všech kol [82]

Pokud si budou chtít vozy HEV zachovat konkurenceschopnost, bude se muset jejich vývoj orientovat především na:

- Snížení celkové hmotnosti vozidla.
- Snížení ceny materiálu.
- Zlepšování hardwarových jednotek.
- Zvýšení účinnosti bateriových jednotek a snížení jejich hmotnosti.

Tento druh pohonu je vhodný především do městských aglomerací, kde jim vozy se spalovacím pohonem nemohou z hlediska emisí a spotřeby konkurovat. Hlavním problémem bude zvýšení účinnosti nikl – kovových baterií případně jejich nahrazení jiným typem. V současné době jsou tyto vozy vyráběny především automobilkami, jako jsou Toyota (Obr. 22) nebo Ford.

Domnívám se, že tento typ pohonu přináší dobré výsledky z pohledu snížení emisí. Z pohledu CO₂ emisí však nepřináší vyšší úsporu než maloobjemové spalovací motory. Ovšem s nutným zlepšováním baterií, které by zajistily vyšší účinnost vozů, bude docházet k tomu, že ztratí svou největší výhodu oproti jiným druhům elektromobilů, tedy dlouhý dojezd v „ekologickém“ režimu. V tomto případě dojde k nahrazení vozy typu BEV případně PHEV. [64]



Obr. 22 - Toyota Prius [103]

4.2.2 PHEV

PHEV neboli Plug-in hybrid je vozidlo využívající jak elektrický, tak spalovací pohon. Jedná se o další vývojový stupeň HEV. Na rozdíl od něj je ovšem PHEV schopný jízdy čistě za pomoci elektromotoru, spalovacího motoru nebo kombinací obou pohonů. Z toho vyplývá, že je vůz vybaven rozměrnou baterií a elektromotorem, zároveň však musí mít spalovací motor a kompletní převodové ústrojí. Nabíjení baterií je primárně prováděno připojením do elektrické sítě. [32]

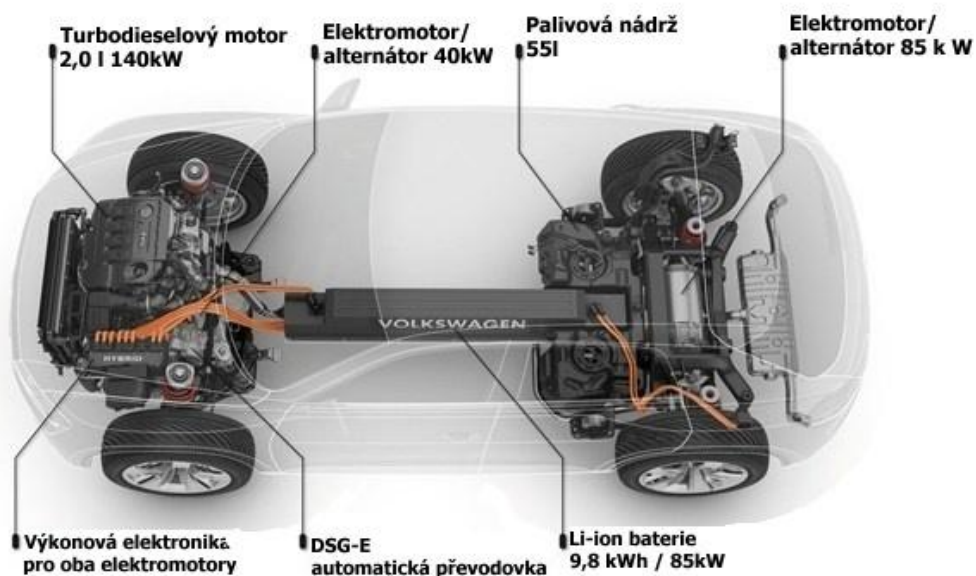
Oproti HEV je uspořádání a využití jednotlivých pohonů odlišné. Ve vozidle je umístěna velká baterie, v současnosti především typu Li-Ion, proto nemusí být nutně vybaveno rekuperační jednotkou. Baterie je nabíjena z elektrické sítě a to buď z klasických rozvodů typu 230 V/16 A, nebo 400V/16 A. Výrobci nabíjecích stanic uvádějí, že dobíjení baterie na 80 % kapacity trvá osm hodin pro jednofázovou zástrčku a tři hodiny pro třífázovou. Další možností jsou rychlonabíjecí stanice. Ty mají mnohem vyšší proud, přibližně kolem 60 A, tím je možné zkrátit dobu nabíjení na 30 minut. [124]

Z hlediska konstrukce lze rozdělovat PHEV na dva základní druhy:

- EREV (elektrický vůz s prodlouženým dojezdem).
- BPEV (smíšené plug-in elektrické vozidlo).

Vozy typu EREV mají podobnou konstrukci jako sériové HEV tzn., že používají ke svému pohonu pouze elektromotor. Tomu je dodávána elektrická energie ve dvou režimech. V prvním režimu spotřebovává energii uloženou v bateriích. Při poklesu na minimální bezpečnou hodnotu kapacity akumulátoru je zapnut spalovací motor fungující jako generátor. Tento vůz je schopný ujet přibližně 50 – 120 km. Oproti tomu BPEV má oba druhy pohonu paralelně připojeny k pohonnému ústrojí, elektromotor pak pracuje do vyčerpání kapacity baterie, což bývá přibližně 20 – 60 km. Poté sepne spalovací motor, který následně pohání vůz. Ačkoliv rekuperace energie v těchto vozidlech není pro jízdu nezbytně nutná, bez jejího použití by byla účinnost vozu zbytečně nízká. Je tedy využívána v maximální možné míře. [101]

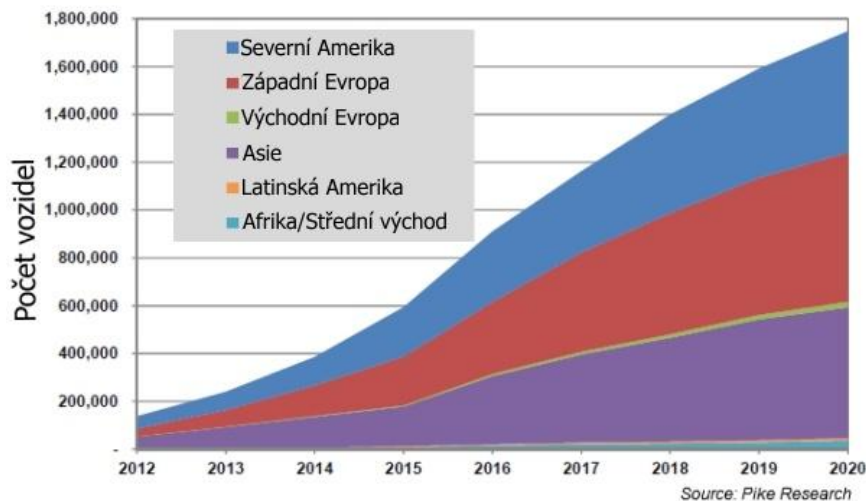
Vzhledem k umístění bateriových jednotek pod zavazadlovým prostorem a pod podlahou vozu je konstrukčně velmi obtížné umístit kardanový hřídel tak, aby byl umožněn pohon všech čtyř kol. Pokud je vůz vybaven standardním pohonem všech kol (Volvo V60), dojde k omezení prostoru pro baterie, čímž se zmenší dojezd vozu. Takovou konstrukci považují za nevyhovující. Vhodnějším řešením této problematiky by mohlo být umístění elektrického motoru na zadní nápravu (Obr. 23). Elektromotor pohání nápravu do doby, než dojde elektrická energie v bateriích. Poté dojde k sepnutí spalovacího pohonu. Elektromotor zadní nápravy již není napájen a vůz má k dispozici pouze pohon předních kol. [136]



CROSS COUPÉ

Obr. 23 - Řešení pohonu všech kol v koncernu VW [136]

Vozy PHEV se vyrábějí již několik let, jejich hlavním odběratelem je především trh USA a Japonska (Graf 15). Tomu i odpovídají výrobci tohoto druhu pohonu, kterými jsou především automobilky místního trhu. Mezi tyto automobily patří např. Chevrolet Volt.



Graf 15 - Světové prodeje plug-in hybridů dle regionů [126]

Vozy typu PHEV jsou nyní značně na vzestupu. Hlavním důvodem je možnost využití superkreditů. Vozy mají v testovacím cyklu NEDC relativně dobré výsledky, problémem je, ale jejich použitelnost v reálném provozu. Jejich dojezd na elektrický pohon je velmi malý a přibývající součásti zvyšují hmotnost automobilu. Efektivní použití těchto vozů je možné pouze na krátké trasy, např. cesta do zaměstnání a zpět. Pokud nedojde ke zlepšení baterií, a tedy ke zvýšení dojezdu na elektropohon, není možné považovat tento druh pohonu za relevantního nástupce klasických vozů. [10] [101] [122]

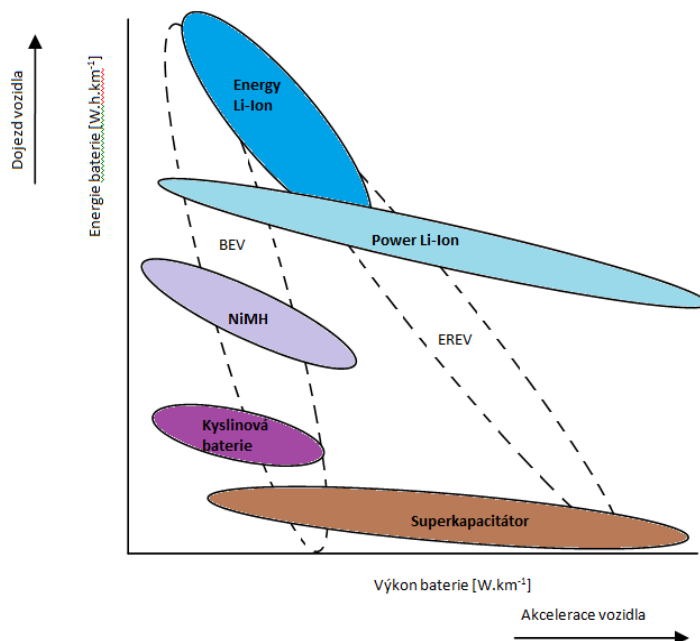
4.2.3 BEV

Vozidla typu BEV – battery electric vehicle jsou vozidla vybavená baterií a elektromotorem. Je to jediná skupina vozů, které jsou schopné splnit nulové emisní limity. [5]

