



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MODERNÍ PŘEPLŇOVANÉ BENZÍNOVÉ MOTORY

UP-TO-DATE SUPERCHARGED PETROL ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Gruber

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Jakub Gruber**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Radim Dundálek, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Moderní přeplňované benzínové motory

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Osvojení základních pojmů zadané problematiky. Zamyšlení nad perspektivou budoucího vývoje přeplňovaných benzínových motorů zejména s ohledem na snižování škodlivin ve výfukových plynech.

Cíle bakalářské práce:

Uvedení přehledu pohonných jednotek, popis jejich konstrukčního řešení. Výhody a nevýhody s ohledem na plnění emisních limitů. Specifické součásti palivového systému. Příklady řešení systému u konkrétních pohonných jednotek.

Seznam doporučené literatury:

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

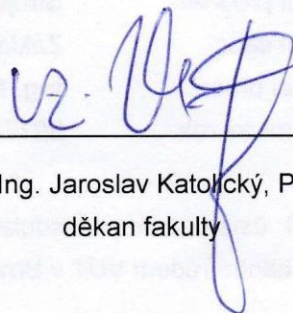
HEISLER, Heinz. Advanced Engine Technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 1-56091-734-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 30. 10. 2017



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
ředitel ústavu



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

ABSTRAKT

Rešeršní bakalářská práce se zabývá moderními přeplňovanými benzínovými motory. Úvodem jsou přiblíženy emisní normy EURO. Těžištěm práce je pojednání o zařízeních snižující emise automobilů. Popsány jsou palivové systémy a konkrétní komponenty přímého vstřikování paliva. Část práce je věnována zkoumání přínosu zmenšování objemu motorů. Zmíněny jsou také další možné pohony automobilů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Turbodmychadlo, přeplňování, emise, palivový systém, zážehový motor

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on the modern supercharged petrol engines. The introduction opens with a brief overview of the European emission standards. The main part of the work deals with the devices reducing car emissions. There are described fuel systems and specific components of a direct fuel injection. A vast part of the work is dedicated to the downsizing of the engines and its contribution. I also mentioned the alternative fuel vehicles.

KEYWORDS

Turbocharger, supercharging, emissions, fuel system, petrol engine

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

GRUBER, J. *Moderní přeplňované benzinové motory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 49 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Radima Dundálka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2018

.....

Jakub Gruber

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé práce Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D. za trpělivost a cenné rady poskytnuté při jejím vypracování.

OBSAH

Úvod	10
1 Emise a emisní normy	11
1.1 Emise zážehových motorů	11
1.2 Emisní normy Euro 1 a Euro 2	12
1.3 Emisní norma Euro 3	12
1.4 Emisní norma Euro 4	12
1.5 Emisní norma Euro 5	12
1.6 Emisní norma Euro 6	13
1.7 Emise CO ₂ na Zemi	13
2 Přehled typů pohonných jednotek	14
2.1 Pracovní oběhy spalovacích motorů	14
2.2 Nová konstrukční řešení benzinových přeplňovaných motorů	14
2.2.1 Motor 1.0 TSI	14
2.2.2 Motor 1.5 TSI	15
2.3 Elektromobily	16
2.3.1 Konstrukční komponenty a specifika elektromobilu	16
2.4 Hybridní pohon	18
2.4.1 Sériové uspořádání hybridního pohonu	19
2.4.2 Paralelní uspořádání hybridního pohonu	19
2.4.3 Konstrukce hybridního systému THS II	20
2.5 Vodíkový pohon	22
2.5.1 Konstrukce vodíkového vozidla Toyota Mirai	22
2.5.2 Palivový článek	23
2.6 Dopad alternativních pohonů na životní prostředí	24
2.6.1 Ekologičnost elektromobilů k životnímu prostředí	24
2.6.2 Ekologičnost vozidel na vodík	25
3 Metody přeplňování spalovacích motorů	26
3.1 Přeplňování motoru turbodmychadlem	26
3.1.1 Konstrukce turbodmychadla	26
3.2 Přeplňování motoru kompresorem	27
3.2.1 Konstrukce kompresoru	27
3.3 Porovnání výhod a nevýhod turbodmychadla a kompresoru	27
4 Downsizing motorů	29
4.1 Skutečné snížení spotřeby pomocí downsizingu	29
4.1.1 Downsizing malých vozů	29

4.1.2	Downsizing vozů střední třídy.....	30
5	Palivový systém.....	33
5.1	Nepřímé vstřikování benzínu.....	33
5.2	Přímé vstřikování benzínu	34
5.3	Komponenty systému přímého vstřikování paliva	34
5.3.1	Palivové čerpadlo	34
5.3.2	Vysokotlaké čerpadlo	35
5.3.3	Zásobník paliva	35
5.3.4	Senzor tlaku paliva	35
5.3.5	Tlakový řídicí ventil	35
5.3.6	Vstřikovací ventil	35
5.4	Příklady moderních palivových systémů	36
5.4.1	Motory TSI	36
5.4.2	Motory DIT	36
5.4.3	Motory FSI	36
6	Zařízení a systémy snižující emise automobilů.....	38
6.1	Katalyzátor.....	38
6.1.1	Keramické nosiče	38
6.1.2	Kovové nosiče	38
6.1.3	Třícestný katalyzátor	39
6.2	Lambda sonda	39
6.2.1	Vyhřívaná lambda sonda	40
6.3	Systém SCR	41
6.4	Systém EGR.....	41
6.5	Filtr pevných částic (GPF).....	42
	Závěr.....	44
	Použité informační zdroje.....	45
	Seznam použitých zkratk	49

ÚVOD

Spalovací motory jsou v dnešní době stále nejrozšířenější metodou pohonu osobních automobilů. Jejich pozice již ale není tak neotřesitelná jako v minulosti. Daleko častěji se začínají objevovat vozy využívající zdokonalující se alternativní pohony. Jedná se zejména o hybridní vozy a elektromobily. Tlak Evropské unie na stále nižší spotřebu a emise, plus nedávný skandál Dieseldate¹ ve Spojených státech amerických, postavení spalovacího motoru také nepřidal. Tato bakalářská práce si proto dává za úkol odhadnout budoucí vývoj zážehových motorů a vyjmenovat některá jejich konstrukční řešení.

¹ Dieseldate je označení pro emisní skandál automobilky Volkswagen, který vypukl v září 2015. Automobilka vybavila své dieselové vozy softwarem, který dokázal rozpoznat, že motor pracuje v režimu odpovídajícímu požadavkům laboratorních testů, a dočasně snížil vznikající oxidy dusíku.

1 EMISE A EMISNÍ NORMY

Kdyby bylo spalování ideální, výfukové plyny by se skládaly pouze z oxidu uhličitého (CO_2) a vody v plynném stavu (H_2O), které nejsou zdraví škodlivé. Bohužel spalování motorů není dokonalé, tudíž kromě CO_2 a H_2O obsahují výfukové plyny ještě další složky. Jedná se primárně o oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíku², nespálené uhlovodíky (HC), oxidy síry a další složky. Mnohé z těchto plynů jsou považovány za zdraví škodlivé, proto je úroveň jejich emisí hlídána mezinárodními normami. [1]

První norma, zabývající se množstvím výfukových emisí, vznikla v Kalifornii v roce 1968. V Evropě jsou tyto normy zavedeny od roku 1971, kdy byly stanoveny mezní hodnoty pro CO a HC na základě tehdejších technických možností spalovacích motorů. S dalším rozvojem a rostoucím počtem automobilů jsou požadavky stále zpřísnovány. Tato situace nutí výrobce automobilů hledat způsoby, jak umožnit splnění předpisů za přijatelných ekonomických podmínek. [3]

Tab. 1 Evropské limity pro osobní automobily se zážehovými motory [1]

předpis	platí od r.	limity [g/km]			
		CO	HC	NO _x	HC+NO _x
EHK 15/00	1971	18,20	1,10	–	–
EHK 15/01	1975	26,00	1,90	–	–
EHK 15/02	1976	26,00	1,90	2,90	–
EHK 15/03	1979	21,50	1,75	2,50	–
EHK 15/04	1982	16,50	–	–	5,06
Euro I	1993	2,72	–	–	0,97
Euro II	1996	2,20	–	–	0,50
Euro III	2000	2,30	0,20	0,15	–
Euro IV	2005	1,00	0,10	0,08	–
Euro V	2009	1,00	0,10	0,06	–
Euro VI	2014	1,00	0,10	0,06	–

1.1 EMISE ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ

Oxid uhelnatý je výsledkem nedokonalého spalování. Velikost emisí CO je plně závislá na složení směsi, které je dáno poměrem paliva a vzduchu. CO může vzniknout i při přebytku

² Oxidy dusíku jsou sloučeniny kyslíku a dusíku označované jako NO_x . Nejběžněji se jedná o oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO_2). [1]

vzduchu, a to když je složení směsi ve spalovacím prostoru nehomogenní nebo když její složení kolísá cyklus od cyklu. Oxid uhelnatý je jedovatý, utlumuje schopnosti červených krvinek, způsobuje dýchací potíže, bolesti hlavy a při vyšší koncentraci dokáže i usmrtit. [1]

Volné uhlovodíky se objevují ve výfukových plynech při nedostatku vzduchu, kdy dochází pouze k neúplnému či částečnému spalování paliva. Dalšími příčinami vzniku uhlovodíků může být vynechání zážehu, zhasnutí zápalné směsi z důvodů její nízké teploty, zejména v blízkosti chladnějších stěn válce. [1]

Oxidy dusíku (NO_x) jsou silně závislé na tlaku a teplotě ve spalovacím prostoru a vznikají oxidací atmosférického dusíku, který je obsažen v právě spalovaném vzduchu. Maximální teplota a doba jejího působení mají rozhodující vliv na koncentraci oxidu dusnatého (NO), který se velmi rychle a snadno okysličuje na oxid dusičitý (NO_2). V malém množství vzniká i oxid dusný (N_2O). [1]

1.2 EMISNÍ NORMY EURO 1 A EURO 2

Normy pracovaly pouze s výsledným součtem emisí uhlovodíků a oxidů dusíku. Norma Euro 1 začala platit od července 1992, respektive od ledna 1993. První datum je okamžik zavedení normy a bylo platné pro nově homologované vozy, druhé datum bylo mezní pro vozy homologované již před červencem 1992. Norma Euro 1 nerozlišovala vznětové a zážehové motory. K rozlišení došlo až s příchodem emisní normy Euro 2, která začala platit v lednu 1996, kdy byly zavedeny rozdílné limitní emisní hodnoty pro vznětové a zážehové motory. Norma Euro 2 si primárně kladla za úkol snížit kombinovaný limit pro emise uhlovodíků a oxidů dusíku a to na 0,5 g/km, což je o 0,47 g/km méně než u normy Euro 1. [4]

1.3 EMISNÍ NORMA EURO 3

Norma Euro 3 začala platit v lednu 2000, respektive v lednu 2001. Z testování vyloučila fázi zahřívání motoru a uvedla samostatné měření emisí uhlovodíků a oxidů dusíku. [4]

1.4 EMISNÍ NORMA EURO 4

Norma Euro 4 začala platit v lednu 2005, respektive v lednu 2006. Stejně jako pozdější norma Euro 5 se zaměřila primárně na vznik škodlivin u vznětových motorů. Šlo zejména o produkci pevných částic a oxidů dusíku. I když se filtr pevných částic (DPF) začal objevovat již s normou Euro 3, teprve s normou Euro 4 se dočkal většího rozšíření. Zavádí se též recirkulace výfukových plynů a to z důvodů snížení emisí oxidů dusíku. U zážehových motorů se produkce oxidů dusíku snížila téměř na polovinu z 0,15 g/km na 0,08 g/km oxidů dusíku. [4]

1.5 EMISNÍ NORMA EURO 5

Zatím předposlední norma Euro 5 začala platit v září 2009, respektive v lednu 2011. Vůbec poprvé se začaly měřit emise pevných částic také u zážehových motorů. Důvodem bylo zvětšující se nasazení přímého vstřikování benzínu, které tvorbu pevných částic podporuje. U zážehových motorů se mírně snižují emise oxidů dusíku a to z 0,08 g/km na 0,06 g/km. Benzinové motory musí plnit limit pro pevné částice, který je 0,005 g/km. Jestli se normu Euro 4 povedlo některým dieselovým automobilům plnit i bez filtru pevných částic, tak normu Euro 5 již nejsou schopna splnit žádná vozidla se vznětovým motorem, která by filtr pevných částic neměla. [4]

1.6 EMISNÍ NORMA EURO 6

Aktuální emisní norma Euro 6 začala platit v září 2015, respektive v září 2016. Opět se zaměřila primárně na emise oxidů dusíku. Aby byly vznětové motory schopny vysokého snížení emisí, musely být vybaveny dodatečnými systémy k jejich odbourávání. Možnosti jsou de facto dvě, jednou z nich je zásobníkový katalyzátor, který je sice relativně jednoduchý a bezúdržbový, ale podobně jako filtr pevných částic potřebuje jednou za čas vypálit. To vyžaduje dodatečnou dávku nafty, což vede ke zvýšení spotřeby. Druhou možností je SCR neboli selektivní katalytická redukce, která kromě účinné redukce NO_x přináší také snížení hodnot emisí oxidu uhličitého. I tato metoda má ale své nevýhody, kromě potřeby doplňování kapaliny AdBlue³ je to složitost a cena celého systému. [5]

1.7 EMISE CO_2 NA ZEMI

Podle různých nařízení Evropské unie by se dalo předpokládat, že silniční doprava je největším producentem oxidu uhličitého ze všech odvětví lidské činnosti. Tak tomu ale není. Lidská činnost se na celkovém množství na Zemi vyprodukovaného CO_2 podílí pouhými čtyřmi procenty. Jedna třetina lidské produkce CO_2 připadá na energetiku, dalšími producenty v pořadí jsou průmysl a domácnost. Doprava se u vyspělých zemí podílí na produkci CO_2 z jedné pětiny, z toho půlka připadá na silniční dopravu. Z této poloviny tvoří 60 % osobní vozy. Osobní doprava se tedy podílí na celkových na Zemi vzniklých emisích CO_2 z 0,24 %. [6]

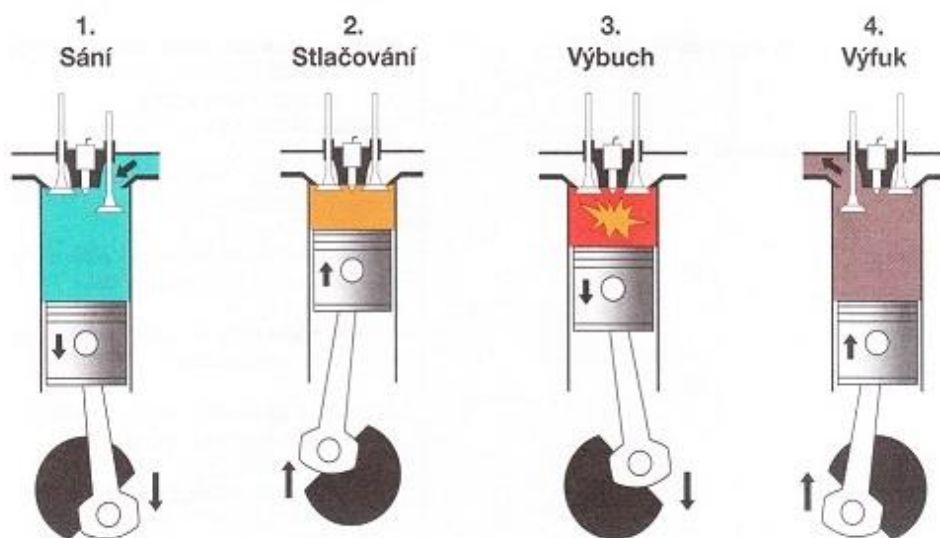
³ AdBlue je vodný roztok močoviny vyráběný syntézou močoviny a oxidu uhelnatého. [38]