Na začátku 90. let byl zahájen projekt prvního vyráběného elektromobilu ve Škoda Auto, byl jím vůz nazvaný Škoda Eltra, který automobilka produkovala spolu se Škodovými závody v Plzni. Vozidlo bylo postavené na bázi vozu Škoda Favorit. U něj byl zcela odstraněn původní pohonný systém, který byl nahrazen elektromotorem, baterie byly umístěny pod podlahou kufru. Celkově se vyrobilo přibližně 1 000 kusů, které byly z velké části exportovány do Švýcarska a států západní Evropy. Menší množství těchto vozů odkoupila také Česká pošta. Po sloučení automobilky s koncernem VW byla zrušena spolupráce se Škodovými závody v Plzni. Tím byla ukončena produkce tohoto vozu. Další projekt elektromobilu přišel až o 20 let později v podobě Škoda Octavia e-line. [33]

Konstrukce vozů typu BEV je velice rozličná. Jednotliví výrobci se liší použitím druhu motoru, typu baterie, způsobem náhonu, způsobem rekuperace apod. Základní sestava je vždy stejná, tzn. rozměrná bateriová jednotka tvořící značnou hmotnost vozidla. Ta napájí elektromotor, případně elektromotory. Odtud je krouticí moment přenášen na kola.

Zatím nejlepších výsledků dosahují baterie na bázi lithia (Obr. 24). Jejich poměr výkonu a váhy je sice pro automobilový průmysl stále nedostačující, ale v porovnání s jinými druhy baterií jim nelze konkurovat. Z pohledu výkonu by mohly být dobrou alternativou superkapacitátory, ty však nemají dostatečnou energii. Nejrozšířenějším druhem jsou dnes Li-Ion baterie, ale ve fázi vývoje a testování jsou i jiné kombinace Lithia s dalšími prvky podávající mnohem lepší výsledky. [83]



Graf 16 - Porovnání používaných baterií, porovnání BEV s EREV [83]

Li-Ion

Jedná se o nejrozšířenější druh baterií používaných v technické praxi. Katoda je tvořena oxidem lithia, zatímco anoda je vyrobena z uhlíku. Prostor mezi nimi je vyplněn elektrolytem tvořeným LiPF_6 . Značnou výhodou je, že baterie samovolně neztrácí velké množství energie (pouze v řádu několika procent) a také ji není potřeba formovat (několikrát vybit a nabít). Problémem je, že s počtem nabíjení dochází ke snižování životnosti. Navíc je baterie velmi náchylná na velké výkyvy teplot, které její životnost velmi snižují. Ve vozech se často používají bateriové jednotky skládající se z několika desítek samostatných článků. [1] [2] [71]

Li-S₈

Možným nástupcem Li – Ion baterií se zdá být nahrazení uhlíku sírou. Katoda baterie je postavena na bázi síry, anoda je pak z lithia. Dle odhadů má baterie teoretický potenciál k dosažení energetické hustoty v hodnotě 2700 Wh/kg, což je přibližně pětikrát více než může dosáhnout Li – Ion baterie. Nynější Li-S₈ baterie dosahují energetické hustoty v hodnotě 300 Wh/kg. Oproti Li – Ion bateriím jim nehrozí poškození při přebytu nebo úplném vybití. Tím se zvyšuje celkové množství energie, kterou baterie poskytuje. S tím souvisí i další vlastnost, kterou je počet nabíjecích cyklů. Baterie vydrží přibližně 1 000 nabití před snížením její kapacity na 80 % hodnotu. [144] [27] [128] [2]

RFB

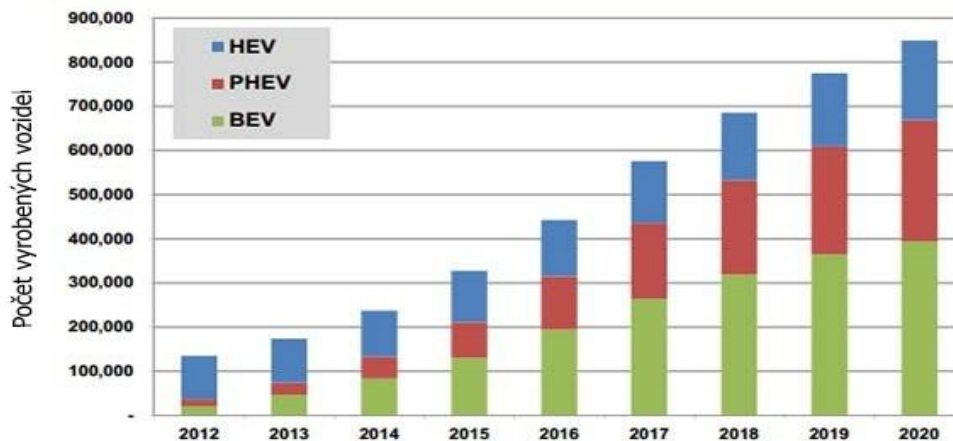
Zajímavým konkurentem lithiových baterií je koncepce RFB (*redox flow battery*). Jedná se o elektricky nabitý elektrolyt, který je umístěn do nádrže automobilu, odkud je podle potřeby přemísťován do druhé nádrže, přičemž propouští přes speciální membránu, která pohyblivým se iontům odebírá energii. Ta je poté spotřebována na provoz vozu. Po zpracování elektrolytu je potřeba náplň znovu vyměnit za nabitou. K tomu by mohly sloužit čerpací stanice, kde by došlo k výměně náplně. Použitá náplň by zároveň mohla být znovu nabita a poté dále distribuována.

Pokud by byl vývoj této technologie úspěšný, považoval bych je za vhodného nástupce stávajících baterií. Náhrada klasických pevných baterií pomocí RFB by mohla vyřešit tři hlavní problémy BEV. Mohla by se značně zkrátit doba nabíjení, odstranil by se problém s životností a snížila by se jejich cena. Ačkoliv jsou RFB v současné době již produkovány, není jasné, zda dojde k většímu rozšíření. Osobně je však považuji za velice nadějnou koncepci pro další vývoj. [90] [7]

Přestože do nedávné doby nemohly BEV konkurovat vozům se spalovacím pohonem, nyní se s těmito vozy setkáváme stále častěji. V poslední době vzniklo hned několik zajímavých automobilů, které lze použít v klasickém provozu bez jakýchkoliv omezení. Příkladem vozů této skupiny mohou být automobily původně plánované jako BEV - Nisan Leaf nebo BMW i3, ale také vozy přestavěné z konvenčního druhu pohonu, např. Fiat 500 Elettra, VW e-Golf a e-Up!

4.2.4 Porovnání alternativních pohonů

Vozy typu HEV, PHEV a BEV zatím nejsou schopné konkurovat klasickým spalovacím pohonům a jejich celkový podíl na trhu je velmi malý. V současnosti navíc pokrývají největší část trhu vozy typu HEV (Graf 17). Odhaduje se však, že v budoucnosti se prodej vozů zvýší. Vzhledem k nedostatkům HEV by mělo dojít k významnému rozšíření PHEV a BEV. Jak velký podíl trhu budou tyto vozy zaujímat, záleží především na rozvoji nabíjecích stanic a ceně baterií.



Graf 17 - Odhadované prodeje vozů s alternativním pohonem v EU [100]

V tabulce (Tab. 6) jsou zástupci skupiny vozů HEV, nižší střední třídy a střední třídy. Jedná se výhradně o vozy se spalovacím pohonem, jejichž hnací ústrojí bylo upraveno pro použití hybridního pohonu. Cena vozů se liší dle jednotlivých tříd a určení vozu, je oproti vozům se spalovacím pohonem vyšší přibližně o 100 000 až 200 000 Kč. Výjimku tvoří Peugeot 3008, který je oproti běžné variantě dražší přibližně o 400 000 Kč.








Z tabulky (Tab. 6) vyplývá, že výhradní většina automobilek používá benzínové motory, jedinou výjimku tvoří francouzští výrobci vozů, kteří preferují dieselové agregáty. Zvláštní je, že právě Francie, ve které vznikají dieselové hybridní vozy, omezuje použití vznětových motorů.

Zajímavé je použití převodového ústrojí v jednotlivých vozech. Vozy určené především pro severoamerický trh mají variátorové převodovky, automobily vyráběné koncernem VW a jejich asijské konkurenti používají automatické dvojspojkové převodovky. Oproti tomu vozy vyrobené ve Francii používají robotizované převodovky. Naopak manuální převodové ústrojí se u HEV nepoužívá, je to především díky vyšší úspoře paliva automatických převodovek.

Pokud se podíváme na udávanou spotřebu paliva, zjistíme, že se hodnoty u zážehových motorizací pohybují okolo 5 l/100 km. To jsou hodnoty, kterých je schopný dosáhnout i vůz se standardním agregátem bez použití hybridizace. Výjimku tvoří Honda CR-Z se spotřebou 6,7 l/100 km, jelikož se jedná o sportovně laděný vůz. U vznětových motorizací je ovšem udávaná spotřeba výrazně menší než u ostatních vozů.

Tab. 6 - Zástupci vozů HEV

[9] [15] [18] [19] [22] [53] [99]

Vůz	Ilustrační foto	Cena [Kč]	Spalovací pohon	Výkon [kW]	Převodové ústrojí	Spotřeba paliva [l/100 km]
Toyota Prius		698 000	Benzínový čtyřválec o objemu 1,8 l používající Atkinsonův cyklus	73 - motor 100 - kombinovaný	CVT - variátorová převodovka	5,35 l- mimoměstská 5,88 l- kombinovaná
Ford Fusion		665 000	Benzínový čtyřválec o objemu 2,0 l používající Atkinsonův cyklus	88 - motor 140 - kombinovaný	CVT - variátorová převodovka	5,3 l -mimoměstská 5,7 l- kombinovaná
VW Jetta		633 000	Benzínový čtyřválec o objemu 1,4 l řady TSI	112 - motor 127 - kombinovaný	Automatická sedmistupňová převodovka DQ200	4,9 l -mimoměstská 5,6 l- kombinovaná
Honda CR-Z Hybrid		506 000	Benzínový čtyřválec o objemu 1,5 l řady i-VTEC	84 - motor 91 - kombinovaný	Šestistupňová manuální CVT - variátorová převodovka	6 l -mimoměstská 6,7 l- kombinovaná
Hyundai Sonata Hybrid		653 000	Benzínový čtyřválec o objemu 2,4 l používající Atkinsonův cyklus	154 - kombinovaný	Automatická šestistupňová převodovka	5,9 l -mimoměstská 6,7 l- kombinovaná
Citroen DS5 Hybrid		1 041 000	Diesellový čtyřválec 2,0 l řady Hdí	89 - motor 150 - kombinovaný	Robotizovaná šestistupňová převodovka	2,67 l- městská 2,94 l- kombinovaná
Peugeot 3008 Hybrid4		1 038 000	Diesellový čtyřválec 2,0 l řady Hdí	120 - motor	Robotizovaná šestistupňová převodovka	3,8 l- kombinovaná

V tabulce (Tab. 7) jsou uvedeni zástupci skupiny vozů PHEV, nižší střední třídy a střední třídy. Stejně jako u předchozí skupiny jsou zde vozy původně se spalovacím pohonem upravené na hybridní technologii. Nachází se zde i vozy původně koncipované pro hybridní technologii (Chevrolet Volt a Toyota Prius). Oproti vozům HEV je jejich cena výrazně vyšší a to přibližně o 200 000 Kč, výjimku tvoří Volvo V70 s cenou blízkou se dvěma milionům korun.

Vozy této skupiny jsou téměř výhradně vybaveny benzínovými motory s přímým vstřikováním a přeplňováním. Pouze Volvo je vybaveno diesellovým pětiválcovým agregátem.

Při pohledu na použité převodovky je zřejmé, že zde převažují variátorové převodovky. Vozy vyráběné evropskými výrobci používají automatické převodovky podobné koncepce jaké jsou u standardních vozů. Zajímavé je použití stálého převodu u vozu Chevrolet Volt, zde je plynulost jízdy řízena čistě pomocí elektromotorů.

Průměrná spotřeba paliva, vozů této skupiny je výrazně nižší než u předchozí skupiny, pohybuje se v hodnotách přibližně 1,6 – 2,9 l/100 km. Výjimku tvoří Ford C-max, rozdíl zde je způsoben jeho většími rozměry. Další vůz s výrazně vyšší spotřebou je

Toyota Prius, jeho současná (třetí) generace vozu se prodává již od roku 2009, zatímco ostatní uvedené vozy jsou o několik let mladší.

Nejdůležitějším údajem (Tab. 7) je dojezd vozu v elektrickém módu. Dojezd amerických a asijských vozů se pohybuje v rozmezí 20-35 km. Oproti tomu evropské vozy udávají dojezd okolo 50 km. Dojezd je samozřejmě ovlivněn i jízdním stylem řidiče, ale hodnoty dojezdu 30 km by měly dostačovat pro potřeby většiny populace pro denní jízdu. Nejdelsí dojezd, tedy 61 km, udává Chevrolet Volt. Největší dojezd tohoto vozu je způsoben především tím, že vůz byl již od počátku koncipován jako PHEV a tomu byly přizpůsobeny všechny části vozu.

Tab. 7 - Zástupci vozů PHEV [6] [23] [54] [55] [57] [62] [134]

Vůz	Ilustrační foto	Cena [Kč]	Dojezd v elektrickém módu [km]	Spalovací pohon	Výkon [kW]	Převodové ústrojí	Spotřeba paliva [l/100 km]
Ford Fusion		880 000	35	Benzínový čtyřválec o objemu 2,0 l používající Atkinsonův cyklus	105 - spalovací motor 88 - AC elektromotor	CVT - variátorová převodovka	2,5 l- mimoměstská 2,9 l- městská
Ford C - max		835 000	31	Benzínový čtyřválec o objemu 2,0 l používající Atkinsonův cyklus	105 - spalovací motor 88 - AC elektromotor	CVT - variátorová převodovka	5,3 l- mimoměstská 5,7 l- městská
Toyota Prius		811 000	24	Benzínový čtyřválec o objemu 1,8 l používající Atkinsonův cyklus	73 - spalovací motor 60 - AC elektromotor	CVT - variátorová převodovka	4,6 l- mimoměstská 4,9 l- městská
Volvo V60		1 800 000	50	Diesellový pětiválec o objemu 2,5 l	158 - palovací motor 50 - AC elektromotor	šestistupňová automatická převodovka	1,8 l- kombinovaná
Chevy Volt		990 000	61	Benzínový čtyřválec o objemu 1,4 l (umístěn jako sériový hybrid)	111 - Hlavní elektromotor 55 - pomocný generátor	Planetová převodovka se stálým převodem	2,4 l- kombinovaná
Audi A3 Sportback e-tron		1 260 000	50	Benzínový čtyřválec o objemu 1,4 l řady TSI	112 - spalovací motor 75 - elektromotor	šestistupňová automatická převodovka	1,6 l- kombinovaná
Honda Accord Plug in hybrid		1 030 000	21	Benzínový čtyřválec o objemu 2,0 l řady iVTEC	105 - spalovací motor 124 - elektromotor	CVT - variátorová převodovka	2,05 l- kombinovaná

V poslední tabulce (Tab. 8) jsou uvedeni zástupci skupiny vozů BEV, nižší střední třídy a střední třídy. Oproti předchozím skupinám jsou vozy této skupiny většinou již od počátku konstruovány jako bateriové.

Ceny vozů jsou u jednotlivých tříd vozů podobné. U skupiny kompaktních vozů Chevrolet Spark a Mitsubishi i-MiEV se cena pohybuje přibližně okolo 700 000 Kč. U vozů nižší střední třídy je cena značně vyšší a dosahuje až 1 000 000 Kč v závislosti na výbavě vozu. Oproti předchozím skupinám vozů je patrný značný nárůst ceny.

Přenos krouticího momentu u všech vybraných vozů zajišťuje jednostupňová převodovka. Nejčastěji se jedná o převod předlohovou převodovkou, ve třech případech mají vozy k dispozici planetovou převodovku se stálým převodem.

Při porovnání doby nabíjení jednotlivých vozů zjistíme, že doba nabití je velmi podobná a pohybuje se okolo 20 minut při použití rychlonabíjecí stanice na kapacitu 80%. Oproti tomu doba nabití při použití domácí nabíječky na napětí 240 V je velmi odlišná. U čtyř vozů je uváděná doba nabití 7 - 8 hodin. BMW i3 uvádí plné dobití již za 3 hodiny Kia Soul EV a Fiat 500e pak uvádí dobití za 4 hodiny.

Nejzajímavější údaj v tabulce je dojezd vozu s plně nabitou baterií. U většiny vozů se celkový dojezd udávaný výrobcem pohybuje v rozmezí 130 – 145 km. Velmi podobný dojezd je nejspíše způsobený použitím podobných bateriových článků.

Tab. 8 - Zástupci vozů BEV

[17] [20] [21] [24] [50] [56] [74] [76] [79]

Vůz	Ilustrační foto	Cena [Kč]	Dojezd vozu [km]	Výkon [kw]	Převodové ústrojí	Čas dobíjení baterie
Chevrolet Spark		670 000	137	104	Planetová převodovka se stálým převodem	7 - 230 Volt 20 min - nabíjecí stanice
Nissan Leaf		735 000	145	80	Planetová převodovka se stálým převodem	7 - 230 Volt 30 min - nabíjecí stanice
Mitsubishi i-MiEV		740 000	100	50	Planetová převodovka se stálým převodem	7 - 230 Volt 30 min - nabíjecí stanice
BMW i3		1 070 000	130	127	Jednostupňová převodovka	3 - 230 Volt 20 min - nabíjecí stanice
VW e-golf		919 000	133	63	Jednostupňová převodovka	8 - 230 Volt 30 min - nabíjecí stanice
Mercedes B-Class Electric Drive		1 070 000	137	98	Jednostupňová převodovka	Dobíjení kapacity pro dojezd 100 km za 1,5 hodiny při 400 V
Kia Soul EV		875 000	145	81	Jednostupňová převodovka	4-5 - 230 Volt 33 min - nabíjecí stanice
Ford focus		993 000	122	107	Jednostupňová převodovka	230 Volt - neuveďeno 10 min - 240 Volt
Fiat 500e		820 000	140	83 kW	Jednostupňová převodovka	4 - 230 Volt nabíjecí stanice - neuveďeno

Z uvedených údajů jednotlivých skupin vozů je patrné, že hlavní nevýhodou vozů s alternativním pohonem je jejich cena. Ta je pochopitelně tím vyšší, čím je větší rozsah hybridizace. Nejlevněji tak vychází vozy typu HEV, které jsou dražší přibližně o 100 000 Kč, oproti stejným vozům bez hybridního pohonu. Zajímavé je, že průměrná cena BEV a PHEV je podobná. To je nejspíše způsobeno tím, že ceny vozů jsou uměle upravovány, tak aby prodej BEV snižoval průměrnou spotřebu paliva flotily. Jsou prodávány jen proto, aby splnily požadavky státu ohledně prodeje elektromobilů. V některých státech se uplatňuje systém podpory prodeje hybridních vozů. Některé

podporují jejich prodej finanční pomocí při nákupu, další naopak zatěžují majitele standardních vozů zvýšením daňových odvodů.[76]

Velká nevýhoda vozů PHEV a BEV je jejich omezená nízká kapacita baterií a tím krátký dojezd vozu. Vozy PHEV mohou po vybití baterií pokračovat dále v provozu na spalovací pohon, takový provoz je však velice neefektivní a průměrná spotřeba tak značně narůstá. V případě vozů BEV je situace mnohem horší, při vyčerpání kapacity baterie je nutné zajistit nabití z nabíjecí stanice. Nabíjecích stanic je však velmi málo. V případě delších cest se tak smazávají jejich výhody oproti vozům HEV, případně vozům s dieselovými agregáty. Dle mého názoru jsou v současnosti vozy typu BEV případně PHEV vhodné jako druhé rodinné vozidlo nebo jako podnikové vozy, kde se počítá s jízdami okolo 30 – 60 km za den.