2 PŘEHLED TYPŮ POHONNÝCH JEDNOTEK

2.1 PRACOVNÍ OBĚHY SPALOVACÍCH MOTORŮ

V dnešní době se u automobilů využívá čtyřdobý motor, který je charakteristický tím, že cyklus proběhne při čtyřech zdvích pístu motoru. Výměna směsi je zajištěna pístem v součinnosti s ventilovým rozvodem. Toto uplatnění lze nalézt u spalovacích motorů s přímočarým vratným pohybem, které v automobilech značně převažují. Píst se u motorů pohybuje mezi horní a dolní úvratí, jejich vzdálenost se nazývá zdvihem. Doba pohybu mezi úvratěmi je takt. Na horní plochu pístu působí tlaková energie, která vzniká při hoření směsi, výsledná síla je poté přenášena ojnici na klikovou hřídel, na které takto vzniká krouticí moment. Jelikož síla působí po dráze mezi úvratěmi, vzniká mechanická práce a vzhledem k času mechanický výkon. [1]

Čtyřtaktní proces se skládá ze čtyř zdvihů, tedy ze dvou otáček klikové hřídele. Jednotlivé pracovní fáze se nazývají sání, komprese, expanze, výfuk. Uvedený proces, nazývaný pracovním oběhem, je kruhový děj, který se periodicky opakuje a má stále stejný průběh. Při kruhovém ději jsou pro mechanickou práci motoru podstatné jen změny tlakové a s nimi související změny objemové. Produkce tepla a stavové změny směsi paliva se vzdušným kyslíkem musí probíhat tak, aby práce vykonaná během expanze byla větší, než práce potřebná k výměně a kompresi náplně. [1]



Obr. 1 Pracovní fáze zážehového motoru [7]

2.2 NOVÁ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ BENZINOVÝCH PŘEPLŇOVANÝCH MOTORŮ

2.2.1 MOTOR 1.0 TSI

Tento motor byl představen koncernem VW v roce 2015 na motorkářském sympoziu ve Vídni. Jedná se tříválcový benzinový motor, který v nabídce koncernu nahrazuje čtyřválec 1.2 TSI. Motor je nabízen ve dvou výkonnostních variantách: 63 kW/160 Nm a 85 kW/200 Nm.

Jedná se o motor s nejmenším zdvihovým objemem z řady motorů TSI. Motor přináší celou řadu inovací:

- Přímé vstřikování paliva se systémem common-rail⁴ s tlakem 250 barů.
- Nový typ turbodmychadla odolávající teplotám až 1050 °C (dříve 970 °C).
- Sací potrubí s integrovaným mezichladičem.
- Využívání proměnného časování sacích a výfukových ventilů.
- Plně říditelné olejové čerpadlo.
- Výfukové ventily jsou plněny sodíkem, který se při vyšších teplotách stává tekutým a odvádí teplo z rozžhavené spodní části ventilu.
- Hliníkový blok vážící 78 kg má zalité ocelové vložky válců, které tím pádem lépe drží a díky hrubému povrchu lépe odvádí teplo.
- Výfukové svody jsou integrovány v hlavách válců a jsou tím pádem ochlazovány chladicí kapalinou motoru, což umožňuje efektivnější ochlazování výfukových svodů, turbodmychadla a katalyzátoru.

Tříválcové motory trpí principiální nevyvážeností, danou jejich konstrukcí. Ke kompenzaci této nevýhody slouží záměrné nevyvážení na dvouhmotovém setrvačnicku a řemenici s tlumičem torsních kmitů. Nevyvážení obou dílů je vůči sobě přesazené a vznikají proto kmity působící proti přirozené nevyváženosti tříválce. [8]



Obr. 2 Motor 1.0 TSI [8]

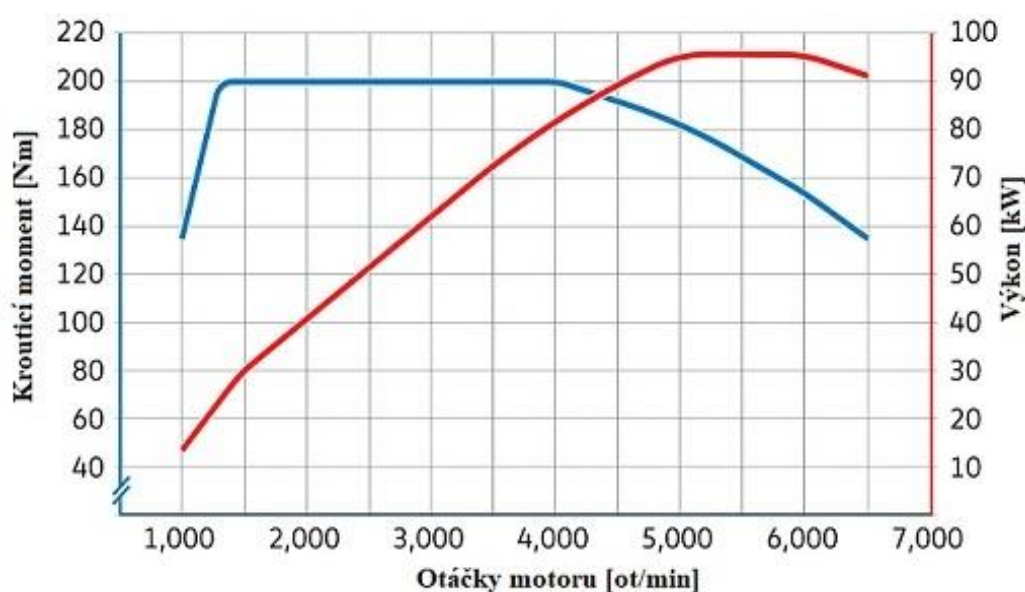
2.2.2 MOTOR 1.5 TSI

Tento motor byl představen koncernem VW v roce 2016 na motorkářském sympoziu ve Vídni. Jedná se čtyřválcový benzinový motor, který v nabídce nahrazuje dosavadní motor 1,4 TSI. Nabízen je ve dvou variantách: 96 kW/200 Nm a 110 kW/250 Nm. Motor, podobně jako menší tříválcová jednotka, opět nabízí spoustu nových konstrukčních řešení:

⁴ Common-rail je druh elektronicky řízené vstřikovací soustavy typický pro vstřikování přímé. [1]

- Vysoký kompresní poměr 12,5:1 (ten zajišťuje nižší spotřeba paliva a vyšší výkon).
- Motor je schopen přejít do Millerova cyklu⁵.
- Proměnné časování ventilů, které je uzpůsobeno pro Millerův cyklus.
- Vypínání poloviny válců při nízké zátěži.
- Přímé vstřikování paliva se systémem common-rail s tlakem 350 barů způsobuje jemnější rozprašení paliva, což přináší účinnější spalování a nižší emise.

Motor nadále disponuje turbodmychadlem s proměnnou geometrií lopatek VTG. Tato technologie není u benzinových motorů většinou obvyklá, jelikož spaliny dosahují vysokých teplot. Jemný mechanismus turbodmychadla tedy potřebuje odolnější a dražší materiály. Výhodou technologie VTG je rozšíření pásma vysokého točivého momentu, kdy motor dosahuje točivého momentu 200 Nm již při 1300 otáčkách za minutu. [8]



Obr. 3 Graf výkonu motoru 1.5 TSI [8]

2.3 ELEKTROMOBILY

Jak již název napovídá, elektromobil je automobil poháněný elektrinou. Jako zdroj energie je použit akumulátor, který je dobíjen z elektrické sítě. Právě kapacita akumulátoru omezuje dojezdovou vzdálenost dnešních elektromobilů. Ty jsou považovány za ekologické, jelikož při jízdě nevypouštějí do vzduchu žádné emise, jako to dělají auta se spalovacími motory. [9]

2.3.1 KONSTRUKČNÍ KOMPONENTY A SPECIFIKA ELEKTROMOBILU

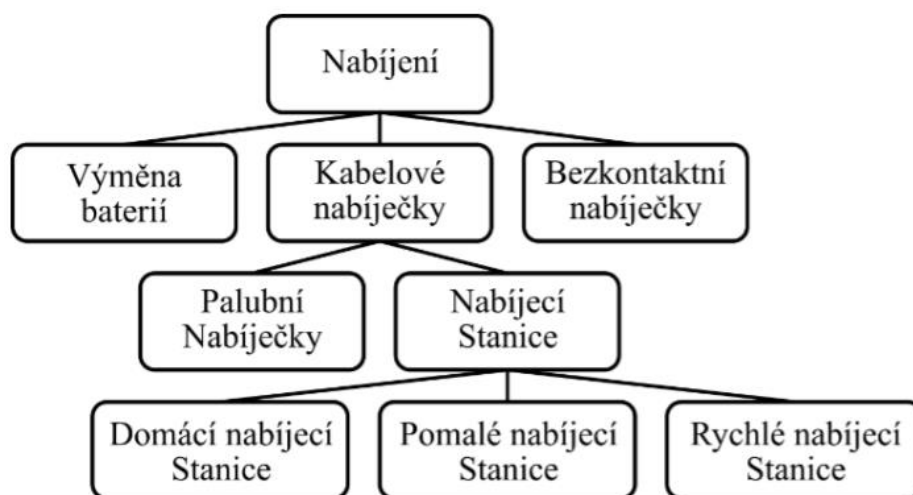
Základní částí konstrukce elektromobilu nebo například automobilu na vodíkový pohon je elektromotor. To je stroj měnící elektrickou práci na mechanickou, většinou se jedná o točivý stroj. Elektromotor využívá silové účinky magnetického pole, dochází k využití vzájemného přitahování a odpuzování elektromagnetů. Polaritu a sílu elektromagnetu lze řídit velikostí elektrického proudu, který do něj vtéká. Každý elektromotor se skládá ze statoru a rotoru. Stator je pevná část, kterou představuje elektromagnet, rotor je část pohyblivá, tvořená cívkou. Při otáčení je zajištěno, že při každém otočení cívky o 180 ° se změni směr proudění

⁵ Millerův cyklus se vyznačuje zkrácením komprese pozdějším uzavíráním sacích ventilů. [8]

proudu a tím i magnetické póly cívky. To způsobuje, že jsou naproti sobě stále části magnetu, které se odpuzují, což roztáčí cívku a motor koná práci. [10]

U elektromobilů je výkon z motoru na kola přenášán podobně jako u spalovacích vozidel. Rozdílem je, že převodovky mají většinou pevný převod. Proměnlivý převod není potřeba, jelikož elektromotor dosahuje maximálního točivého momentu okamžitě a v celém spektru otáček. Není tedy potřeba volit optimální oblast. Okamžitý maximální krouticí moment vysvětluje rychlou akceleraci elektromobilů. Trakční měnič upravuje stejnosměrné napětí baterie pro motor. U dnešních automobilů je většinou využit motor třífázový střídavý, proto silový obvod odpovídá třífázovému střídači. Jako spínací součástky jsou využívány IGBT⁶. Počet trakčních měničů automobilu odpovídá počtu motorů. [11]

Kritickou částí konstrukce elektromobilu je baterie, jejich výdrž v dnešní době ve velké míře rozhoduje o úspěšnosti elektromobilu na trhu. Baterie se skládá z velkého množství článků, v oblasti elektromobilů naprosto dominují články lithiové. Jednotlivé druhy lithiových článků se liší materiály použitými na katodě. Jednotlivé články jsou pro zvýšení napětí řazeny do sérií a série jsou následně kvůli zvýšení kapacity řazeny paralelně. Všechny články by měly být stejné. [11]



Obr. 4 Dělení způsobů nabíjení elektromobilů [11]

Výsledná baterie se dá popsat několika parametry:

- kapacita [Ah] – dána součtem kapacity jednotlivých sérií
- jmenovité napětí [V], pracovní napětí [V] – odpovídající parametry článku dány jejich počtem v sérii
- maximální proud [A] – maximální zatížení baterie bez jejího trvalého poškození
- SOC [%] – stav nabití baterie

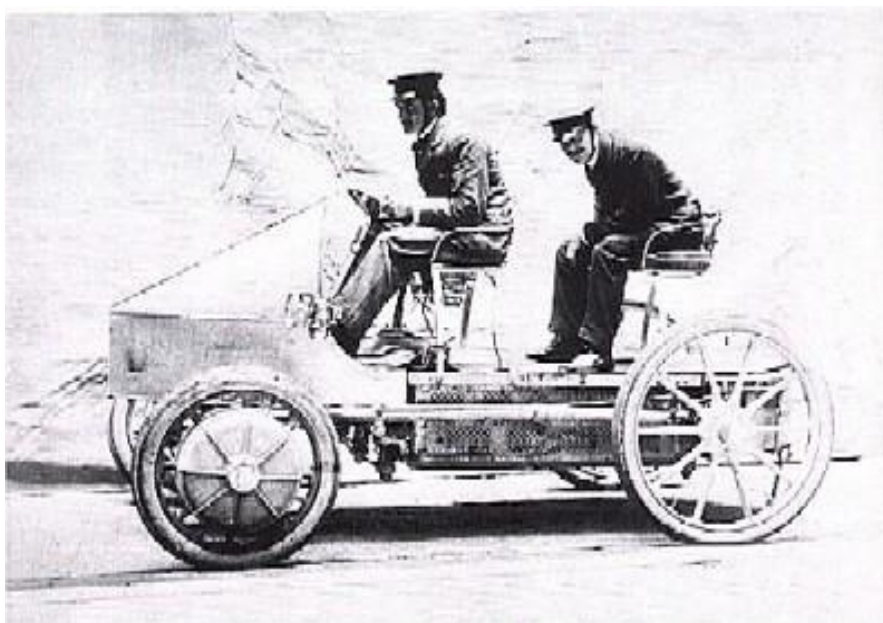
Při návrhu elektromobilu není možné pouze vyndat spalovací motor a zabudovat místo něj elektromotor. Návrh elektromobilu se odlišuje několika specifiky:

⁶ IGBT je bipolární tranzistor s izolovaným hradlem. [11]

- Vysoká hmotnost baterií – zbytek karoserie musí být co nejlehčí, místo oceli se ve větší míře využívá hliník.
- Co nejnižší umístění baterií – z důvodů co nejnižšího těžiště vozidla, což má pozitivní vliv na jízdní vlastnosti elektromobilu.
- Je potřeba minimalizovat nebezpečí pro posádku. Hlavně v případě havárie, kdy mohou začít hořet baterie elektromobilu.
- Díky vysoké účinnosti pohonu ve vysokém rozsahu otáček může být chladicí systém vozidla menší než u spalovacích motorů. [11]