Nespornou výhodou jsou však velmi nízké emise vozů všech tří vybraných skupin. Pokud se zaměříme konkrétně na hodnotu CO₂, tedy spotřebu, je tato hodnota úměrná s vyšším stupněm hybridizace. Vozy HEV však nemají výrazně nižší spotřebu paliva než jejich konkurenti z řad vozů se standardním spalovacím pohonem. Oproti tomu vozy PHEV mají udávanou spotřebu paliva výrazně nižší, s čímž souvisí vyšší náklady na výrobu vozu (viz. výše). Přestože vozy typu BEV jsou označovány jako vozy s nulovými emisemi, z globálního pohledu tomu tak není, protože jsou společně s vozy PHEV napájeny z elektrické sítě. Při zvýšení počtu těchto vozů to samozřejmě zvýší spotřebu elektrické energie. Při používání elektráren spalujících uhlí, je tedy vážnou otázkou, zda je snížení emisí z automobilové dopravy za takovou cenu opravdu užitečné nebo je problém vyprodukovaného CO₂ pouze převeden do jiného průmyslového sektoru. Dokud nebudou spalovací elektrárny nahrazeny čistšími zdroji, jako jsou např. jaderné elektrárny, nepovažuji velké rozšíření BEV za opravdu ekologické. [51]

5 Možnosti výrobců při překročení legislativních předpisů

Aby byli výrobci nuceni dodržet striktní emisní limity nařízené kontrolním úřadem, existují postihy, které budou výrobcům automobilů uděleny v případě, že je nedodrží. Pokud by automobil nezvládl splnit emisní limit Euro, nebylo by mu uděleno homologační osvědčení, a tak by se nemohl vůz vyrábět. Pokud ovšem nesplní limit CO₂, může být vůz prodáván a používán. Dojde však k pokutování výrobců za nedodržení limitu.

Jednou z možností, jak dosáhnout CO₂ limitu, je vyrábět pouze vozy splňující emisní opatření. Další možností je zaměřit část své výroby na vozy s výrazně nižšími limity CO₂, ty jsou navíc ohodnoceny tzv. superkredity.

5.1 Pokutování při překročení emisních limitů

V případě, že výrobce překročí CO₂ emisní limit, bude státním úřadem pokutován. Pokuty nejsou jednotné a pravidla jejich udělování se v průběhu času výrazně mění. V současnosti je výrobce postihován různě podle množství emisí, o které přesáhne emisní limit. Od roku 2018 dojde ke změně a výrobce bude pokutován za každý gram, který přesáhne limit, stejnou měrou (Tab. 9). [107]

Tab. 9 - Velikost pokuty v EU při překročení CO₂ limitů

Pozn.: Flotilové množství vyprodukovaného CO₂ – jedná se o veličinu závislou na hmotnosti a množství vyprodukovaného CO₂ automobilem, tyto hodnoty jsou pak pomocí váženého průměru započítány do celkového množství flotilových emisí.

Období	Překročení limitu	Pokuta
2012 - 2018	Flotilové množství vyprodukovaného CO ₂ ≤ 1 g/km	5 €/gCO ₂
	Flotilové množství vyprodukovaného CO ₂ >1 a ≤ 2 g/km	15 €/gCO ₂
	Flotilové množství vyprodukovaného CO ₂ >2 a ≤ 3 g/km	25 €/gCO ₂
	Flotilové množství vyprodukovaného CO ₂ >3 g/km	95 €/gCO ₂
2018-2020	Flotilové množství vyprodukovaného CO ₂ ≤ 1 g/km	95 €/gCO ₂

Pozn.: Flotilové množství vyprodukovaného CO₂ – jedná se o veličinu závislou na hmotnosti a množství vyprodukovaného CO₂ automobilem, tyto hodnoty jsou pak pomocí váženého průměru započítány do celkového množství flotilových emisí.

5.2 Superkreditový systém

Superkreditový systém byl zaveden především z důvodu zvýhodnění vozidel s velmi nízkými emisemi CO₂. Dojde tak k motivaci výrobců k jejich vývoji a i za cenu ztrátového prodeje budou vozidla nabízet. Zavedení superkreditového systému neproběhlo jen v EU, ale také v USA, Japonsku, Číně a Jižní Koreji.

Superkreditový systém znamená, že nízko emisní vůz, který produkuje menší množství CO₂ než 65 g/km, je započítáván do celkových emisí flotily pomocí násobného faktoru

(Tab. 10), tím se v celkové flotilové hodnotě projeví více. Superkredity se ovšem nezapočítávají do průměru zrovna vyrobené palety vozů, ale lze je využít podle potřeby automobilky. V roce 2012 vozy typu ULEV tvořily pouze 0,3 % celkového objemu trhu. Protože se získanými superkredity lze prodávat i vozy, které nesplňují CO₂ limity, vyplatí se automobilkám dotovat vozy typu ULEV, čímž se stanou cenově dostupnými. Tím by se mohly mezi zákazníky více rozšířit. [107]

Tab. 10 - Násobný faktor superkreditů

Rok	Násobný faktor
Do 2016	3,5
2017	3
2018	2,5
2019	2
2020	1,5

5.3 Zhodnocení finančního dopadu udělených pokut

Vzhledem k výši pokut, které byly uvedeny v kapitole 6.1 je zřejmé, že se výrobcům nevyplatí zanedbávat snižování spotřeby automobilů. Pokud by např. v roce 2014 automobilka Škoda Auto nesplnila emisní limit o 2 g/km, musela by zaplatit 30 000 000 €. Což se vzhledem k nákladům na vývoj a nasazení nových opatření může zdát jako poměrně nízká pokuta. Ovšem kdyby se automobilka rozhodla raději zaplatit pokutu namísto nasazení nových motorových opatření, těžko by v dalších letech zaváděla nové technologie, které by jí umožnily držet krok s konkurencí. Je tedy zřejmé, že tento způsob, jak donutit automobilky snižovat množství CO₂, je velmi účinný. Otázkou zůstává, zda je plánované snižování emisí opravdu proveditelné.

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo popsat emisní normy a jejich vliv na automobilový průmysl. V práci jsou popsána hlavní technická řešení, jejichž pomocí výrobci automobilů snižují hodnoty polutantů, aby splnili zpřísnující se emisní normy.

V bakalářské práci byla zpracována především emisní opatření používaná na konvenčních agregátech. V případě dalšího rozšíření bakalářské práce by bylo vhodné se zaměřit především na alternativní pohony vozidel.

Překvapilo mě, že navzdory množství všeobecných informací ohledně vybraného tématu práce jich bylo pouze velmi málo na odborné úrovni. Často se jednalo o shrnutí některých metod snižování emisí, používaných z jednoho zdroje. Velmi těžké bylo také získávání informací ohledně dalšího vývoje těchto opatření. To je ovšem pochopitelné, jelikož každý výrobce vozů si hlídá své know-how. Naopak informací týkajících se alternativních pohonů bylo velké množství.

Jak z práce vyplývá, v současné době dochází ke zpřísnování norem každých pět až šest let. V EU nyní platí emisní norma Euro 6, která zpřísnila limity především pro dieselové agregáty. Zároveň od ledna 2015 došlo k zavedení 130 gramů CO₂/100 km, který se má v roce 2020 snížit na hodnotu 95 gramů CO₂/100 km. Z množství popsaných opatření, která jsou pouze výčtem těch nejdůležitějších, je zřejmé, že zpřísnující se emisní normy významně zasahují do metodiky konstrukce pohonů vozidel.

Je patrné, že množství vyprodukovaných zplodin a spotřeba paliva se staly hlavním parametrem při vývoji spalovacích agregátů. Zajímavé je, že s používáním některých opatření vznikají vedlejší nechtěné efekty. Například přímé vstřikování paliva značně snižuje množství CO₂, avšak se zavedením limitů PM pro benzínové motory nastává problém s jejich plněním u vozů s vyšší hmotností a nižším zdvihovým objemem motorů. Obdobně u dieselových agregátů používajících SCR katalyzátor může dojít k úniku čpavku. Výrobci tak musí používat opatření eliminující tyto problémy, což zvyšuje cenu vozu. Současná koncepce stavby pohonných agregátů, je striktně podřizována snaze dosáhnout přísných emisních a CO₂ limitů. Přesto se konvenční agregáty již blíží k hranicím svých konstrukčních možností, proto bude nutné nastavit další směr této problematiky. Možným řešením by bylo zastavení povolených CO₂ limitů na únosné hodnotě. To je ovšem nepravděpodobné a osobně předpokládám, že v budoucnu se budou limity neustále snižovat tak, aby se výrobcům vyplatilo prodávat pouze vozy s hybridními a alternativními pohony.

Z kapitoly 4.2.4 je zřejmé, že snaha výrobců o dodržení emisních limitů pomocí alternativních pohonů vozidel je finančně náročná. Odhaduji však, že v příštích patnácti až dvaceti letech dojde ke snížení nákladů na výrobu vozů s alternativními pohony a zároveň k jejich rozšíření. Na základě zjištěných informací předpokládám, že oproti vozům typu BEV dojde k rozšíření vozů HEV a PHEV ve značně vyšších počtech. A to až do doby než bude představena konkurenceschopná koncepce bateriového vozu. Jedinou možností jak zajistit konkurenceschopnost BEV by byla státní podpora, zvýhodňující tyto vozidla tak, jak je tomu například v Kalifornii.

Použitá literatura

- [1] Abe, H., Kurzi, T., Zaghbi, K.: Vapor-grown karbon fiber anod efor cylindrical lithium ion rechargeable batteries. *Sciencedirect*. [online]. [cit. 24.11.2014]. Dostupné z: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877539800158X.
- [2] Advanced technology. *Oxisenergy*. [online]. [cit. 18.10.2014]. Dostupný z: www.oxisenergy.com/technology.
- [3] Airborne emissions. *Sustainability.daimler*. [online]. [cit. 13.7.2014]. Dostupný z: sustainability.daimler.com/reports/daimler/annual/2011/nb/English/405020/airborne-emissions.html.
- [4] ALKEMADE, U. G., SCHUMANN, B.: *Engines and exhaust after treatment systems for future automotive applications*. Stuttgart, Germany: Solid State Ionics, 2006. ISBN 177, 2291-2296.
- [5] All-Electric Vehicles (EVs). *Fueleconomy*. [online]. [cit. 24.11.2014]. Dostupné z: www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml.
- [6] Audi A3 E-Tron Review. *Plugincars* [online]. [cit. 12.4.2015]. Dostupné z: <http://www.pluginCars.com/audi-a1-e-tron>.
- [7] Bartolozzi M.: Development of redox flow batteries. *Elsevier*. [online] [cit. 24.11.2014] Dostupný z: www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378775389800370.
- [8] BAZALA, J.: *Návrh ERG výměníku pro recirkulaci výfukových plynů* [diplomová práce]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2011.
- [9] Berman, B.: 2012 Honda CR-Z Hybrid. *HybridCars*. [online]. [cit. 12.4.2015]. Dostupné z: www.hybridcars.com/honda-cr-z/.
- [10] BOSCHERT, S.: *Plug-in Hybrids*. Gabriela Island: New society publisher, 2006. ISBN 978-086571-4.
- [11] Cadillac ELR. *Cadillac*. [online]. [cit. 24.11.2014] Dostupné z: www.cadillac.com/elr-electric-hybrid.html.
- [12] Cars and Light-Duty Trucks – Tier 3. *Dieselnet.com*. [online]. [cit. 16.8.2014]. Dostupné z: www.dieselnet.com/standards/us/ld_t3.php.
- [13] Cars and Light Trucks. *Dieselnet* [online]. [20.10.2014]. Dostupné z: www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php.
- [14] Catalytic converter. *Preciousmetals.umicore*. [online]. [cit. 30.8.2014]. Dostupné z: www.preciousmetals.umicore.com/recyclables/SAC/CatalyticConverter/.

- [15] Citroen DS5. *Topgear*. [online]. [12.4.2015]. Dostupné z: www.topgear.com/uk/citroen/ds5/spec/18185.
- [16] CIVIC HYBRID 2014. *Honda*. [online]. [cit. 13.7.2014]. Dostupný z: www.honda.ca/civic_hybrid.
- [17] Cobb, J.: 2012 Mitsubishi i-MIEV Review - Video. *HybridCars*. [online]. [cit.12.4.2015]. Dostupné z: www.hybridcars.com/2012-mitsubishi-i-miev-drive-review-video/.
- [18] Cobb, J.: 2013 Volkswagen Jetta Hybrid Review - Video. *HybridCars*. [online]. [cit. 12.4.2015]. Dostupné z: www.hybridcars.com/2013-jetta-hybrid-review-video/.
- [19] Cobb, J.: 2014 Ford Hybrid Fusion Overview. *HybridCars*. [online]. [cit. 12.4.2015]. Dostupné z: www.hybridcars.com/ford-fusion-hybrid-overview/.
- [20] Cobb, J.: 2014 Chevrolet Spark EV Test Drive Review. *HybridCars*. [online]. [cit. 12.4.2015]. Dostupné z: www.hybridcars.com/chevrolet-spark-ev-test-drive-review/.
- [21] Cobb, J.: 2014 Nissan Leaf overview. *HybridCars*. [online]. [cit. 12.4.2015]. Dostupné z: www.hybridcars.com/2014-nissan-leaf-overview/.
- [22] Cobb, J.: 2014 Toyota Prius v Review. *HybridCars*. [online]. [cit. 12.4.2015]. Dostupné z: www.hybridcars.com/2014-toyota-prius-v-review/.
- [23] Cobb, J.: 2015 Ford Fusion Energy Review. *HybridCars*. [online]. [cit. 12.4.2015]. Dostupné z: www.hybridcars.com/2015-ford-fusion-energi-review/.
- [24] Cobb, J.: BMW i3 Electric Car Overview. *HybridCars*. [online]. [cit. 12.4.2015]. Dostupné z: www.hybridcars.com/bmw-i3-electric-car-overview/.
- [25] Common - rail. Renovace světlořetů. *Stránky o motorkách a autech*. [online]. [cit. 29.8.2014]. Dostupné z: motorky.7x.cz/rubriky/auta/comon-rail.
- [26] Detailed Test Information. *Fueleconomy*. [online]. [cit. 18.8.2014]. Dostupné z: www.greenalternativesandenergy.com/WebManuscript/Ch_2_cache/fe_test_schedules.shtml.
- [27] DODSON, B. New lithium/sulfur battery doubles energy density of lithium-ion. *Gizmag*. [online]. [cit. 18.10.2014]. Dostupné z: www.gizmag.com/lithium-sulfur-battery-energy-density/29907/.
- [28] DOHLE, U.: Autopříslušenství prvovýroba. *Press.bosch*. [online]. [cit. 29.8.2014]. Dostupné z: press.bosch.cz/detail.asp?f_id=269.
- [29] DRAGOUN, J. *Proměnný kompresní poměr*. [diplomová práce]. Brno Vysoké učení technické v Brně, 2010.

- [30] Dynamometer Drive Schedules. *Epa.gov*. [online]. [cit. 18.8.2014]. Dostupné z: www.epa.gov/nvfel/testing/dynamometer.htm#vehcycles.
- [31] Ďuriš, J., Němeček P.: Proměnlivý kompresní poměr pístových spalovacích motorů. *KVM*. [online] [cit. 22.11.2014]. Dostupné z: www.kvm.tul.cz/katedra/ped/Tiv/05-Promenny_kompresni_pomer.pdf.
- [32] Electric Vehicle Definitions. *Ucsusa*. [online]. [cit. 13.10.2014]. Dostupné z: www.ucsusa.org/clean_vehicles/smart-transportation-solutions/advanced-vehicle-technologies/electric-cars/electric-car-definition-mpge-bev-phev-series-parallel-hybrid.html.
- [33] Elektromobily ŠKODA. *Electroauto*. [online]. [cit. 18.10.2014]. Dostupné z: www.electroauto.cz/skoda.html.
- [34] Emission test cycles. *Dieselnet*. [online]. [cit. 18.8.2014]. Dostupné z: www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php.
- [35] Ethanol. *Fueleconomy*. [online]. [cit. 24.11.2014]. Dostupné z: www.fueleconomy.gov/feg/ethanol.shtml.
- [36] EVANS, S.: Volvo S60 Flywheel KERS Prototype First Drive. *Motortrend*. [online]. [cit. 24.11.2014]. Dostupné z: www.motortrend.com/roadtests/sedans/1307_volvo_s60_flywheel_kers_prototype_first_drive/.
- [37] Evolution of the catalytic converter. *Walkerexhaust*. [online]. [cit. 19.8.2014]. Dostupné z: <http://www.walkerexhaust.com/support/understanding-catalytic-converter/evolution-of-the-catalytic-converter>.
- [38] FILIP, J.: *Mechanismus jednoválcového vznětového motoru s prodlouženou expanzí*. [diplomová práce]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010.
- [39] FAIMAN, J.: *Palivové systémy zážehových motorů*. [bakalářská práce]. Brno: Ústav automobilního a dopravního inženýrství, 2013.
- [40] FAIZ, A., WEAVER, S. Ch.; WALSH, P. M.: *Air pollution from motor vehicles*, Washington: D.C., The International Bank, 1996, ISBN 0-8213-3444-1.
- [41] Federal Test Procedure Revisions. *Epa.gov*. [online]. [cit. 18.8.2014]. Dostupné z: www.epa.gov/otaq/sftp.htm.
- [42] FERENC, B.: Elektronika a zážehové motory. *Mjauto*. [online]. [25.11.2014]. Dostupné z: www.mjauto.cz/newdocs/ferenc/n_mot/n.htm.
- [43] FERENC, B.: *Spalovací motory karburátory a vstřikování paliva*. Praha: Computer Press, 2004, ISBN 80-251-0207-6.
- [44] Fiat 500e. *Fiat*. [online]. [cit. 12.4.2015] Dostupné z: www.fiatusa.com/model-compare/detailed-chart/?modelYearCode=CUX201504.