2.4 HYBRIDNÍ POHON

Pod pojmem hybridní pohon se ukrývá pohon, který využívá kombinaci několika zdrojů energie pro pohon automobilu. Nejrozšířenější koncepcí je kombinace spalovacího motoru a elektromotoru. Prvním automobilem kombinujícím více pohonů byl Lohner-Porsche⁷. U něj spalovací motor poháněl generátor vyrábějící elektrickou energii pro elektromotory v přední poháněné nápravě. [12]



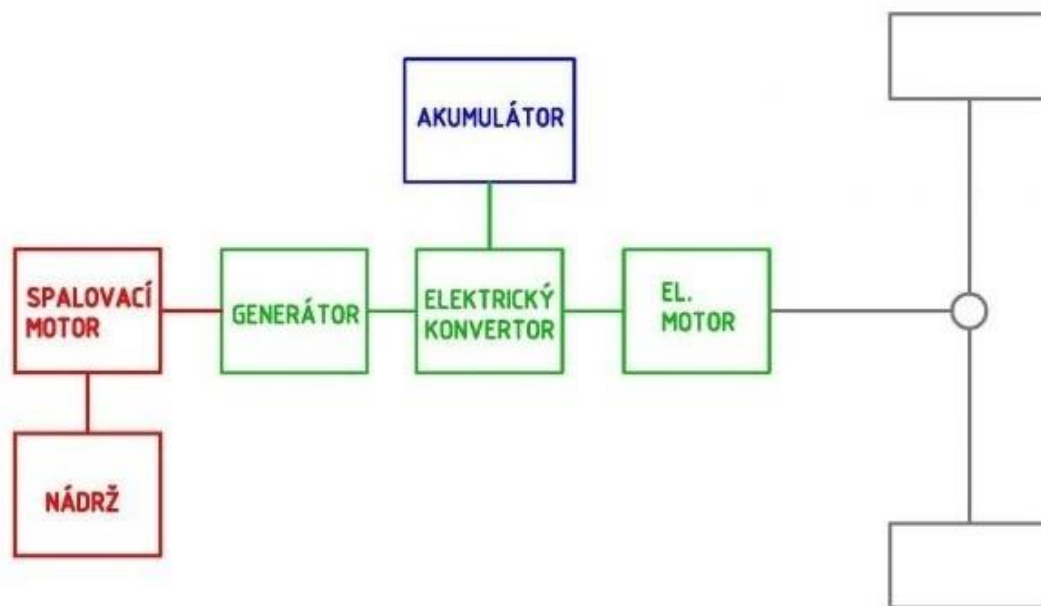
Obr. 4 První hybridní vozidlo Lohner-Porsche [12]

U hybridního pohonu nemusí být spalovací motor spojen s koly. Může být využíván pouze jako generátor elektrické energie pro elektromotory. Spalovací motor v tomto případě pracuje pouze ve svých ideálních otáčkách. Dnešní hybridy ale stále upřednostňují pevné propojení spalovacího motoru s koly automobilu. Elektromotor spíše jen vypomáhá v přechodových stavech. Tím je například popojíždění v zácpě nebo pomalá jízda městem. [13]

⁷ Vůz Lohner-Porsche byl vyroben v roce 1899. [12]

2.4.1 SÉRIOVÉ USPOŘÁDÁNÍ HYBRIDNÍHO POHONU

Sériový hybridní pohon se v mnohém podobá elektrickému pohonu. Spalovací motor pohání stejnosměrný generátor a není tedy přímo spojen s koly. Generátor přes měnič stejnosměrného proudu na střídavý pohání hnací elektromotor, popřípadě dobíjí akumulátor. Jde tedy vlastně o elektromotor doplněný o generátor poháněný spalovacím motorem. Jednotlivé hnací části jsou umístěny za sebou. Nevýhodou tohoto uspořádání je nutnost použití vícenásobné přeměny energie, tím pádem je snižována i mechanická účinnost mezi spalovacím motorem a hnací nápravou vozidla. Výhodou je motor téměř konstantně pracující v jeho ideálních otáčkách s nejvyšší účinností a příznivou spotřebou paliva. [2]

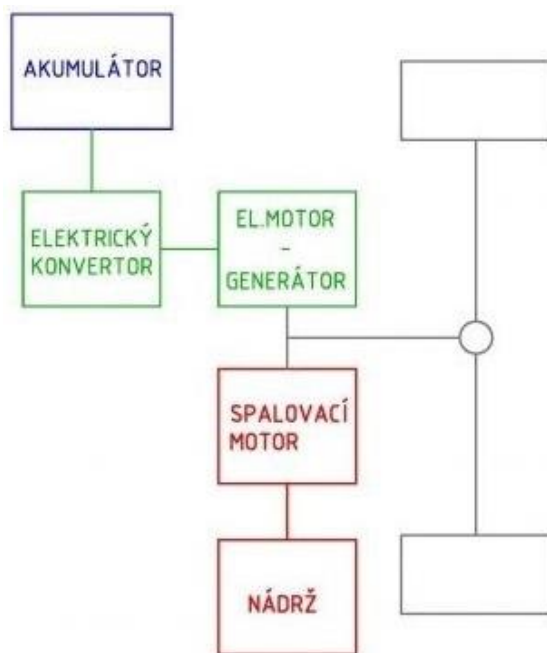


Obr. 5 Schéma sériového hybridu [14]

2.4.2 PARALELNÍ USPOŘÁDÁNÍ HYBRIDNÍHO POHONU

V tomto případě používá hybridní systém k pohonu kol spalovací motor i elektromotor. Dva zdroje energie jsou spojeny hřídelem a výsledný točivý moment je dán součtem momentů obou pohonů. Obvykle většinu výkonu dodává spalovací motor a elektromotor se připojuje v případě akcelerace, kdy na krátkou dobu zvyšuje maximální výkon. Tímto navýšením točivého momentu poskytuje paralelní hybridní pohon výkonovou rezervu odpovídající většímu spalovacímu motoru. Plusem technologie je možné rekuperační⁸ brzdění. [2]

⁸ Rekuperační brzdění je přeměna kinetické energie při brzdění zpět na použitelnou elektrickou energii. [2]



Obr. 6 Schéma paralelního hybridu [14]

2.4.3 KONSTRUKCE HYBRIDNÍHO SYSTÉMU THS II

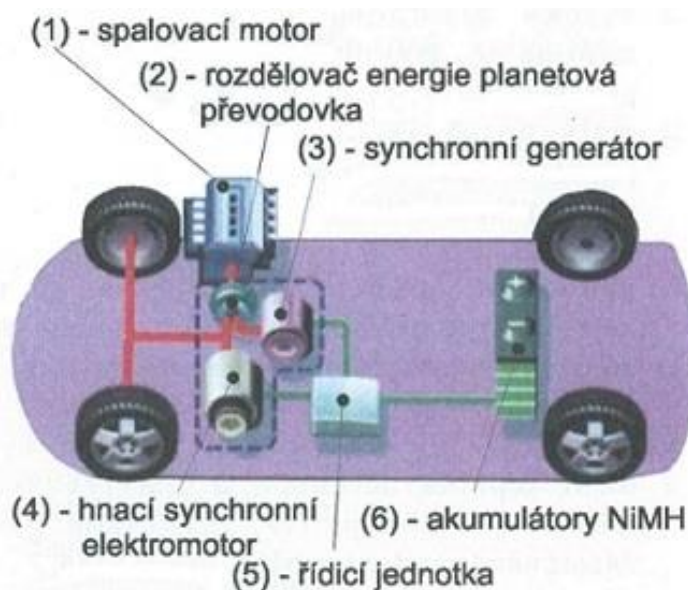
Když se před laickou veřejností řekne hybridní vůz, spousta lidí si pravděpodobně představí Toyota Prius, která ve své druhé generaci rozšířila povědomí o hybridech i u nás a ve slušné míře zaplnila i české silnice. [15]



Obr. 7 Druhá generace hybridního vozu Toyota Prius [15]

Druhá generace vozu Prius využívá paralelního hybridního systému a podobně jako první generace má vpředu napříč uloženou pohonnou jednotku, kde jsou v řadě vedle sebe

zážehový čtyřválec, tlumič záběru, generátor, řetězové kolo redukčního převodu, planetová rozdělovací převodovka, elektromotor a hydraulické čerpadlo. Činnost systému je řízena elektronickou řídicí jednotkou. Zážehový motor má zdvihový objem 1497 cm^3 a maximální výkon 57 kW při 5000 min^{-1} . Elektromotor je střídavý synchronní s permanentními magnety o výkonu 50 kW při 1200 až 1540 min^{-1} a točivém momentu 400 Nm při 0 až 1200 min^{-1} . Centrem hybridního systému Toyota Prius je elektronicky řízená planetová převodovka E-CVT. Změnou otáček alternátoru, spalovacího motoru a elektromotoru se napodobuje fungování klasické variátorové bezstupňové převodovky CVT, tudíž akcelerace a zpomalování vozidla probíhá bez rázů. Jako zásobník energie slouží akumulátory Ni-MH⁹ se jmenovitým napětím $201,6 \text{ V}$ (168 článků po $1,2 \text{ V}$), které jsou uloženy vzadu pod podlahou a váží 39 kg . [2]



Obr. 8 Hlavní části hybridního pohonu Toyota THS II [2]

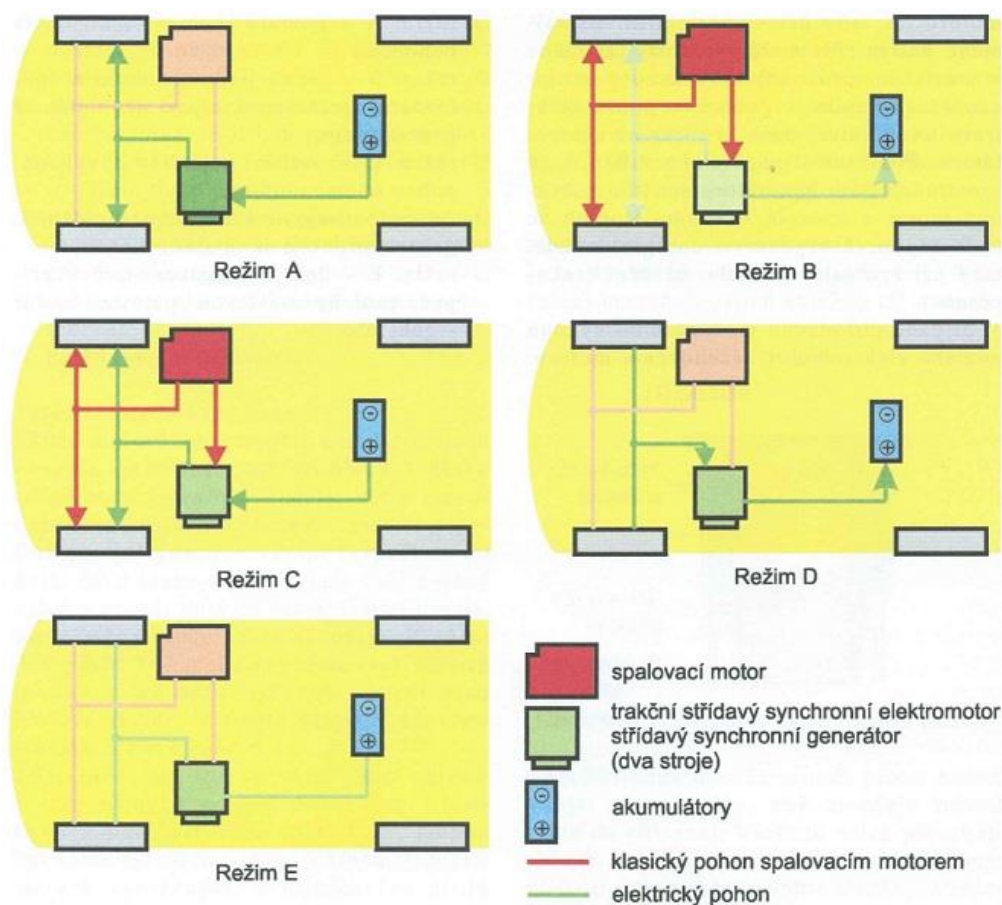
Rozhodující pro účinnost celého pohonu je elektronické řízení přenosu sil mezi mechanickými a elektronickými prvky. Při běžném provozu koordinuje elektronika zážehový i elektrický motor tak, aby vůz spotřebovával co nejméně paliva. Při nižších rychlostech je zážehový motor vypínán a vozidlo je poháněno pouze elektromotorem, který odebírá energii z akumulátorů. Při poklesu napětí v akumulátorech je zážehový motor opět spuštěn a energie v bateriích doplněna. K doplnění elektrické energie dochází také při zpomalování či brzdění rekuperací. V případě potřeby maximálního výkonu pomáhá elektromotor zážehovému motoru. [2]

Jízdní režimy systému THS II:

- Režim A – pomalá jízda s elektrickým pohonem
- Režim B – běžná jízda s pohonem spalovacího motoru, dobíjení akumulátorů generátorem
- Režim C – pohon oběma motory, potřeba nejvyššího výkonu
- Režim D – regenerace energie brzděním, generátor dobíjí akumulátory

⁹ Ni-MH akumulátor je druh galvanického článku, jinak taky nikl-metal hydridový akumulátor. [2]

- Režim E – dobíjení akumulátorů v případě potřeby soustavou spalovací motor – generátor



Obr. 9 Jízdní režimy systému THS II [2]