- [45] FREI, M.: Turbo přidá motoru sílu. Dosahuje až 300 000 otáček za minutu. *Auto.idnes*. [online]. [cit. 29.8.2014]. Dostupné z: auto.idnes.cz/turbo-prida-motoru-silu-dosahuje-az-300-000-otacek-za-minutu-pei-automoto.aspx?c=A101222_172626_automoto_fdv.
- [46] From REV to VTEC. Variable Valve Control System ever evolving. *World.honda*. [online]. [cit. 29.7.2014]. Dostupné z: world.honda.com/motorcycle-technology/vtec/p3.html.
- [47] FUSEK, P.: Využití výfukových plynů spalovacích motorů pro zlepšení vlastností motoru. *Dspace.vutbr*. [online]. [cit. 30.8.2014]. Dostupné z: dspace.vutbr.cz/xmlui/handle/11012/14364.
- [48] GABLE, Ch., GABLE, S.: Cylinder Deactivation. *Alternativefuels*. [online]. [cit. 29.7.2014]. Dostupné z: alternativefuels.about.com/od/researchdevelopment/a/cylinderdeact.htm.
- [49] GANGOPADHYAY, A. MCWATT, D. G., ZDRODOWSKI, R. J.: *Engine Friction Reduction Through Surface Finis and Coating*. Ford Research and advanced engineering. Dearborn: MI, Deer Conferenc, 2012.
- [50] GOLD, A.: 2015 Kia Soul EV Review. *Hybridcars*. [online]. [cit. 20.10.2014]. Dostupný z: www.hybridcars.com/2015-kia-soul-ev-review/.
- [51] GOLDMAN, J.: Comparing Electric Vehicles: Hybrid vs. BEV vs. PHEV vs. FCEV. *Blog.ucsusa*. [online]. [cit. 20.10.2014]. Dostupné z: blog.ucsusa.org/comparing-electric-vehicles-hybrid-vs-bev-vs-phev-vs-fcev-411.
- [52] GM Expanse Deployment of Displacement on Demand. *Green Car Congress*. [online]. [24.11.2014]. Dostupné z: www.greencarcongress.com/2005/11/gm_expands_depl.html.
- [53] Hall L. E: 2012 Hyundai Sonata Hybrid. *HybridCars*. [online]. [cit. 12.4.2015]. Dostupné z: www.hybridcars.com/hyundai-sonata-hybrid/.
- [54] Hall L. E.: 2012 Toyota Prius Plug-in Hybrid Review. *HybridCars*. [online]. [cit. 12.4.2015]. Dostupné z: www.hybridcars.com/toyota-prius-plug/.
- [55] Hall L. E.: 2013 Ford C-Max Energy Review. *HybridCars*. [online]. [cit. 12.4.2015]. Dostupné z: www.hybridcars.com/2013-ford-c-max-energi-review/.
- [56] Hall L. E.: 2013 Ford Focus Electric Review. *HybridCars*. [online]. [cit. 12.4.2015]. Dostupné z: www.hybridcars.com/ford-focus-ev/.
- [57] Hall L. E.: 2013 Chevrolet Volt Review - Video. *HybridCars*. [online]. [cit. 12.4.2015]. Dostupné z: www.hybridcars.com/chevy-volt/.
- [58] HAROLD, M. P., BALAKOTAIAH, V., CLAYTON, R. D.: Houston. *Selective catalytic reduction of NO by H₂ in O₂ on Pt/BaO/Al₂O₃ monolith NO_x storage catalysts*. Houston United States: Enviromental 81, 2008. 161-181.

- [59] Heisler H.: *Advanced Engine Technology*. London: Butterworth – Heineman, 2002. ISBN 1 56091 734 2.
- [60] HEV Types. *Autocast*. [online]. [cit. 10.9.2014]. Dostupné z: autocast.org/Technologies/Hybrid_and_Battery_Electric_Vehicles/HEV_Types/.
- [61] HOLÍK, P.: Turbodmychadla spalovacích motorů. *Dspace.vutbr*. [online]. [cit. 22.8.2014]. Dostupné z: dspace.vutbr.cz/xmlui/handle/11012/16200.
- [62] Honda Accord Plug-in. Honda. [Online] [cit. 12.4.2014] Dostupné z: automobiles.honda.com/accord-plug-in/specifications.aspx.
- [63] HROMÁDKO, J., HROMÁDKO, J., HÖNIG, V., MILER, P.: *Spalovací motory*. Praha: Grada Publishing, a.s, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [64] Hybrid and electric vehicles. *International Energy Agency*. [online]. [24.11.2014]. Dostupné z www.ieahev.org/assets/1/7/2008_annual_report.pdf.
- [65] CHYTIL, J., LEHOCKÝ, Z.: Fluidní ložiska. *Programujte*. [online]. [cit. 30.8.2014]. Dostupné z: programujte.com/clanek/2005052002-fluidni-loziska/.
- [66] CHU, S., MAJUMDAR, A.: Vehicle energy losses. *Nature*. [online]. [cit. 29.10.2014]. Dostupné z: www.nature.com/nature/journal/v488/n7411/fig_tab/nature11475_F2.html.
- [67] ICCT: *EU CO₂ emission standards for passenger cars and light-commercial vehicles*. 2014.
- [68] Improve fuel economy: Atkinson and Miller-c. *Nws.en.b2b168*. [online]. [cit. 10.9.2014]. Dostupné z: nws.en.b2b168.com/detail/c4-i11686022.html.
- [69] India. *Dieselnet*. [online]. [cit. 18.8.2014]. Dostupné z: www.dieselnet.com/standards/in/ld.php.
- [70] International council on clean transportation: Global passenger vehicle standards. *Theicct.org*. [Online] [cit. 25.11.2014] Dostupné z: theicct.org/info-tools/global-passenger-vehicle-standards.
- [71] Is Lithium-ion the Ideal Battery?. *Batteryuniversity*. [online]. [cit. 24.11.2014]. Dostupné z: batteryuniversity.com/learn/article/is_lithium_ion_the_ideal_battery.
- [72] KABAL, H.: *Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals Second Edition* Boca Raton: Taylor and Francis group, 2010. ISBN 9781439811757.
- [73] KABLE, G. VW's combustion engine of the future. *Autocar*. [online]. [cit. 29.10.2014]. Dostupné z: www.autocar.co.uk/car-news/motoring/vws-combustion-engine-future.

- [74] Kane, M. Volkswagen Unveils Production e-Golf. *Insideevs*. [online]. [cit. 12.4.2015]. Dostupné z: insideevs.com/volkswagen-unveils-production-e-golf/.
- [75] KOHOUTEK, J., HOLOUBEK, I.: *Vývoj složení emisí z automobilové dopravy v závislosti na technickém pokroku v konstrukci vozidel*. Brno: TOCOEN REPORT, 1996.
- [76] Koubová, K.: Šéf Fiatu: Prosím vás, nekupujte si už naše elektrofiátky. *Idnes*. [online]. [cit. 12.4.2015]. Dostupné z: auto.idnes.cz/sergio-marchionne-o-fiatu-500e-dgu-/automoto.aspx?c=A140523_102419_automoto_fdv.
- [77] LUPÍŠEK, A.: Spočítej si, kolik emisí CO₂ vyprodukuje Vaše auto. *Ekoblog*. [online]. [cit. 13.7.2014]. Dostupný z: ekoblog.cz/?q=emise.
- [78] MAJEWSKI, W. A.: Diesel Oxidation Catalyst. *Dieselnet*. [online]. [cit. 19.8.2014]. Dostupné z: www.dieselnet.com/tech/cat_doc.php.
- [79] Mercedes B-Class Electric Drive Review. *Plugincars*. [online]. [12.4.2015]. Dostupné z: www.plugincars.com/mercedes-b-class-e-cell.
- [80] MILER, P. Volvo FKERS: Setrvačnicková rekuperace pod lupou, spotřebu o čtvrtinu nesníží. *Autoforum*. [online]. [cit. 25.7.2014]. Dostupné z: www.autoforum.cz/technika/volvo-fkers-setrvacnikova-rekuperace-pod-lupou-spotrebu-o-ctvrtinu-nesnizi/.
- [81] Miller cycle. *Mazdaservice*. [online]. [cit. 25.9.2014]. Dostupné z: am.mazdaserviceinfo.com/emazda/dealersystem/service/esi/en_us/SH/2013/CX5/mv/img.dir/am3uun00001850.gif.
- [82] MI, Ch., MASRUR, A., M., GAO, W. D.: *Hybrid Electric Vehicles*. Chichester: John Wiley & Sons, 2011. ISBN 978-0-470-7473-5.
- [83] MITCHELL, J. W., BORRONI-BIRD, E. Ch., BURNS D. L.: *Reinventing the Automobile Personal Urban Mobility for the 21st Century*. Cambridge: The MIT press, 2010. ISBN 978-0-262-01382-6.
- [84] Možnosti řešení. *Efficientpower*. [online]. [cit. 10.9.2014]. Dostupné z: www.efficientpower.cz/tier-4-moznosti-reseni.
- [85] Nařízení Evropského Parlamentu a Rady (EU) č. 333/2014, kterým se mění nařízení (ES) č. 442/2009 za účelem vymezení způsobů, jak dosáhnout cíle snížení emisí CO₂ z nových osobních automobilů do roku 2020. EUR-Lex. [online]. [cit. 10.9.2014]. Dostupné z: eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0333&from=CS.
- [86] National Research Council: *Assesment of Technology for improving light duty vehicle fuel economy*, 2010. ISBN 0-309-15608-4.
- [87] Natural Gas. *Fueleconomy*. [online]. [cit. 24.11.2014] Dostupné z: www.fueleconomy.gov/feg/bifueltech.shtml.

- [88] NIKOLAS, R.: The different driving cycles. *Car-engineer*. [online]. [cit. 16.8.2014]. Dostupné z: www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/.
- [89] NOAH, J.: Diesel, without the diesel: Mercedes-Benz debuts DiesOtto. *Autoblok*. [online]. [cit. 29.10.2014]. Dostupné z: www.autoblog.com/2007/07/25/diesel-without-the-diesel-mercedes-benz-debuts-diesotto/.
- [90] NOVÁK, A.: Elektromobil, který není třeba nabíjet, získal evropskou homologaci. *Auto.idnes*. [online]. [cit. 18.10.2014]. Dostupné z: auto.idnes.cz/quant-e-sportlimousine-homologace-dto-/ak_aktual.aspx?c=A140730_000002_ak_aktual_ada#utm_source=sph.idnes&utm_medium=richtext&utm_content=top6.
- [91] NSCR (3-Way) Catalyst. *Cleanemissions*. [online]. [cit. 30.8.2014]. Dostupné z: www.cleanemissions.com/our-technology/nscr-catalyst/.
- [92] OLIVÍK, P.: Přímé vstřikování benzínu: nejkratší cestou. *Autorevue*. [online]. [cit. 29.8.2014]. Dostupné z: www.autorevue.cz/prime-vstrikovani-benzinu-nejkratsi-cestou_1.
- [93] OLIVÍK, P.: Vypínání válců – downsizing bez zmenšování. *Autorevue*. [online]. [cit. 24.11.2014]. Dostupné z: www.autorevue.cz/vypinani-valcu---downsizing-bez-zmensovani.
- [94] PATRASCU, D.: Dies Otto Engine Explained. *Autoevolution*. [online]. [cit. 29.10.2014]. Dostupné z: www.autoevolution.com/news/diesotto-engine-explained-5656.html.
- [95] Pavlůsek, O.: Mazda Skyactiv-G: Extrémní kompresní poměr namísto downsizingu. *Auto*. [online]. [cit. 10.9.2014]. Dostupné z: www.auto.cz/mazda-skyactiv-g-kompresni-pomer-60193.
- [96] PELITJEAN, D., BERNARDINI, L., MIDDLEMASS, Ch., SHADED, S. M.: Advanced Gasoline Engine Turbocharging Technology for Fuel Economy Improvements. *Papera.sae*. [online]. [cit. 29.7.2014]. Dostupné z: papers.sae.org/2004-01-0988/.
- [97] PEŠEK, M.: Snižování tření a opotřebení u spalovacích motorů. *Fakulta strojního inženýrství. Vysoké učení technické v Brně*. [online]. [cit. 24.11.2014]. Dostupné z: dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=525.
- [98] PETERSEN, J. How Short-Term Supply Constraints Will Impact Booming HEV Markets. *Alteenergy stocks*. [online]. [cit. 10.9.2014]. Dostupné z: www.altenergystocks.com/archives/2009/06/how_shortterm_supply_constraints_will_impact_booming_hev_markets_1.html.
- [99] Peugeot 3008 Hybrid. *Peugeot* [online] [cit. 12.4.2014]. Dostupné z: www.peugeot.co.uk/showroom/3008/hybrid4/.

- [100] Pike forecasts 1.8m EVs on European road by 2020. *ElectricCars Report*. [online]. [cit. 24.11.2014]. Dostupné z electriccarsreport.com/2013/01/pike-forecasts-1-8m-evs-on-european-roads-by-2020/.
- [101] Plug-in Hybrids. *Fueleconomy*. [online]. [cit. 13.10.2014]. Dostupné z: www.fueleconomy.gov/feg/phevtech.shtml.
- [102] POTTER, B.: Audi Variable Valvelift System in Detail. *Worldcarfans*. [online]. [cit. 29.7.2014]. Dostupné z: www.worldcarfans.com/1080626859/audi-variable-valvelift-system-in-detail.
- [103] Prius. *Toyota*. [online]. [cit. 20.10.2014]. Dostupné z: www.toyota.cz/new-cars/prius/index.json#.
- [104] Propane: Liquid Petroleum Gas *Fueleconomy*. [online]. [cit. 24.11.2014]. Dostupné z: www.fueleconomy.gov/feg/lpg.shtml.
- [105] První zkoušky setrvačnickové technologie v běžném provozu. *Drive4life*. [online]. [cit. 25.7.2014]. Dostupné z: www.drive4life.cz/cz/menu/20/clanky/blog/clanek-208-prvni-zkousky-setrvacnikove-technologie-v-beznem-provozu/.
- [106] RAMSEY, J.: Volvo trstiny F1 – style KERS system, cites 25% fuel economy bump. *Autoblok*. [online]. [cit. 25.7.2014]. Dostupné z: www.autoblog.com/2013/04/29/volvo-testing-f1-style-kers-system-cites-25-fuel-economy-bump/.
- [107] Reducing CO₂ emissions from passenger cars. *Ec.europa*. [online]. [cit. 13.7.2014]. Dostupné z: ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index_en.htm.
- [108] ROGERS, D.: Technology focus – Engine Downsizing and Downspeeding. *Autoelexblog. blogspot*. [online]. [cit. 29.8.2014]. Dostupné z: autoelexblog.blogspot.cz/2013/10/engine-downsizing-and-downspeeding.html.
- [109] Rojík S.: Emisní norma EURO 6 za dveřmi. *Tipcars*. [online]. [cit. 13.7.2014]. Dostupné z: www.tipcars.com/magazin-emisni-norma-euro-6-za-dvermi-6966.html.
- [110] Russia. *Dieselnet*. [online]. [cit. 18.8.2014]. Dostupné z: www.dieselnet.com/standards/ru/.
- [111] RYBECKÝ, V.: Matoucí údaje o spotřebě a emisích CO₂. *Autoweek*. [online]. [cit. 13.8.2014]. Dostupné z: www.autoweek.cz/cs-aktuality-matouci_udaje_o_spotrebe_a_emisich_co2-2700.
- [112] SAJDL, J.: DPF (Diesel Particulate Filter). *Autolexicon*. [online]. [cit. 30.8.2014]. Dostupné z: cs.autolexicon.net/articles/dpf-diesel-particulate-filter.

- [113] SAJDL, J.: Evaporative emission kontrol systém. *Autolexicon*. [online]. [cit. 15.9.2014]. Dostupné z: cs.autolexicon.net/articles/eec-evaporative-emission-control-system/.
- [114] SAJDL, J.: Fuel stratified injection. *Autolexicon*. [online]. [cit. 25.11.2014]. Dostupné z: cs.autolexicon.net/articles/fsi-fuel-stratified-injection/.
- [115] SAJDL, J.: Full Hybrid. *Autolexicon*. [online]. [cit. 24.11.2014]. Dostupné z: cs.autolexicon.net/articles/full-hybrid/.
- [116] SAJDL, J.: Katalyzátor. *Autolexicon*. [online]. [cit. 19.8.2014]. Dostupné z: cs.autolexicon.net/articles/katalyzator/.
- [117] Sajdl, J.: Kompresní poměr. *Autolexikon.net*. [online]. [cit. 10.9.2014]. Dostupné z: cs.autolexicon.net/articles/kompresni-pomer/.
- [118] SAJDL, J.: Mild Hybrid. *Autolexicon*. [online] [cit. 24.11.2014] Dostupné z: cs.autolexicon.net/articles/mild-hybrid/.
- [119] SAJDL, J.: Turbo fuel stratified injection. *Autolexicon*. [online]. [cit. 25.11.2014]. Dostupné z : cs.autolexicon.net/articles/tfsi-turbo-fuel-stratified-injection/.
- [120] SAJDL, J.: Turbocharged stratified Injection. *Autolexicon*. [online]. [cit. 25.11.2014]. Dostupné z: cs.autolexicon.net/articles/tsi-twincharger-stratified-injection/.
- [121] SAJDL, J.: VTEC (Variable Valve Timing and Lift Electronic Control). *Autolexicon*. [online]. [cit. 29.7.2014]. Dostupné z: cs.autolexicon.net/articles/vtec-variable-valve-timing-and-lift-electronic-control/.
- [122] SANDALOW, D: Plug-In Electric Vehicles: Chat role for Washington. Harrisonburg: R. R. Donelley, 2009. ISBN 978-0-8157-0305-1.
- [123] Shaded, S. M.: *Gasoline Engine Downsizing and Boosting for CO₂ Emission Reduction*. Sacramento, CA: California Air Resource Board, 2003.
- [124] SRB, L. Blink DC Fast – nové rychlonabíjecí stanice pro EV. *Elektrické vozy*. [online]. [cit. 13.7.2014]. Dostupné z: elektrickevozy.cz/clanky/blink-dc-fast-nove-rychlonabijeci-stanice-pro-ev/.
- [125] The Downsizing Agenda. *Turbo.honeywell*. [online]. [cit. 29.8.2014]. Dostupné z: turbo.honeywell.com/turbo-basics/the-downsizing-agenda/.
- [126] The Future of Plug-In Electric Vehicles. *Smartgridobserver*. [online]. [cit. 20.10.2014]. Dostupný z: www.smartgridobserver.com/n7-3-12-1.htm.
- [127] The Technology of Emissions Reduction. *AeriNOx*. [online]. [cit. 24.11.2014]. Dostupné z: www.aerinox-inc.com/technology/.