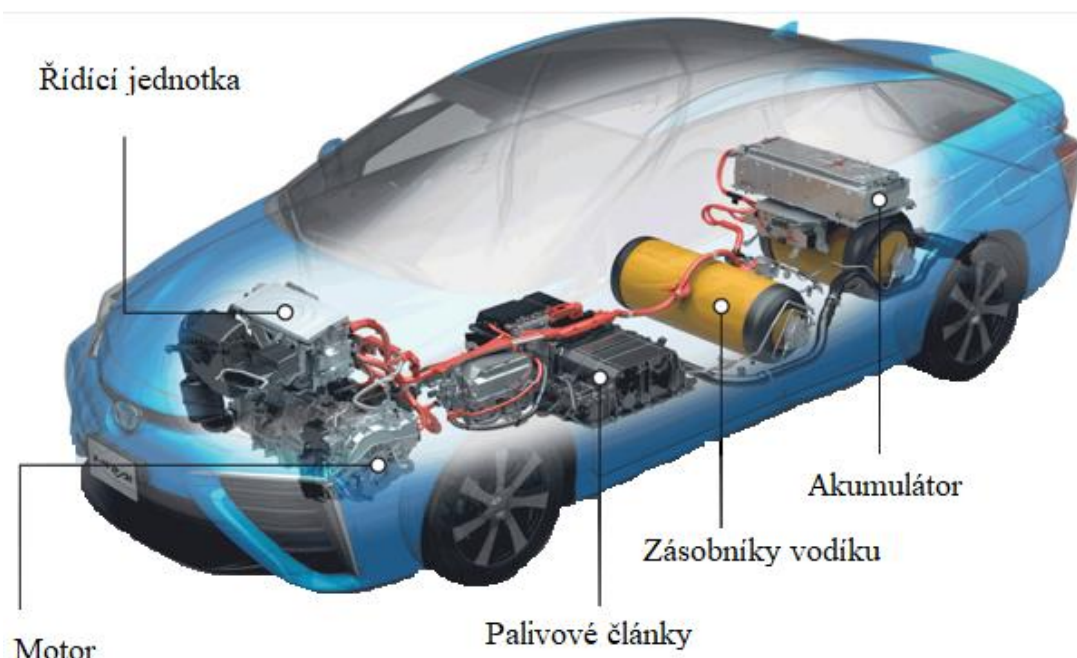
2.5 VODÍKOVÝ POHON

Auta na vodík si řidič v České republice nekoupí z důvodů chybějících vodíkových plnicích stanic. Jejich výstavba stojí okolo 25 milionů korun. Důvodem jsou například výkonná 700 barová čerpadla a systém chlazení, který je potřeba kvůli vysokému zahřívání při stlačování. Dalším problémem zůstává nedostatek čistého vodíku. Jeho výroba je možná dvěma základními způsoby, kdy první vychází z využití fosilních paliv, konkrétně zemního plynu. Jedná se o parní reformování, které se provádí v pecích za teplot 750–800 °C a tlaku 3–5 MPa v trubkách plněných katalyzátorem na bázi oxidu nikelnatého. Metan, hlavní složka zemního plynu, reaguje s vodní párou za vzniku čistého vodíku a oxidu uhličitého. [16] Jednou z nevýhod metody zůstává závislost na velkých dodavatelích zemního plynu, jako je například Rusko. Druhou možností výroby čistého vodíku je elektrolýza vody, kde je problémem vysoké množství potřebné elektrické energie. [17]

2.5.1 KONSTRUKCE VODÍKOVÉHO VOZIDLA TOYOTA MIRAI

Označení vodíku jakožto pohonné hmoty je zavádějící, jelikož vodík není spalován v motoru automobilu, ale je spotřebováván v palivových článcích. O pohon auta se stará elektromotor. V tomto případě se jedná o elektromotor o výkonu 114 kW a 335 Nm. Ten získává elektrickou energii právě z palivových článků, ve kterých chemickou reakcí z vodíku vzniká elektřina a vodní pára, která je jediným vedlejším produktem reakce. Dále je využit systém rekuperace

energie. [18] Mirai je opatřena dvěma nádržemi o celkovém objemu 122,4 litru, do kterých se vejde 5 kg vodíku pod tlakem 700 barů. Akumulátory konstrukce Ni-MH pochází z Toyota Camry. Při prudké akceleraci, kdy palivový článek nestíhá dostatečně rychle reagovat, dodává motoru energii právě akumulátor. Palivový článek generuje slabé napětí, proto se jich ve vozidle nachází celkově 370 a jsou vzájemně spojeny do série. [19]

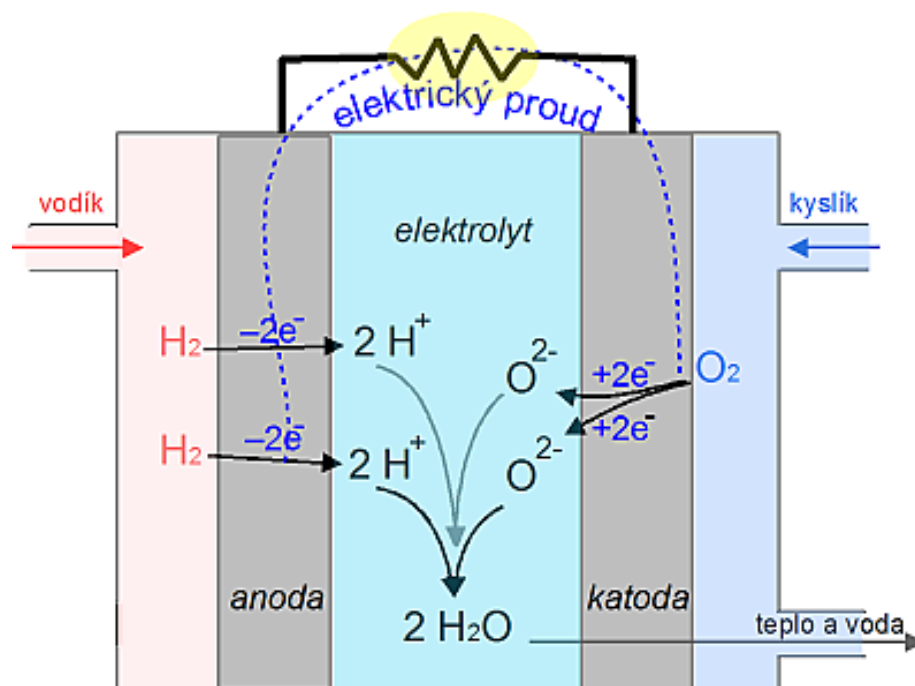


Obr. 10 schéma komponentů vozidla Toyota Mirai [20]

2.5.2 PALIVOVÝ ČLÁNEK

Palivový článek je zařízení sloužící k přeměně chemické energie na energii elektrickou. Pro svoji funkci potřebuje článek stálý přívod paliva, v našem případě vodíku, které reaguje se vzdušným kyslíkem. Každý palivový článek je tvořen třemi hlavními komponenty – katoda, anoda a membrána typu PEM¹⁰. K anodě článku je přiváděn vodík, který díky katalytické příměsi přítomné na povrchu anody (nejběžněji platina) disociuje na kationty (H^+) a elektrony. Membrána oddělující katodu od anody umožňuje průchod pouze kationtům, zatímco elektrony prochází odděleným elektrickým obvodem a jsou příčinou vzniku elektrického proudu. Na katodě se kyslík redukuje na aniont (O^{2-}), který se slučuje s kationtem vodíku za vzniku vody. [21]

¹⁰ Membrána typu PEM je polymerní elektrolytická membrána, která je schopná vést velké množství elektrického proudu na jednotku plochy. [21]



Obr. 11 Schéma kyslíko-vodíkového palivového článku [22]

2.6 DOPAD ALTERNATIVNÍCH POHONŮ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Elektromobil i auto na vodíkový pohon se mohou na první pohled zdát jako bezchybné ekologické řešení, jelikož nevypouštějí do ovzduší při jízdě žádné škodliviny. Tak jednoduché to bohužel není. Elektrina se musí nějak vyrábět, stejně tak jsou problémem například vysoké emise vzniklé při výrobě baterií. U automobilů na vodík je elektrina potřeba k elektrolýze vody a reformování zemního plynu, nemluvě o tom, že zemní plyn je sám o sobě fosilní palivo.

2.6.1 EKOLOGIČNOST ELEKTROMOBILŮ K ŽIVOTNÍMU PROSTŘEDÍ

Nejznámějším výrobcem elektrických aut v dnešní době je Tesla. Její Model S spotřebuje na 100 km průměrně 20,8 kWh. Efektivita nabíjení baterií ze sítě je přibližně 82,5 %. Na ujetí sta kilometrů je tedy potřeba dostat ze zásuvky 25,5 kWh. Započtou-li se i ztráty ve vedení energie, které jsou u nás relativně malé a činí 4,8 %, je snadné se dopočítat k tomu, že elektrárna v ČR musí vyrobit celkově 26,5 kWh. V důsledku velkého podílu uhelných elektráren na výrobě elektrické energie u nás jsou průměrné emise na 1 vyrobenou kWh přibližně 610 g CO_2 . Jednoduchým výpočtem se dá zjistit, že Tesla Model S v našich podmínkách vyprodukuje na každý ujetý kilometr 162 g CO_2 . Což jsou emise srovnatelné se zážehovým motorem majícím spotřebu 7,0 litru benzínu na 100 km. Dalším problémem jsou baterie. Články jsou plné těžkých kovů a jejich výroba je energeticky i emisně náročná, například kvůli těžbě lithia. [23]



Obr. 12 Elektromobil Tesla Model S vedle rychlodobíjecí stanice Tesla Supercharger [23]

2.6.2 EKOLOGIČNOST VOZIDEL NA VODÍK

Jak již bylo řečeno, vodík se dá vyrábět dvěma způsoby. Prvním z nich je elektrolyza vody. Elektrolyza za asistence elektřiny z evropské¹¹ rozvodné sítě nevychází nejlépe, výsledkem je pouze vysoká produkce emisí CO₂. Pro články je potřeba za pomoci elektřiny generovat vodík, který je tlakován do nádrží automobilu, aby z něj byla později opět vyrobena elektřina. Taková dvojí konverze se ukazuje jako neúčinná. K elektrolyze vody se v budoucnu budou dát použít rostoucí přebytky vyrobené elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Druhá metoda, tedy parní reformování, je založené na přetváření zemního plynu. Bohužel nedopadá o moc lépe, jedná se pouze o další použití fosilního paliva. [24]

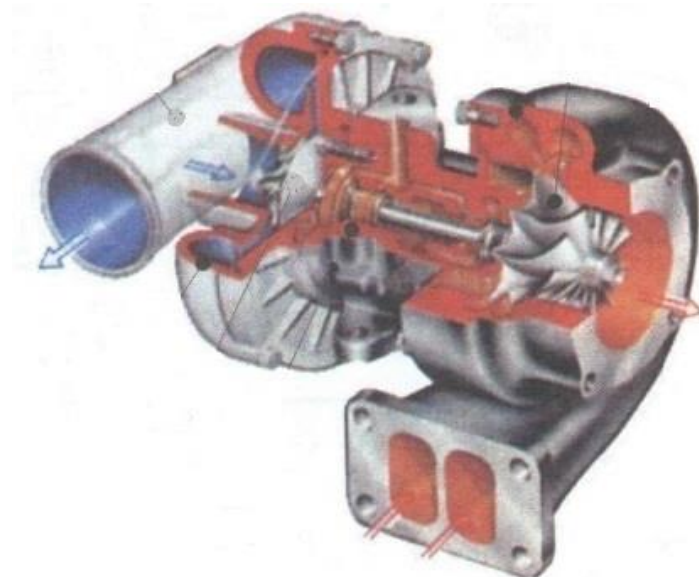
¹¹ Evropská rozvodná síť má v průměru nižší emise CO₂ na jednu vyrobenou kWh než Česká republika. [23]

3 METODY PŘEPLŇOVÁNÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ

Výkon spalovacího motoru závisí na množství paliva, které je přivedeno do motoru ke spálení. Výkon můžeme navýšit zvětšením zdvihového objemu motoru, zvýšením jeho otáček nebo zlepšením plnicí účinnosti motoru. Zvětšování zdvihového objemu vede ke zvětšení rozměrů motoru a k vyšší hmotnosti, dále není toto řešení efektivní z hlediska emisí. Na rozdíl od nepřepřňovaného (atmosférického) motoru, u kterého se vzduch nebo zápalná směs dopravuje do válce podtlakem pouze nasávacím účinkem pístu, je u přepřňovaného motoru válec plněn tlakem vyšším než atmosférickým. Přepřňováním se dostává do pracovního prostoru větší množství vzduchu, je tedy možné zvýšit i množství paliva dodávaného na jeden pracovní oběh. [2]

3.1 PŘEPLŇOVÁNÍ MOTORU TURBODMYCHADLEM

Vzduch je stlačen ještě před svým vstupem do válce. U motorů s turbodmychadlem je turbína poháněna výfukovými plyny. Turbína poté následně pohání dmychadlo, které nasává čerstvý vzduch a dopravuje ho s určitým přetlakem do válců motoru. Mezi dmychadlem a motorem je obvykle umístěn chladič stlačeného vzduchu tzv. mezichladič, který snižuje teplotu plnicího vzduchu. Díky ochlazení stlačeného vzduchu získáme vyšší plnicí účinnost motoru. [2]



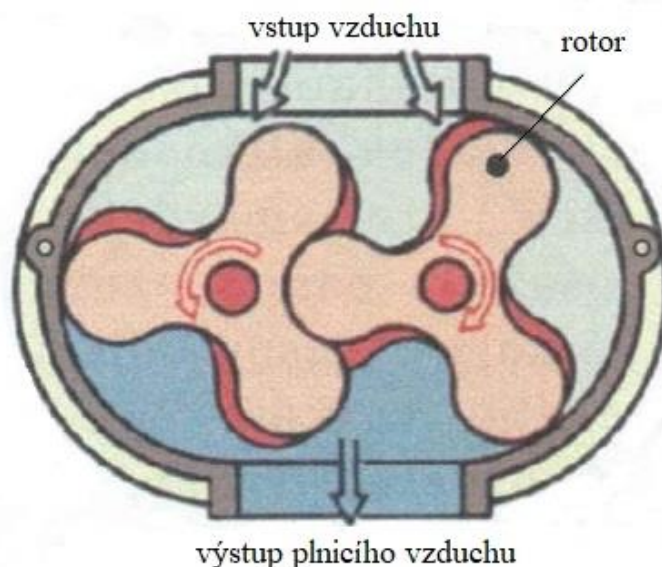
Obr. 13 Řez turbodmychadlem [2]

3.1.1 KONSTRUKCE TURBODMYCHADLA

Turbodmychadlo se skládá z lopatkového turbínového kola a lopatkového kola dmychadla. Obě tyto kola jsou uložena na společném hřídeli, mají tím pádem stejné otáčky. Rozsah otáček se pohybuje v rozmezí $50\,000\text{ min}^{-1}$ až $180\,000\text{ min}^{-1}$. Takto vysoké otáčky kladou značné nároky na přesnost výroby, jakost povrchu, mazání a správné vyvážení hřídele s oběma lopatkovými koly. Z tohoto důvodu bývá hřídel uložen v jehlových ložiskových nebo v plovoucích kluzných pouzdrech. Plovoucí kluzná ložiska se otáčejí v otvorech olejem mazané skříně ložisek ve stejném smyslu jako hřídel. Tímto způsobem se snižuje rozdíl otáček mezi hřídelem a kluznými ložisky. Turbínové kolo je nejčastěji vyrobeno z žáruvzdorné niklové slitiny, která je schopná vydržet i extrémní teploty výfukových plynů. [2]

3.2 PŘEPLŇOVÁNÍ MOTORU KOMPRESOREM

Mechanická dmyhadla, neboli jinak kompresory, jsou poháněna přímo motorem za pomoci mechanického převodu. [2] Otáčky kompresoru jsou proto přímo úměrné otáčkách motoru. Při spřažení dmyhadla s klikovou hřídelí motoru je množství dodávaného vzduchu závislé na otáčkách klikové hřídele. Oddělením dmyhadla od výfukové soustavy vozidla nedochází k nežádoucímu ohřívání nasávaného vzduchu od horkých spalín. Tím pádem neklesá hustota vzduchu, což by se negativně projevilo na složení směsi. [1]



Obr. 14 Schématický řez mechanicky poháněným dmyhadlem Roots [2]

3.2.1 KONSTRUKCE KOMPRESORU

Příkladem budiž Lysholmovo dmyhadlo, které je sice účinnější, zároveň ale také dražší než dmyhadlo Rootsovo. Lysholmův kompresor má hlavní rotor se širokým profilem zubů, které zapadají do mezer mezi zuby vedlejšího rotoru. Vedlejší rotor disponuje vyšším počtem zubů. Zuby obou rotorů jsou vinuty na rotorech ve šroubovici. Rotory se otáčejí ve společné skříni a jejich otáčení jsou, stejně jako u Rootsova dmyhadla, synchronizovány ozubeným soukolím. [2]

3.3 POROVNÁNÍ VÝHOD A NEVÝHOD TURBODMYHADLA A KOMPRESORU

V dnešní době se daleko více využívají turbodmyhadla a to z různých důvodů. Obě konstrukční řešení mají své výhody i nevýhody.

- Výhody turbodmyhadla: Turbodmyhadlo umožňuje snížit spotřebu paliva emise a ve výfukových plynech, což je v dnešní době největším důvodem jeho masivního užití u osobních automobilů. [2]
- Nevýhody turbodmyhadla: První nevýhodou je prodleva turbodmyhadla. Jedná se o časovou prodlevu mezi sešlápnutím plynu a akcelerací automobilu. Do turbodmyhadla proudí velké množství oleje, pokud řidič nenechá (hlavně po rychlé jízdě, kdy byl motor držen ve vysokých otáčkách) motor běžet ještě chvíli po dojetí, může se zahřátý olej, který se nestihl dostatečně ochladit, přepálit. V takovém případě se může ucpat přívod oleje a turbodmyhadlo může být závažně poškozeno.

- Výhody kompresoru: Lineární přírůstek výkonu a velký točivý moment již při nižších otáčkách motoru. Vzhledem k mechanické vazbě mezi dmychadlem a motorem není téměř znatelná prodleva reakce motoru po sešlápnutí plynového pedálu (podobně jako u atmosférického motoru). [2]
- Nevýhody kompresoru: Kompresor odebírá určitý výkon, který je potřebný pro samotný pohyb dmychadla a snižuje účinnost motoru. Proto se kompresory vždy využívaly primárně u motorů s vyšším zdvihovým objemem a výkonem. Kompresor také zabírá více místa v motorovém prostoru automobilu. V porovnání s turbodmychadlem není problémem ani tak spolehlivost kompresoru, jako spíš omezené možnosti oprav. Dále pak cena jejich cena a dostupnost náhradních dílů. [25]



Obr. 15 Lysholmovo mechanické dmychadlo [25]

4 DOWNSIZING MOTORŮ

Downsizing¹² je diskutované téma posledních let v oblasti automobilismu. Větší motory jsou nahrazovány menšími, díky čemuž alespoň na papíře dochází k úžasnému snižování spotřeby, o které se automobilky vždy snažily. Vedle tlaku zákazníků v poslední době roste i tlak politický. Podle nařízení Evropského parlamentu platícího od roku 2009 se zavedly pokuty za vysokou spotřebu vozidel. Cílem tohoto nařízení je snížit emise silniční dopravy. Počítá se průměr emisí CO₂ všech prodaných vozů jedné automobily. Když je tato hodnota vyšší než 130 g/km, musí automobilka zaplatit za každý g/km a prodaný automobil pokutu. Do roku 2020 je pokuta za první gram CO₂ při překročení limitu 5 EUR, za druhý gram 15 EUR, za třetí gram 25 EUR a za každý další gram je to již dokonce 95 EUR. Toto vše samozřejmě vynásobeno počtem prodaných vozidel. Emise CO₂ jsou přímo úměrné spotřebě a hranice 130 g/km odpovídá přibližné spotřebě 5,6 litru na 100 km u zážehových motorů, u vznětových motorů je to asi 4,8 litru na 100km. [26]

Aby výrobci automobilů plnili tuto normu, museli se uchýlit k řešení, kterým je v tomto případě přeplňování pohonných jednotek a zmenšování objemu motorů. Přeplňované zážehové motory se samozřejmě objevovaly i do této doby, většinou ale pouze jako jedna z mnoha nabízených motorizací. Při menším objemu má přeplňovaný motor podobný maximální výkon jako větší atmosférická jednotka. Disponuje také vyšším maximálním točivým momentem, který je dostupný už v nižších otáčkách a nižší spotřebou, minimálně tedy papírovou. Aktuální měření spotřeby menším přeplňovaným jednotkám svědčí a při normovaném testování dosahují lepších výsledků než motory atmosférické. Nepochybnou výhodou těchto motorů je právě vyšší množství točivého momentu, který se dostává řidiči již při nižších otáčkách, což usnadňuje jízdu v běžném provozu. Další odlišností oproti minulosti je počet nabízených motorizací automobilu. Dříve bylo u jednoho modelu nabízeno mnoho benzínových jednotek. Dnes se paleta nabízených motorů skládá klidně jen ze dvou motorů, které jsou naladěny do vícero výkonnostních verzí. [27]

4.1 SKUTEČNÉ SNÍŽENÍ SPOTŘEBY POMOCÍ DOWNSIZINGU

Otázkou, kterou si položí pravděpodobně každý motorista, zůstává, zda-li downsizing v reálných podmínkách skutečně funguje nebo jestli jeho přínos zůstává pouze na papíře. K získání těchto informací byla použita data o spotřebě zaznamenaná řidiči jezdícími v běžném provozu. Tato data samozřejmě nelze brát na setiny přesně, jelikož existuje mnoho neznámých. Těmi jsou například typ pneumatik, hmotnost vozidla, stav vozovky, styl jízdy řidiče a v neposlední řadě prostředí, ve kterém auto jezdilo. Pro naše porovnání atmosférických a přeplňovaných jednotek jsou ale data považována za dostatečně vypovídající. [27]

4.1.1 DOWNSIZING MALÝCH VOZŮ

U třídy malých vozů bylo vybráno 39 aut s atmosférickým motorem a 22 aut s přeplňovanou jednotkou. Motory byly rozděleny do několika výkonnostních tříd. Například skupina s průměrným výkonem 73 kW byla tvořena motory o výkonu 65 až 85 kW. To z důvodu navýšení statistického vzorku a tím pádem i průkaznosti testování.

¹² Downsizing je označení používané pro snížení objemu motoru a počtu válců s cílem dosažení nižší spotřeby a emisí.

Tab. 2 Porovnání spotřeby atmosférických a přeplňovaných jednotek u malých vozů [27]

Výkonnostní třída	Průměrné hodnoty motoru		Průměrná skutečná spotřeba	
	Atmosférický	Přeplňovaný turbem	Atmosférický	Přeplňovaný turbem
55–75 kW	1282 cm ³ /64 kW/122 Nm	1104 cm ³ /68 kW/161 Nm	6,40 l/100 km	6,40 l/100 km
65–85 kW	1397 cm ³ /73 kW/134 Nm	1102 cm ³ /73 kW/167 Nm	6,52 l/100 km	6,37 l/100 km
75–95 kW	1462 cm ³ /80 kW/141 Nm	1147 cm ³ /84 kW/188 Nm	6,83 l/100 km	6,53 l/100 km
85–105 kW	1559 cm ³ /91 kW/153 Nm	1191 cm ³ /91 kW/196 Nm	6,93 l/100 km	6,88 l/100 km

Z tabulky jde vidět, že atmosférické motory vykazují o něco vyšší spotřebu než jednotky přeplňované, i když rozdíl je velmi malý. Atmosférické motory mají při stejném výkonu asi o 20–25% nižší maximální točivý moment, což dává přeplňovaným jednotkám pocit silnějšího agregátu. Z tohoto důvodu jsou v další tabulce posunuty výkonnostní třídy motorů, dojde tím k pomyslnému vyrovnání sil motorů. Jsou tedy porovnávány atmosférické motory s vyšším výkonem, ale stále nižším krouticím momentem než mají přeplňované motory.

Tab. 3 Porovnání spotřeby atmosférických a přeplňovaných jednotek malých vozů při posunutí výkonnostních tříd [27]

Průměrné hodnoty motoru		Průměrná skutečná spotřeba	
Atmosférický	Přeplňovaný turbem	Atmosférický	Přeplňovaný turbem
1397 cm ³ /73 kW/134 Nm	1104 cm ³ /68 kW/161 Nm	6,52 l/100 km	6,40 l/100 km
1462 cm ³ /80 kW/141 Nm	1102 cm ³ /73 kW/167 Nm	6,83 l/100 km	6,37 l/100 km
1559 cm ³ /91 kW/153 Nm	1147 cm ³ /84 kW/188 Nm	6,93 l/100 km	6,53 l/100 km

Zde je již rozdíl ve spotřebě markantnější, atmosférické motory dosahují při srovnatelných dynamických vlastnostech motoru vyšší spotřeby.

4.1.2 DOWNSIZING VOZŮ STŘEDNÍ TŘÍDY

Trend zmenšování motorů je nejlépe vidět na automobilech vyšších tříd a větších rozměrů. Proto jsou pro další srovnání použity vozy střední¹³ třídy. V tomto segmentu atmosféricky

¹³ Typickými vozy střední třídy jsou například Škoda Superb, Volkswagen Passat či Mazda 6.

plněné vozy téměř vymizely. Z toho důvodu jsou v přehledu zahrnuty i vozy, které se v poslední době přestaly vyrábět, jedná se například o Suzuki Kizashi. [27]

Tab. 4 Porovnání spotřeby atmosférických a přeplňovaných jednotek u vozů střední třídy [27]

Výkonostní třída	Průměrné hodnoty motoru		Průměrná skutečná spotřeba	
	Atmosférický	Přeplňovaný turbem	Atmosférický	Přeplňovaný turbem
80–100kW	1599 cm ³ /98 kW/163 Nm	1497 cm ³ /97 kW/213 Nm	7,37 l/100 km	7,18 l/100 km
90–110kW	1758 cm ³ /103 kW/178 Nm	1463 cm ³ /104 kW/226 Nm	7,71 l/100 km	7,37 l/100 km
100–120kW	1915 cm ³ /109 kW/191 Nm	1514 cm ³ /110 kW/235 Nm	8,00 l/100 km	7,70 l/100 km
110–130kW	1994 cm ³ /116 kW/199 Nm	1541 cm ³ /116 kW/247 Nm	7,82 l/100 km	7,85 l/100 km
120–140kW	2130 cm ³ /128 kW/218 Nm	1793 cm ³ /132 kW/279 Nm	8,33 l/100 km	8,21 l/100 km
130–160kW	2309 cm ³ /138 kW/234 Nm	1877 cm ³ /137 kW/239 Nm	8,83 l/100 km	8,33 l/100 km

Z tabulky lze vidět, že při stejném výkonu mají přeplňované jednotky o více než 25 % vyšší maximální krouticí moment než motory atmosférické, rozdíly ve spotřebě jsou ale minimální. Je potřeba vzít opět v potaz, že stejně výkonný atmosférický motor za jednotkou přeplňovanou z pohledu dynamiku zaostává z důvodů výrazně nižšího točivého momentu. V další tabulce jsou tedy výkonostní třídy posunuty a atmosféry nově nabízí průměrně o 13 % vyšší výkon než turbodmychadlem plněné motory, které ale stále disponují vyšším točivým momentem.

Tab. 5 Porovnání spotřeby atmosférických a přeplňovaných jednotek vozů střední třídy při posunutí výkonostních tříd [27]

Průměrné hodnoty motoru		Průměrná skutečná spotřeba	
Atmosférický	Přeplňovaný turbem	Atmosférický	Přeplňovaný turbem
1915 cm ³ /109 kW/191 Nm	1497 cm ³ /97 kW/213 Nm	8,00 l/100 km	7,18 l/100 km
1994 cm ³ /116 kW/199 Nm	1463 cm ³ /104 kW/226 Nm	7,82 l/100 km	7,37 l/100 km
2130 cm ³ /128 kW/218 Nm	1514 cm ³ /110 kW/235 Nm	8,33 l/100 km	7,70 l/100 km
2309 cm ³ /138 kW/234 Nm	1541 cm ³ /116 kW/247 Nm	8,83 l/100 km	7,85 l/100 km

Takto rozdělené třídy motorů se dají považovat za srovnatelné, poprvé také lze pozorovat větší rozdíl ve spotřebě obou konstrukcí motoru. Rozdíly se pohybují mezi 5 decilitry až jedním litrem paliva, což vytváří až 10% rozdíl, který se již dá považovat za rozumnou úsporu paliva. [27]



Obr. 16 Škoda Fabia¹⁴ [27]

¹⁴ Fabia je druhý nejmenší model automobilky Škoda. Jedná se o typický příklad downsizingu, aktuálně ji lze objednat pouze s tříválcovými motory.

5 PALIVOVÝ SYSTÉM

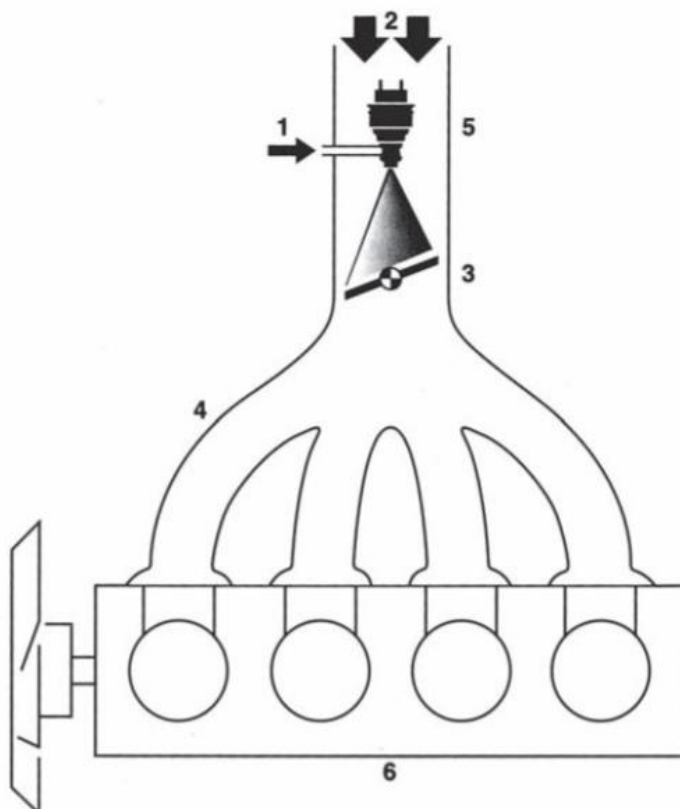
V dnešní době se již pro přípravu zápalné směsi u zážehových motorů nepoužívají karburátory, nýbrž vstřikovací systémy. Ty umožňují přesnější regulaci složení směsi vzduchu a paliva. Přesnější regulace přispívá ke snížení spotřeby, zvýšení výkonu, lepšímu průběhu točivého momentu a v neposlední řadě k nižší produkci škodlivých emisí, které mohou být dále snižovány například katalyzátorem výfukových plynů. [28]

Vstřikovací systémy rozdělujeme na:

- Nepřímé – směs putuje do sacího potrubí, nejčastěji těsně před sací ventil
- Přímé – směs je vstřikována přímo do válce motoru
- Kombinované – při nízkém zatížení motoru vstřikování před sací ventil, při vyšším až plném zatížení vstřik přímo do válce