- [128] Tudron, B. F., Akridge, R.J., Pulisi, J. V.: *Lithium – Sulfur Rechargeable Batteries: Characteristics, State of Development and Applicability to Powering Portable Electronics*. Tucson, Sion Power Corporation. Dostupné z: www.sionpower.com/pdf/articles/PowerSources2004.pdf.
- [129] VACULÍK, M.: Udávaná vs. Skutečná spotřeba paliva. Proč se tolik liší? *Auto*. [online]. [cit. 13.8.2014]. Dostupné z: www.auto.cz/homologovana-vs-provozni-spotreba-paliva-proc-tolik-lisi-65158.
- [130] VAVERKA, L.: Technika: Vypínání válců včera a dnes. *Auto*. [online]. [cit. 25.7.2014]. Dostupné z: www.auto.cz/technika-vypinani-valcu-vcera-dnes-64657.
- [131] VIJAYENTHIRAN, V.: New Audi valve-lift systém boosts power & efficiency. *Motorauthority*. [online]. [cit. 29.7.2014]. Dostupné z: www.motorauthority.com/news/1023714_new-audi-valve-lift-system-boosts-power-efficiency.
- [132] VLK, F.: *Přímé vstřikování benzínu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2004.
- [133] VLK, F.: *Vozidlové spalovací motory*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2003. ISBN 80-238-8756-4.
- [134] Volvo V60 Plug – in hybrid. *Volvodirect*. [online]. [cit. 12.4.2014]. Dostupné z: www.volvodirect.cz/download/volvo-v60-plug-in-hybrid-brozura.pdf.
- [135] Volkswagen AG. *Technical Glossary* [online]. [cit. 6. 2. 2015]. Dostupné z: <http://en.volkswagen.com/en/innovation-and-technology/technical-glossary.html>
- [136] VW Cross Coupé TDI plug-in hybrid Technology. *Eurocarnews*. [online]. [cit. 24. 11 2014]. Dostupné z: www.eurocarnews.com/0/0/1883/0/volkswagen-cross-coup-with-tdi-plug-in-hybrid-technology.html.
- [137] WAGNER, V.: China: Light-duty: Emissions. *Transportpolicy*. [online]. [cit. 19.8.2014]. Dostupné z: transportpolicy.net/index.php?title=China:_Light-duty:_Emissions.
- [138] WAGNER, V.: India: Light-duty: Emissions. *Transportpolicy*. [online]. [cit. 18.8.2014]. Dostupné z: transportpolicy.net/index.php?title=India:_Light-duty:_Emissions.
- [139] WAGNER, V.: Russia: Light-duty: Emissions. *Transportpolicy*. [online]. [cit. 18.8.2014]. Dostupné z: transportpolicy.net/index.php?title=Russia:_Light-duty:_Emissions.
- [140] Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP). *Dieselnet.com*. [online]. [cit. 15.8.2014]. Dostupné z: www.dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php.

- [141] YATES, Z.: The Efficiency of The Internal Combustion Engine. *Ffden-2.phys.uaf*. [online]. [cit. 19.8.2014]. Dostupné z: ffden-2.phys.uaf.edu/102spring2002_Web_projects/Z.Yates/Zach's%20Web%20Project%20Folder/EICE%20-%20Main.htm.
- [142] ZELENÝ, K. Konstrukce. *Brickweb*. [online]. [cit. 29.8.2014]. Dostupné z: brickweb.wz.cz/technika/turbo.htm.
- [143] ZHAO, H.: *Advanced direkt injection combustion engine technologies and development*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2010. ISBN 078-1-84569-389-3.
- [144] Zhang, S. S.: Liquid electrolyte lithium/sulfur battery: Fundamentals chemistry problems, and solution. *Elsevier*. [online]. [cit. 24.11.2014]. Dostupné z: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775312019568.
- [145] Что такое VTEC?. *Insaber*. [online]. [cit. 29.7.2014]. Dostupné z: insaber.ru/view_post.php?id=7.

Přílohy

A.1 - Emisní normy v EU [13]

Typ motoru	Emisní norma	Vstoupení v platnost	CO	HC	NO _x	HC+ NO _x	PM	
			g/km					
Zážehový	Euro 1	1993	2,72	-	-	0,97	-	-
	Euro 2	1996	2,2	-	-	0,5	-	-
	Euro 3	2000	1,3	0,2	0,15	-	-	-
	Euro 4	2005	1	0,1	0,08	-	-	-
	Euro 5	2009	1	0,075	0,06	-	0,005	6x10 ¹¹
	Euro 6	2014	1	0,06	0,06	-	0,005	6x10 ¹¹
Vznětový	Euro 1	1993	2,72	-	-	0,97	0,14	
	Euro 2	1996	1	-	-	0,9	0,1	
	Euro 3	2000	0,64	-	0,5	0,56	0,05	
	Euro 4	2005	0,5	-	0,25	0,3	0,025	
	Euro 5	2009	0,5	-	0,18	0,23	0,005	6x10 ¹¹
	Euro 6	2014	0,5	-	0,08	0,17	0,005	6x10 ¹¹

A.2 - Emisní normy v USA [12]

Bin	NMOG + NO _x		PM		CO		HCHO	
	mg/mi	mg/km	mg/mi	mg/km	g/mi	g/km	mg/mi	mg/km
Bin 160	160	99,9	3	1,9	4,2	2,6	4	2,5
Bin 125	125	78	3	1,9	2,1	1,3	4	2,5
Bin 70	70	43,7	3	1,9	1,7	1,0	4	2,5
Bin 50	50	31,2	3	1,9	1,7	1,0	4	2,5
Bin 30	30	18,7	3	1,9	1,0	0,62	4	2,5
Bin 20	20	12,5	3	1,9	1,0	0,62	4	2,5
Bin 0	0	0	0	0	0	0	0	0

Pozn.: NMOG – označení chemické skupiny, do které spadají NMHC a jejich kyslíkaté sloučeniny.

A.3 - Zavádění emisních norem v Rusku [110]

Vstoupení v platnost	Emisní norma
01.1999	Euro 1 (ECE R83.02)
04.2006	Euro 2 (ECE R83.03)
01.2008	Euro 3 (ECE R83.05 Stage III)
01.2014	Euro 4 (ECE R83.05 Stage IV)
01.2016	Euro 5

A.4 - Zavádění emisních norem v Indii [138]

Zavádění emisních norem v Indii			
Emisní předpis	Zdroj	Vstoupení v platnost	Oblast
India 2000	Euro 1	2000	Celostátně
Bharat Stage II	Euro 2	2001	Dillí, Bombaj, Kalkata, Čennaj
		04.2003	Dillí, 11 největších měst
		04.2005	Celostátně
Bharat Stage III	Euro 3	04.2005	Dillí, 11 největších měst
		04.2010	Celostátně
Bharat Stage IV	Euro4	04.2010	Dillí, 13 největších měst

A.5 - Emisní limity v Indii [138]

Typ motoru	Emisní norma	CO	HC	NO _x	HC+ NO _x	PM
		g/km				
Zážehový	-	17,3-32,6	2,7-3,7	-	-	-
	-	5,9	-	-	2,40	-
	India Stage I	2,72 - 6,9	-	-	0,97 - 1,7	0,14 - 0,25
	Bharat Stage II	1 - 1,5	-	-	0,7 - 1,2	0,08 - 0,17
	Bharat Stage III	0,64	-	0,50	0,56	0,05
		0,80		0,65	0,72	0,07
		0,95		0,78	0,86	0,10
	Bharat Stage IV	0,50	-	0,25	0,30	0,025
		0,63		0,33	0,39	0,04
		0,74		0,39	0,46	0,06
Vznětový	-	14,3 - 27,1	2,0 - 2,9	-	-	-
	-	8,68 - 12,4	-	-	3,00 - 4,36	-
	-	4,34 - 6,2	-	-	1,50 - 2,18	-
	India Stage I	2,72 - 6,9	-	-	0,97 - 1,7	-
	Bharat Stage II	2,2 - 5	-	-	0,50 - 0,70	-
	Bharat Stage III	2,30	0,20	0,15	-	-
		4,17	0,25	0,18		
		5,22	0,29	0,21		
	Bharat Stage IV	1,00	0,10	0,08	-	-
		1,81	0,13	0,10		
2,27		0,16	0,11			

A.6 - Zavádění emisních norem v Číně [88]

Zavádění emisních norem v ČLR			
Emisní předpis	Zdroj	Vstoupení v platnost	Oblast
China I	Euro 1	01.2000	Celostátně
China II	Euro 2	08.2002	Peking
		03.2003	Šanghaj
		Zážehové 07.2004	Celostátně
		Vznětové 09.2003	
China III	Euro 3	12.2005	Peking
		10.2006	Kanton
		1.2007	Šanghaj
		7.2007	Celostátně
China IV	Euro 4	3.2008	Peking
		11.2009	Šanghaj
		Zážehové 07.2011	Celostátně
		Vznětové 07.2015	
China 5	Euro 5	2.2013	Peking
		5.2014	Šanghaj
		1.2018	Celostátně

A.7 - Emisní limity v Číně [88]

Typ motoru	Emisní norma	Kategorie	Třída	Pohotovostní hmotnost	CO	HC	HC + NO _x	NO _x	PM	PN
					g/km					
Zážehový	China III	1	-	Pro všechny automobily	2,3	0,2	-	0,15	-	-
		2	I	<1305	2,3	0,2	-	0,15	-	-
			II	1305-1760	4,17	0,25	-	0,18	-	-
	III		>1760	5,22	0,29	-	0,21	-	-	
	China IV	1	-	Pro všechny automobily	1	0,1	-	0,08	-	-
		2	I	<1306	1	0,1	-	0,08	-	-
			II	1305-1761	1,81	0,13	-	0,1	-	-
	III		>1761	2,27	0,16	-	0,11	-	-	
	China 5	1	-	Pro všechny automobily	1	0,1	-	0,06	0,0045	-
		2	I	<1307	1	0,1	-	0,06	0,0045	-
			II	1305-1762	1,81	0,13	-	0,075	0,0045	-
	III		>1762	2,27	0,16	-	0,082	0,0045	-	
Vznětový	China III	1	-	Pro všechny automobily	0,64	-	0,56	0,5	0,05	-
		2	I	<1308	0,64	-	0,56	0,5	0,05	-
			II	1305-1763	0,8	-	0,72	0,65	0,07	-
	III		>1763	0,95	-	0,86	0,78	0,1	-	
	China IV	1	-	Pro všechny automobily	0,5	-	0,3	0,25	0,025	-
		2	I	<1309	0,5	-	0,3	0,25	0,025	-
			II	1305-1764	0,63	-	0,39	0,33	0,04	-
	III		>1764	0,74	-	0,46	0,39	0,06	-	
	China 5	1	-	Pro všechny automobily	0,5	-	0,23	0,18	0,0045	6,0x10 ¹¹
		2	I	<1310	0,5	-	0,23	0,18	0,0045	6,0x10 ¹¹
			II	1305-1765	0,63	-	0,295	0,235	0,0045	6,0x10 ¹¹
	III		>1765	0,74	-	0,35	0,28	0,0045	6,0x10 ¹¹	