5.1 NEPŘÍMÉ VSTŘIKOVÁNÍ BENZÍNU

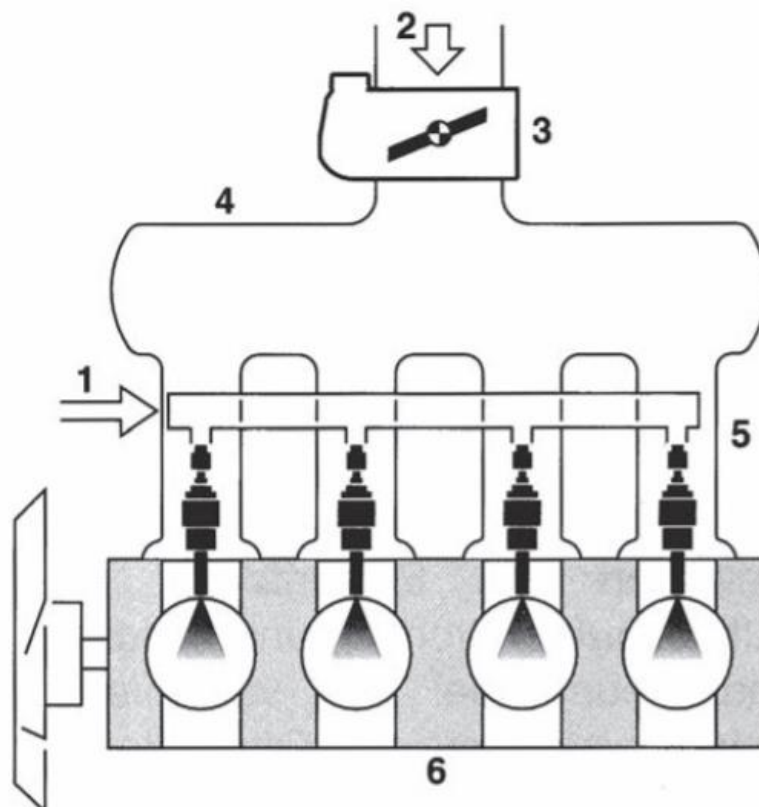
U nepřímého vstřikování je palivo vstřikováno do oblasti sacího traktu a je smíšeno se vzduchem ještě před vstupem do válců motoru. Nepřímé vstřikování se rozděluje na jednobodové vstřikování, pro které je použita zkratka SPI, a na vstřikování vícebodové, které je označeno zkratkou MPI. U jednobodového systému je palivo vstřikováno jedním ventilem do společné části sacího potrubí, konkrétně do míst před škrticí klapkou. U vícebodového systému odpovídá počet vstřikovacích ventilů počtu válců motoru. [29]



Obr. 17 Centrální (jednobodové) vstřikování benzínu do sacího potrubí: 1 – palivo; 2 – vzduch; 3 – škrticí klapka; 4 – sací potrubí; 5 – vstřikovací ventil; 6 – motor [30]

5.2 PŘÍMÉ VSTŘIKOVÁNÍ BENZÍNU

Při použití tohoto systému je palivo vstřikováno přímo do spalovacího prostoru v průběhu sání a komprese. Během této fáze musí dojít k jemnému rozprašení, smísení se vzduchem a odpaření ještě před vznícením paliva od jiskry zapalovací svíčky. Ke zvýšenému zájmu o přímé vstřikování paliva došlo na přelomu tisíciletí a to hlavně z důvodů nižší spotřeby paliva a snížení emisí. Přímé vstřikování vyžaduje k činnosti vysokotlaká vstřikovací čerpadla, která pracující s daleko vyššími tlaky, než je tomu u systému nepřímého vstřikování. Díky přímému vstřikování je možné zvýšit kompresní poměr, tím pádem roste tepelná účinnost pístového stroje. [28]



Obr. 18 Přímé vstřikování benzínu: 1 – palivo; 2 – vzduch; 3 – škrticí klapka; 4 – sací potrubí; 5 – vstřikovací ventily; 6 – motor [30]

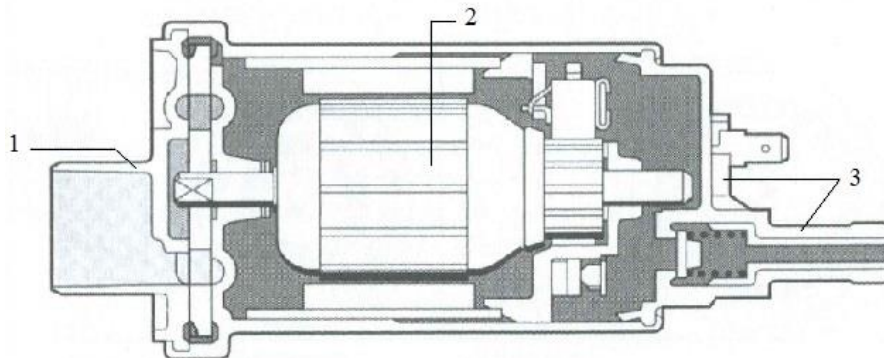
5.3 KOMPONENTY SYSTÉMU PŘÍMÉHO VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA

U systému přímého vstřikování paliva bývá palivový systém rozdělen na dvě části – nízkotlakou a vysokotlakou. Části nízkotlakého obvodu se nacházejí převážně v palivové nádrži. Palivové čerpadlo s pomocí mechanického regulátoru tlaku paliva stlačuje palivo a dopravuje ho k pístovému palivovému čerpadlu. Ve vysokotlaké části je palivo pomocí vysokotlakého čerpadla dodáváno do spalovacího prostoru, dále je zajištěn provoz výhradně na benzin (zabránění smíchání s motorovým olejem). [30]

5.3.1 PALIVOVÉ ČERPADLO

Palivové čerpadlo je společně s regulátorem tlaku paliva nejčastěji umístěno do nádrže. K správnému dávkování paliva musí být zajištěn v okruhu potřebný tlak. Proto je palivo čerpáno z nádrže čerpadlem, které je poháněno elektromotorem. Není tedy závislé na chodu motoru. Novější provedení vstřikovacích soustav většinou používají dvoustupňové čerpadlo. To

má vyšší účinnost, takže ztrátové teplo elektromotoru je nižší a méně ohřívá palivo v nádrži. V palivovém potrubí za čerpadlem je vložen palivový filtr. Úkolem filtru je zachytit nečistoty v palivu, které mohou negativně ovlivnit správné fungování vstřikovacích trysek a regulátoru tlaku paliva. [1]



Obr. 19 Palivové čerpadlo: 1 – sání paliva; 2 – rotor; 3 – výstupní část čerpadla [1]

5.3.2 VYSOKOTLAKÉ ČERPADLO

U soustavy vysokotlakého přímého vstřikování je použito čerpadlo poháněné od klikové nebo vačkové hřídele. Čerpadlo vytváří vysoký tlak posouváním pístů, které se posouvají ve válcích čerpadla. Vysoký tlak paliva je potřebný ke správné funkci přímého vstřikování. U axiálního čerpadla talíř tlačí na píst proti síle vratné pružiny. Během otáčky hřídele proběhne jak nasátí paliva do válce, tak jeho stlačení a přenos k regulátoru tlaku. V čerpadle je použito více článků píst-válec, aby se tlak dodávaného paliva při posouvání pístu příliš neměnil. [1]

5.3.3 ZÁSOBNÍK PALIVA

Zásobník musí být dostatečně pružný, aby byl schopen utlumit jak tlakové pulzace vznikající při periodických odběrech paliva, tak i vlastní pulzace proudu paliva ve vysokotlakém čerpadle. Druhou vlastností, kterou musí rozdělovač splňovat, je tuhost. Ta je potřeba k dostatečně rychlému přizpůsobení požadavkům motoru. Zásobník má tvar potrubí s otvory pro připojení vstřikovacích ventilů, vysokotlakého čerpadla a příslušných snímačů. [30]

5.3.4 SENZOR TLAKU PALIVA

Jeho úkolem je měřit tlak paliva v zásobníku, výsledky jsou odesílány do řídicí jednotky. Nejčastěji je používáno provedení s ocelovou membránou. [30]

5.3.5 TLAKOVÝ ŘÍDICÍ VENTIL

Úkolem řídicího ventilu je vytvořit v celkovém provozním rozsahu motoru předepsané hodnoty tlaku v datovém poli charakteristik. Ventil je aktivován signálem z řídicí jednotky, v důsledku toho dojde k vytvoření magnetického pole v cívce, což má za následek otevření kulíčkového ventilu. [30]

5.3.6 VSTŘIKOVACÍ VENTIL

Vstřikovací ventily jsou u přímého vstřikování benzínu připojené přímo na zásobník paliva. Musí splňovat vysoké požadavky s ohledem na krátké doby vstřiku, na velký význam výpočtu tvaru vstřikovacího paprsku. Prostřednictvím řídicího signálu pro vstřikovací ventil je současně určen počátek vstřiku a množství vstřikovaného paliva. [30]

5.4 PŘÍKLADY MODERNÍCH PALIVOVÝCH SYSTÉMŮ

Systémy přímého vstřikování paliva dnes disponují všechny automobily, zde je několik příkladů konkrétních systémů.

5.4.1 MOTORY TSI

Zkratka TSI označuje přeplňované benzinové motory s technologií přímého vstřikování paliva. Jedná se o modelovou řadu využívanou prakticky celým koncernem Volkswagen. Motory TSI se objevují v nejrůznějších objemových variantách, různé motory avšak disponují odlišnou technikou a i značení se mezi značkami koncernu liší. Například automobilka Audi označuje tyto motory zkratkou TFSI. Prvním motorem nesoucí označení TSI byl motor 1.4 TSI. Ten byl představen v 5. generaci Volkswagenu Golf v roce 2005. Zajímavostí tohoto motoru je především využití dvojitého přeplňování. Motor je přeplňován turbodmychadlem i Rootsovým mechanickým kompresorem. [8]

5.4.2 MOTORY DIT

Zkratka DIT označuje zážehové agregáty automobilky Subaru, které se vyznačují konstrukcí motoru boxer¹⁵. Přeplňovaný motor DIT existuje ve variantách 1.6 a 2.0 litru, ve verzi 1.6 litru lze u nás tento motor pořídit například v modelu Levorg. V obou objemových verzích se jedná o čtyřválec s přímým vstřikováním paliva, který zajišťuje vyšší výkon a nižší spotřebu paliva, než tomu bylo u předchozích jednotek. [31]



Obr. 20 Subaru Levorg se zážehovou jednotkou o objemu 1,6 litru využívající technologii DIT. [31]

5.4.3 MOTORY FSI

U přímého vstřikování FSI odpadá technologie škrtecí klapky. Motor není škrcen a snižují se tepelné ztráty, což přináší lepší hospodárnost a vyšší výkon. Systém využívá dva režimy práce. Při částečném zatížení motoru jde o spalování vrstvené směsi, u plného zatížení je to spalování směsi homogenní. Při částečném zatížení se vytváří směs, která je schopná zapálení pouze v úzké oblasti okolo zapalovací svíčky. Elektronika motoru zjistí stav zatížení agregátu a pomocí systému vstřikování řídí tlak vstřiku, okamžik vstřiku a vstřikované množství. Při

¹⁵ Konstrukční řešení pohonných jednotek nazývané boxer je označení pro motory s protiběžnými písty. Je to řešení typické pro značku Subaru a sportovní modely Porsche. Například model 911 či Cayman.

plném zatížení je u motorů FSI umožněno zvýšení kompresního poměru, čímž se zvýší účinnost jednotky. Jednou z nevýhod motorů s přímým vstřikováním je vyšší náchylnost na oktanové číslo benzínu. Motory mají proto čidla klepání¹⁶, která mají za úkol klepání předejít. [32]



Obr. 21 Motor Audi 4.2 FSI V8 [33]

¹⁶ Klepání motoru je nechtěné detonační spalování. [32]

6 ZAŘÍZENÍ A SYSTÉMY SNIŽUJÍCÍ EMISE AUTOMOBILŮ

6.1 KATALYZÁTOR

Prvotním úkolem katalyzátoru je snížení emisí výfukových plynů, které vznikají nedokonalým spalovacím procesem. Katalyzátor díky chemickým reakcím přeměňuje škodlivé látky na vodní páry, dusík, oxid uhličitý, a další méně nebezpečné látky. Bez použití katalyzátoru produkuje zahřátý, dobře technicky udržovaný, zážehový motor okolo 1 % škodlivých emisí z celkového množství všech produkovaných výfukových plynů (z toho přibližně 0,8 % CO, 0,1 % NO_x, 0,1 % HC). V současné době jsou katalyzátory schopny odstranit až 97 % uhlovodíků, 96 % oxidu uhelnatého a 90 % oxidů dusíku. [28]

Katalyzátor obsahuje vzácné kovy, které jsou naneseny na reakční plochy nosiče. Pro oxidační část se používají směsi platiny a pro redukční část je využito směsi rhodia. Množství použitých ušlechtilých kovů činí přibližně 2 až 3 gramy na jeden katalyzátor. Správné fungování katalyzátoru vyžaduje použití bezolovnatého benzínu, jelikož olovo ničí katalytické schopnosti ušlechtilých kovů. Reagující látky se v katalyzátoru hromadí na povrchu katalyticky aktivních kovů, což umožňuje jejich chemické reakce. Platina s rhodiem nejprve štěpí oxidy dusíku na samotný dusík a kyslík, potom začíná platina s paládiem spojovat kyslík s oxidem uhelnatým a uhlovodíky, výsledkem je oxid uhličitý a voda. K správnému fungování katalyzátoru je zapotřebí teplota alespoň 300 °C, tím pádem nemůže být katalyzátor při studených startech hned účinný. [34] Tento problém se řeší přidáním menšího předkatalyzátoru, který je umístěn blíže motoru, a tím pádem se mnohem dříve dostává na provozní teplotu. Katalyzátor, jinak katalytický konvertor výfukových plynů, je složen z nerezového plechového obalu a tělesa (monolitu, nosiče) obsahujícího aktivní katalytickou vrstvu. Jsou používány dva základní druhy nosičů: keramické monolity a kovové monolity. [28]

6.1.1 KERAMICKÉ NOSIČE

Keramické monolity představují tělesa vyrobená z keramiky, která jsou protažena tisíci drobnými kanály, kterými proudí výfukové plyny. Keramika je vyrobena ze směsi hořčíku a hliníku, která velmi dobře odolává vysokým teplotám. Monolit, který je velmi citlivý na mechanické namáhání, je uložen v plechovém těle. Mezi plechovým obalem a vlastním tělem se nachází kovová vložka, která je vyrobena z vysoce legovaných ocelových drátů. Aby došlo k utlumení všech negativních vlivů na křehký monolit katalyzátoru, musí být tato vložka silně elastická. [28]

Výhodou těchto katalyzátorů je jejich nižší cena, jsou však velmi náchylné jak na mechanické poškození (například úder cizího tělesa během jízdy na vozovce), tak i na poškození chemické, zejména při špatně seřazeném motoru. Keramické nosiče se dále nehodí pro vozy na alternativní pohon, ani do motorů naftových. [28]

6.1.2 KOVOVÉ NOSIČE

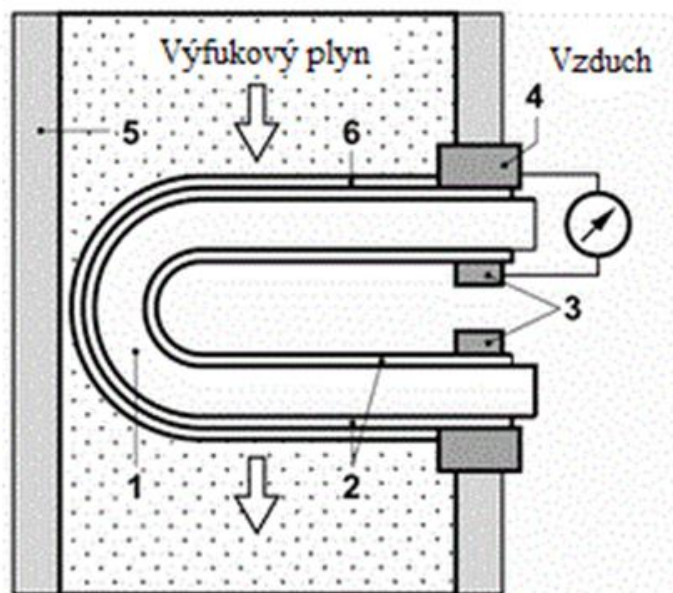
Kovové nosiče byly dosud používány zřídka. Jsou montovány před hlavní katalyzátor velmi blízko motoru, díky tomu se rychle ohřejí na provozní teplotu. Stejně jako keramické monolity jsou i ty kovové potaženy nosnou vrstvou oxidu hliníku, která zvětšuje účinnou plochu katalyzátoru, na kterou je dále nanesena katalyticky účinná vrstva z ušlechtilých kovů. [28]

6.1.3 TŘÍCESTNÝ KATALYZÁTOR

U dnešních zážehových aut je využíván konkrétně třícestný katalyzátor, který dokáže redukovat emise tří škodlivých složek výfukových plynů – CO, HC, NO_x. Optimální pracovním oknem třícestného katalyzátoru je rozmezí teplot 400 až 800 °C, při vyšších teplotách se snižuje jeho životnost, kdy při teplotě nad 1000 °C již dochází k trvalému poškození. Při běžném provozu je předpokládaná životnost katalyzátoru včetně lambda sondy minimálně 150 000 km. [28]

6.2 LAMBDA SONDA

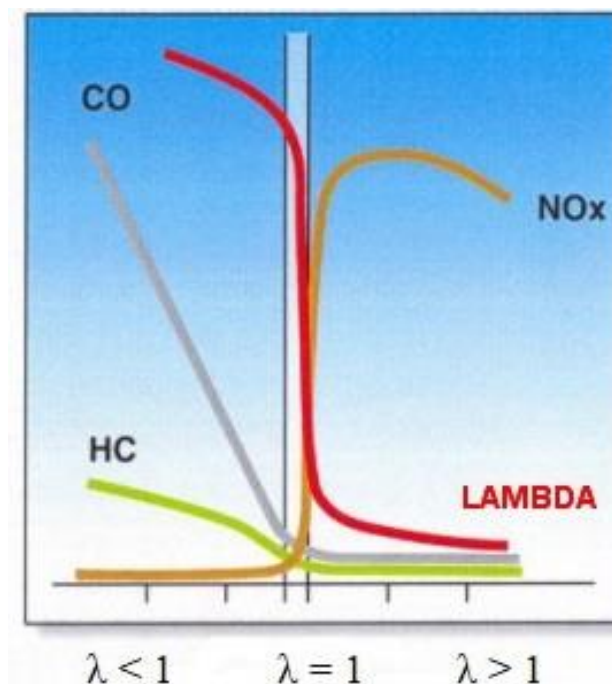
Lambda sonda je nedílnou součástí pro správnou funkci katalyzátoru a je využívána pro měření zbytkového obsahu kyslíku ve výfukových plynech. Lambda sonda se skládá z keramického tělíska složeného z dioxidu zirkonia (ZrO₂), pevné plochy jsou oboustranně opatřeny elektrodami z tenké platinové vrstvy, která propouští vzduch. Přídavně se na straně výfukových plynů vyskytuje keramická vrstva, která slouží jako ochrana proti nečistotám. Kovová trubice chrání keramické tělísko proti teplotním šokům a případnému mechanickému poškození. [35]



Obr. 22 Schéma lambda sondy: 1 – aktivní keramika senzoru; 2 – elektrody; 3 – kontakty; 4 – kontakt spojený s krytem senzoru; 5 – výfukové potrubí; 6 – ochranná porézní keramika [36]

Pro správné fungování třícestného katalyzátoru je nutné, aby motor spaloval ideálně stechiometrickou¹⁷ směs paliva. Pouze při tomto koeficientu pracuje katalyzátor správně. Hlavním úkolem lambda sondy je tedy udržet poměr paliva a směsi v ideálním poměru. Lambda sonda tedy řídící jednotce předává informace o tom, zda je spalovaná směs chudá (vyšší množství vzduchu v poměru, $\lambda > 1$) nebo bohatá (nižší množství vzduchu v poměru, $\lambda < 1$). Je-li směs příliš chudá, dochází k prodloužení doby stříku, naopak je-li směs příliš bohatá, doba vstříku se zkracuje. [37]

¹⁷ Stechiometrická směs je ideální poměr paliva a vzduchu pro zážehové motory. Jedná se o 14,7 kg vzduchu na 1 kg paliva. Směs je značena jako $\lambda=1$. [37]

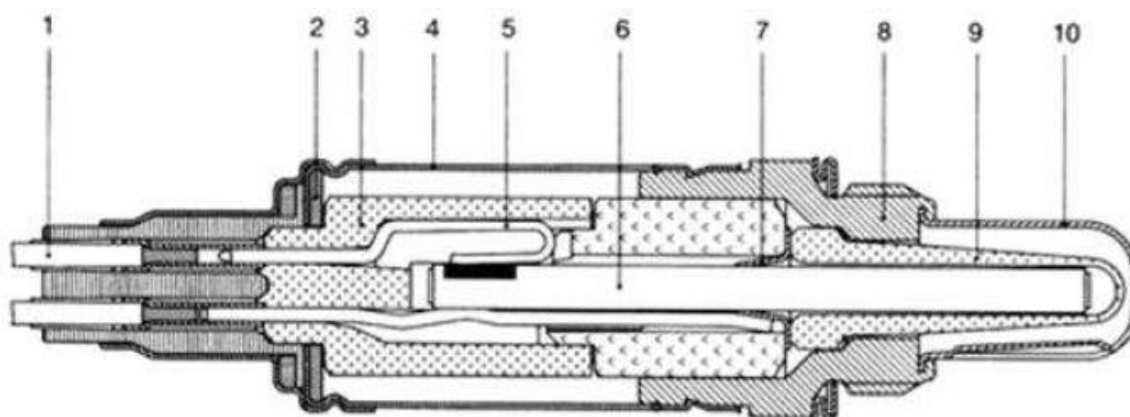


Obr. 23 Množství výfukových plynů za přítomnosti katalyzátoru a lambda sondy v závislosti na λ [38]

V bohatší směsi ($\lambda < 1$) se palivo spálí pouze částečně a množství uhlovodíků a oxidu uhelnatého ve výfukových plynech se zvyšuje. Naopak v chudé směsi ($\lambda > 1$) je palivo beze-zbytku spáleno a přebývá kyslík, díky čemuž se zvyšují emise NO_x . [38]

6.2.1 VYHŘÍVANÁ LAMBDA SONDA

Vyhřívaná lambda sonda je umístěna dále od motoru, a tím pádem je méně zatěžována při plném výkonu pohonné jednotky. Zabudované topné tělísko přispívá k rychlému zahřátí na provozní teplotu, tudíž už 20–30 sekund po nastartování motoru může být zahájena regulace. Vyhřívaná sonda má stále ideální provozní teplotu, a proto dosahuje stabilně nízkých hodnot emisí výfukových plynů. [35]

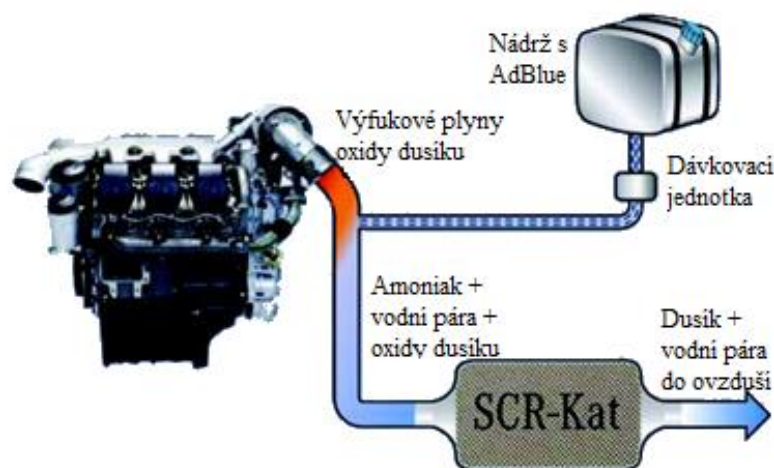


Obr. 24 Schéma vyhřívané lambda sondy s popisem: 1 – přípojný kabel; 2 – talířová pružina; 3 – keramická opěrná trubice; 4 – ochranné pouzdro; 5 – svorka pro připojení topného; 6 – topný prvek, 7 – kontakt; 8 – pouzdro sondy; 9 – aktivní keramika sondy; 10 – ochranná trubice prvku [35]

6.3 SYSTÉM SCR

V dnešní době často zmiňovaný systém SCR (selektivní katalytické redukce) se prozatím u zážehových motorů nevyužívá. K redukci emisí oxidů dusíku u benzinového motoru stačí kombinace recirkulace spalin s třícestným katalyzátorem a lambda sondou. Naopak u vznětových motorů se s nástupem emisní normy EURO VI, která snížila povolené množství emisí NO_x z 0,180 g/km na 0,080 g/km, začal hojně využívat. [39]

Jak již bylo nastíněno, hlavním úkolem systému SCR je snížit emise NO_x . Jedná se vlastně o katalytickou redukci s využitím AdBlue. SCR funguje na principu vstřikování aditiva AdBlue do výfukového potrubí, kde se močovina smíchá s plyny z filtru pevných částic. Jejich teplo mění AdBlue na čpavek, který začíná reagovat s oxidy dusíku. NO_x se potom rozkládá na vodní páry a neškodný dusík. Podobně jako u katalyzátoru dochází ke správnému fungování systému až u zahřátého motoru. [40]



Obr. 25 Princip fungování systému SRC [41]

6.4 SYSTÉM EGR

Systém EGR (exhaust gas recirculation), česky systém recirkulace spalin, je součástí, jejíž úkolem je regulovat množství výfukových plynů vedených zpátky do sacího potrubí. Zpětné vedení výfukových plynů do sání se provádí za účelem snížení emisí výfukových plynů. EGR zavírá a otevírá propojení výfukového a sacího potrubí. Při otevřeném EGR ventilu se do sacího potrubí díky podtlaku dostává určité množství výfukových plynů, které se tu mísí s nově přichozím vzduchem. Výsledná směs má díky tomu nižší obsah kyslíku než nově přichodí vzduch, čímž dochází ke snížení teploty hoření. Právě díky nižším teplotám hoření se dosahuje nižších emisí NO_x . Hlavní výhodou systému jsou tedy nižší emise oxidů dusíku. Systém bohužel obsahuje i jistá negativa, mezi něž patří například snížení výkonu motoru. Přimícháním výfukových plynů se nachází ve směsi menší množství kyslíku, což má za následek nižší množství spáleného paliva a tím pádem i nižší mechanickou práci a výkon. Další negativní skutečností je fakt, že pevné částice ze spalin zanášejí sací potrubí. Vrstva usazeného karbonu narůstá, v extrémních případech může být silná až několik milimetrů, což má za následek výrazné omezení objemu nasávaného vzduchu. Systém EGR se na rozdíl od systému SCR objevuje u automobilů vznětových i zážehových. U benzinových motorů je zpětně nasáváno 10–20 % z celkového objemu nasávané směsi. Při poruše EGR může motor při sešlápnutí plyno-

vého pedálu začít škubat, dále se z automobilu nadměrně kouří důsledkem příliš nízkého množství nasávaného vzduchu. [42]

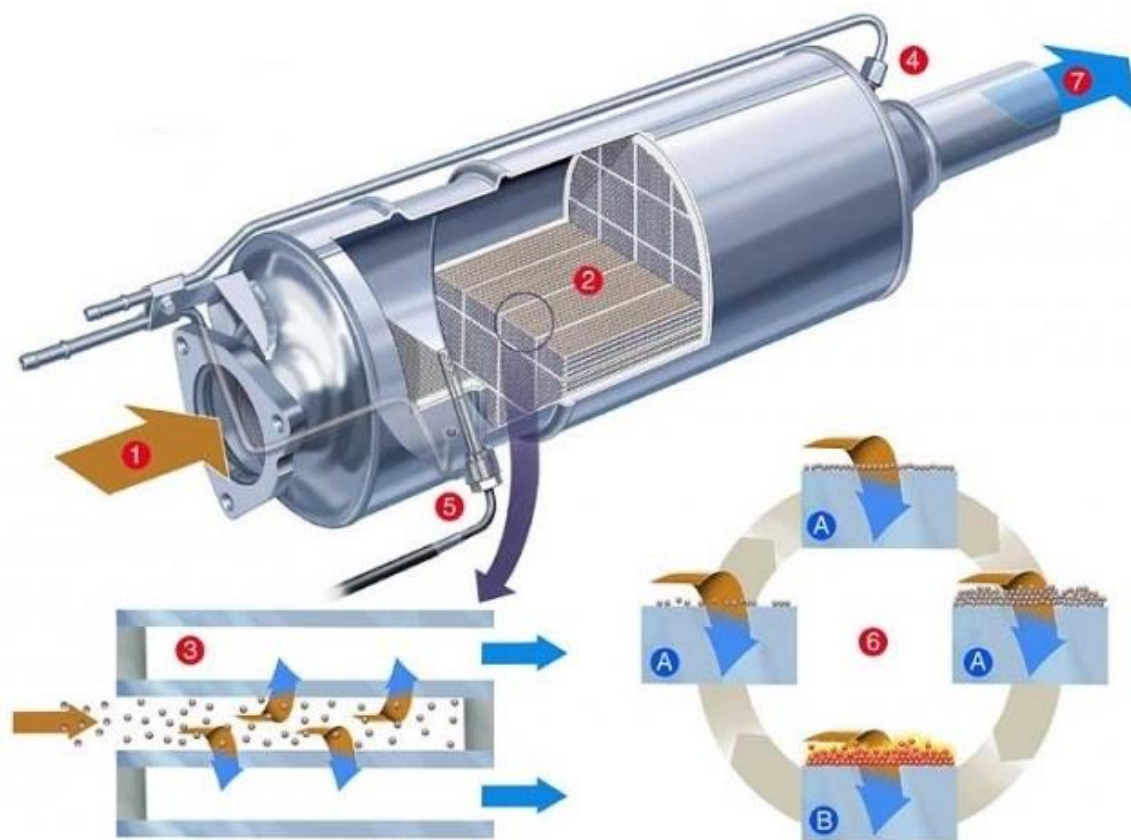


Obr. 26 Zanešený a čistý EGR ventil [42]

6.5 FILTR PEVNÝCH ČÁSTIC (GPF)

Filtr pevných částic byl až donedávna něco, co se týkalo pouze automobilů se vznětovým motorem. U těch se systém začal povinně využívat již od roku 2009 s příchodem normy EURO V. Nově homologovaná vozidla se zážehovým motorem dohnala povinnost použití filtru pevných částic v září 2017, pro dříve homologovaná vozidla bude tato povinnost platit od září 2018. U naftových motorů se pro filtr pevných částic využívá zkratka DPF (Diesel Particulate Filter), u benzinových motorů je využita zkratka GPF (Gasoline Particulate Filter). Emise pevných částic nejsou problémem pouze vznětových motorů, zážehové motory s přímým vstřikováním paliva sice přinášejí úsporu paliva, současně ale dochází k nedokonalému promísení paliva se vzduchem. Jiskrou je tedy zapalována nehomogenní směs, navíc za vyššího tlaku, což vede k vyššímu množství vzniklých pevných částic při spalování. Dále platí, že čím vyšší vstřikovací tlaky, tím menší pevné částice vznikají, kdy právě tyto malé pevné částice jsou pro lidský organismus nebezpečné. Katalyzátory nemají vliv na množství pevných částic, snížit jejich množství dokáže právě filtr pevných částic. [43]

Filtr pevných částic je tvořen keramickým tělesem se strukturou tvořenou z karbidu křemíku. Těleso je uloženo v kovovém plášti. Výfukové plyny procházejí tělesem filtru skrze pórovitou stěnu, ve které se pevné částice zachycují. Princip fungování filtru pevných částic je tedy velmi jednoduchý, existují ale skutečnosti, které jeho využití limitují. Nejdůležitějším faktorem pro správné fungování filtru pevných částic je pravidelná regenerace, která značně zvyšuje jeho životnost. Při provozu dochází k zanesení keramického tělesa uhlíkem, což značně snižuje účinnost filtru, proto je nutné filtr pravidelně vypálit. Regenerace filtru neovlivňuje projev motoru. Vlastní proces spalování pevných částic se děje při teplotách nad 600 °C. Negativem filtru pevných částic je jeho finančně náročná výměna, i když jeho životnost se s pokročilým vývojem značně prodloužila. Životnosti filtru jsou různé, závisí primárně na způsobu využívání automobilu. První filtry pevných částic se začaly montovat v roce 2000 do nové generace motorů HDi automobilek Citroën a Peugeot. [44]



Obr. 27 Bezúdržbový regenerovatelný systém filtru pevných částic: 1 – předčištěné výfukové plyny; 2 – příčný řez tělesem filtru; 3 – funkce filtračních elementů; 4 – senzory tlaku; 5 – teplotní čidlo; 6 – filtrační cyklus; A – filtrační fáze; B – regenerační fáze [45]

ZÁVĚR

Benzínové automobily, které jsou sériově vyráběny již déle než století, se v poslední době razantně mění. Bohužel se pomalu loučíme s atmosféricky plněnými jednotkami, které zůstávají v portfoliu několika posledních automobilek. Z německé „velké trojky“ Audi, BMW a Mercedes-Benz nabízí v některém ze svých modelů atmosférický motor již pouze Audi. A to pouze v supersportovním modelu R8, který využívá motor 5.2 FSI V10 původně z dílen dceřiné značky Lamborghini. Masivní úbytek atmosférických motorů lze nejlépe demonstrovat na značce BMW, která se v minulosti proslavila skvělými zážehovými atmosférickými motory. Šlo primárně o řadové šestiválce, které si našly cestu nejen do sportovně laděných modelů automobilky. Ještě 15 let zpátky byl v portfoliu značky BMW přeplňovaný zážehový motor spíše výjimkou. Dnes již v nabídce značky jiný motor než přeplňovaný nenajdeme. A to ani u sportovně laděných modelů divize M.

Je zkrátka doba přeplňování. Z porovnání hodnot spotřeb atmosférických a přeplňovaných jednotek lze vyčíslit, že downsizing motorů spotřebu skutečně snižuje. I když asi ne v takové míře, v jakou řidiči i ekologové doufali. Výsledné hodnoty nejsou nikterak zásadní. Přeplňované motory mají sice skutečně o něco nižší spotřebu paliva a tím pádem i emise CO₂. Otázkou ale zůstává, zdali je snížení spotřeby dostatečné a nebylo by prospěšnější se raději zaměřit na jiné ekologické znečišťovatele. Ať už je to letecká doprava, lodní doprava nebo například těžký průmysl. Další neznámou zůstává spolehlivost menších přeplňovaných jednotek, jelikož tyto motory disponují vyšším počtem součástí než motor atmosférický.

Těžko odhadnout, jak se výrobci automobilů vyrovnají s limity pro průměrné emise CO₂ po roce 2020. Emisní norma Euro 7 stanovuje průměrnou hodnotu emisí oxidu uhličitého vyprodukovaných jedním automobilem na 95 g. To odpovídá spotřebě 3,54 litrů nafty či 4,06 litrů benzínu na 100 km. Tohoto limitu již automobilky nebudou schopny dosáhnout pouze dalším zmenšováním objemu motorů. Pravděpodobně tedy bude docházet k většímu rozmachu vozidel s alternativními pohony.

Hybridy i elektromobily spojuje stejný problém. Tím je ekologická výroba elektrické energie, která se v Evropské unii stále primárně vyrábí pomocí uhelných elektráren. Tento způsob nelze považovat za ekologický. I přesto elektromobily představují enormní potenciál do budoucna. Na jejich výraznější rozšíření si ale řidiči budou muset počkat. Prozatím se na pomyslném vrcholu nacházejí automobily se spalovacími motory, jejichž vývoj ještě nenarazil na své konstrukční limity.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] FERENC, Bohumil. *Spalovací motory: karburátory, vstřikování paliva a optimalizace parametrů motoru*. Vyd. 3. Brno: Computer Press, 2009. Auto-moto-profi (Computer Press). ISBN 978-80-251-2545-8.
- [2] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily*. 7. vydání. Brno: Nakladatelství Avid, spol. s r. o., Brno, 2012. ISBN 978-80-87143-21-6.
- [3] SAJDL, Jan. *Emisní norma EURO*. Autolexicon.net [online]. 2016 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/emisni-norma-euro/>
- [4] KAŇOK, Tomáš. Evropské emisní normy: Jsou s námi už od roku 1970. *Autolaros.cz* [online]. 2016 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.autolaros.cz/evropske-emisni-normy-jsou-s-nami-uz-od>
- [5] EMISNÍ NORMA EURO 6. *AdBlue4you.cz* [online]. 2017 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://cs.greenchem-adblue.com/emisni-norma-euro-6-cz/>
- [6] ŽÁK, Dalibor. Elektromobily produkci CO₂ nesníží, dokud se bude elektřina vyrábět hlavně z uhlí. *Autobible.cz* [online]. 2016 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/elektromobily-produkci-co2-nesnizi-dokud-se-bude-elektrina-vyrabet-hlavne-z-uhli/>
- [7] KALOUS, Jiří. *SPALOVACÍ MOTORY II*. [online]. 2011 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: http://docplayer.cz/7697267-Vy_32_inovace_fy-15-spalovaci-motory-ii.html
- [8] SAJDL, Jan. TSI (Twincharged Stratified Injection). *Autolexicon.net* [online]. 2016 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/tsi-twincharger-stratified-injection/>
- [9] Elektromobil. *Nazeleno.cz* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/elektromobil.dic>
- [10] *Co je elektromotor* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.navijarna.com/clanky/co-je-elektromotor.html>
- [11] KOŠÍK, Michal a Pavel SKAROLEK. *Trakční vlastnosti elektromobilu – výkony a účinnosti* [online]. 2017 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: http://motor.feld.cvut.cz/sites/default/files/predmety/B1M14EPT/EPT_%C3%BAloha5_2017_18_elektromobil.pdf
- [12] Hybridní automobily – historie. *blog.auto.cz* [online]. 2008 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://blog.auto.cz/baracadaj/2008-08/hybridni-automobily-historie/>
- [13] SAJDL, Jan. Hybridní pohon. *Autolexicon.net* [online]. 2011 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/hybridni-pohon/>
- [14] Hybridní automobily 2. *blog.auto.cz* [online]. 2008 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://blog.auto.cz/baracadaj/2008-08/hybridni-automobil-2/>

- [15] JEDLIČKA, Martin. První z hybridů. Toyota Prius právě slaví 20 let výroby. *FORUM24.CZ* [online]. 2017 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://forum24.cz/lifestyle/2017/12/17/prvni-z-hybridu-toyota-prius-prave-slavi-20-let-vyroby/>
- [16] Výroba vodíku parním reformováním. *Petroleum.cz* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/zpracovani/zpracovani-ropy-43.aspx>
- [17] FREI, Martin. Vodíkový pohon automobilů: Nechceme lithium, chceme vodík. *Auto.cz* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/vodikovy-pohon-automobilu-nehceme-lithium-chceme-vodik-121182>
- [18] HORČÍK, Jan. Jak funguje Toyota Mirai, vodíkové auto budoucnosti?. *Hybrid.cz* [online]. 2017 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/jak-funguje-toyota-mirai-vodikove-auto-budoucnosti>
- [19] PULTZNER, Zoltán. Jak funguje Toyota Mirai s palivovým článkem?. *Drive.cz* [online]. 2017 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/jak-funguje-toyota-mirais-palivovym-clankem-658/2-jak-toyota-mirai-funguje>
- [20] WILLIAMS, Keith. Are Hydrogen Cars A Threat To The Electric Vehicle?. *Seeking Alpha.com* [online]. 2016 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://seekingalpha.com/article/3965730-hydrogen-cars-threat-electric-vehicle>
- [21] MAJLING, Eduard. Palivové články – princip funkce a dělení. *OENERGETICE.CZ* [online]. 2015 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/akumulace-energie/palivove-clanky-princip-funkce-a-deleni/>
- [22] Standardní redoxní potenciály kovů a galvanické články. *ELUC.cz* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2282>
- [23] ŠURKALA, Milan. Emise CO₂ u elektromobilů: Tesla horší než BMW?. *Světmobilně.cz* [online]. 2016 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.svetmobilne.cz/emise-co2-u-elektromobilu-tesla-horsi-nez-bmw/4645>
- [24] PAZDERA, Josef. Jsou auta s palivovými články šetrná k životnímu prostředí?. *OSEL.cz* [online]. 2015 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/8332-jsou-auta-s-palivovymi-clanky-setrna-k-zivotnimu-prostredi.html>
- [25] MUSIL, Tomáš. Proč vymírá přeplňování kompresorem? Tady jsou důvody! *Auto.cz* [online]. 2016 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/proc-vymira-preplnovani-kompresorem-tady-jsou-duvody-99822>
- [26] KARANDIKAR, Ojas. Complying with the European Union car CO₂ emission regulation. *StrategicBusinessAnalytics.edu* [online]. 2016 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: http://strategic-business-analytics-chair.essec.edu/wp-content/uploads/2015/01/CSBA_2014T1_C3_G1.pdf
- [27] ŠURKALA, Milan. Downsizing motoru: opravdu funguje? *Světmobilně.cz* [online]. 2017 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.svetmobilne.cz/downsizing-motoru-opravdu-funguje/4523>

- [28] *Palivové soustavy zážehových motorů se vstřikováním paliva* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/160/16.html>
- [29] Nepřímé vstřikování paliva zážehových motorů. *ELUC.cz* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1464>
- [30] VLK, František. PŘÍMÉ VSTŘIKOVÁNÍ BENZINU. *SINZ.cz* [online]. 2004 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-01-67-71.pdf>
- [31] SAJDL, Jan. DIT (Direct Injection Turbo). *Autolexicon.net* [online]. 2016 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/dit-direct-injection-turbo/>
- [32] BROŽA, Petr a Marek LITZMAN. Přímý vstřik benzínu: revoluce, nebo evoluce? *Autorevue.cz* [online]. 2005 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: https://www.autorevue.cz/primy-vstrik-benzinu-revoluce-nebo-evoluce_2
- [33] GORDE, Jim. The Day Has Come: Goodbye Audi RS 5 and 4.2 V8. *CarIndia.in* [online]. 2016 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://carindia.in/the-day-has-come-goodbye-audi-rs-5-and-4-2-v8/>
- [34] SAJDL, Jan. Jak funguje automobilový katalyzátor?. *Enviweb.cz* [online]. 2011 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/89130>
- [35] VLK, František. *Lexikon moderní automobilové techniky*. Brno: František Vlk, 2005. ISBN 80-239-5416-4.
- [36] *Lambda Sondy* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.lambdasondy.wbs.cz/>
- [37] VOJÁČEK, Antonín. Princip a použití Lambda sondy. *Automatizace.hw.cz* [online]. 2006 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/view.php%3Fcislocclanku%3D2006061301>
- [38] SAJDL, Jan. Lambda sonda. *Autolexicon.net* [online]. 2011 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/lambda-sonda/>
- [39] MUSIL, Tomáš. Selektivní katalytická redukce (SCR). Vše, co jste chtěli vědět o AdBlue!. *Auto.cz* [online]. 2017 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/selektivni-katalyticka-redukce-scr-vse-co-jste-chteli-vedet-o-adblue-108222>
- [40] SAJDL, Jan. SCR (Selective Catalytic Reduction). *Autolexicon.net* [online]. 2011 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/scr-selective-catalytic-reduction/>
- [41] Technologie SCR. *Adam-bluesky.cz* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.adam-bluesky.cz/technologie-scr/>
- [42] SAJDL, Jan. EGR (Exhaust Gas Recirculation). *Autolexicon.net* [online]. 2016 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/egr-exhaust-gas-recirculation/>

- [43] BEDNÁŘ, Marek. Kolik pevných částic emitují moderní benziny? Podívejte se na výsledky měření. *Autoforum.cz* [online]. 2017 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/zajimavosti/kolik-pevnych-castic-emituji-moderni-benziny-podivejte-se-na-vysledky-mereni/>
- [44] SAJDL, Jan. DPF (Diesel Particulate Filter). *Autolexicon.net* [online]. 2011 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/dpf-diesel-particulate-filter/>
- [45] V hlavní roli: Filtr pevných částic - Část I. *Gocars.cz* [online]. 2012 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: http://www.gocars.cz/magazin/v_hlavni_rol:_filtr_pevnych_castic_-_Cast_i

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CVT	Continuously Variable Transmission
DIT	Direct Injection Turbo
DPF	Diesel Particulate Filter
E-CVT	Electronically Controlled Continuously Variable Transmission
EGR	Exhaust Gas Recirculation
FSI	Fuel Stratified Injection
GPF	Gasoline Particulate Filter
HDi	High-pressure Direct injection
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
MPI	Multi Point Injection
Ni-MH	Nickel–Metal Hydride
PEM	Proton Exchange Membrane
SCR	Selective Catalytic Reduction
SPI	Single Point Injection
THS	Toyota Hybrid System
<i>TSI</i>	Twincharged Stratified Injection
VTG	Variable Turbine Geometry
VW	Volkswagen