

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Možnosti eliminace emisí u spalovacích motorů

Michal Beleš

Bakalářská práce

2017

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Michal Beleš
Osobní číslo: D13217
Studijní program: B3709 Dopravní technologie a spoje
Studijní obor: Dopravní prostředky: Ochrana životního prostředí v dopravě
Název tématu: Možnosti eliminace produkce emisí ze silničních vozidel
Zadávací katedra: Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod
2. Shrňte současný stav poznání v oblasti spalovacích motorů a jejich vlivu na produkci emisí
3. Zhodnoťte současný stav poznání v oblasti možností eliminace emisí ze silničních vozidel
4. Proveďte analýzu dostupné diagnostiky emisně relevantních komponent
5. Závěr

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce

Rozsah pracovní zprávy: 30-40stran textu a přílohy

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

1. VLK, František. Příslušenství vozidlových motorů. Brno: František Vlk, 2002. ISBN 80-238-8755-6.
2. GREGORA, Stanislav a Zdeněk MAŠEK. Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2008. ISBN 978-80-7395-082-8.
3. TAKÁTS, Michal. Měření emisí spalovacích motorů. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-01-01632-3.
4. JILEK, Petr a Jan POKORNÝ. Úvod do spalovacích motorů. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-7395-743-8.
5. Autoexpert: Časopis profesionálů v autoopravárenství. Praha: Vogel Publishing, 1995
6. GAMBA, Josef. Protizákonné úpravy emisních systémů a výkonu motoru u osobních automobilů. In: Tribotechnika v provozu a údržbě 2016. 2016, s. 16-21. Vysoká škola báňská Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-3976-9.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marie Sejkorová, Ph.D.

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: 15. února 2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 2. června 2017


doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

L.S.


doc. Ing. Michael Lata, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2017

Prohlášení autora

Prohlašuji: Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 2.6.2017

Michal Beleš

Poděkování

Zde bych rád poděkoval vedoucí mé práce paní Ing. Marie Sejkorové Ph.D. za pomoc, připomínky a rady k zpracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval rodině a své přítelkyni za podporu při studiu.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá současným stavem poznání v oblasti technických řešení a komponent redukcí emisí ze spalovacích motorů silničních vozidel s následnou diagnostikou těchto komponent. V textu práce jsou uvedeny základní informace týkající se mechanismu vzniku emisí ze spalovacího procesu motorů silničních vozidel. Dále jsou rozebrány typy konstrukcí motoru a komponent, kterými lze dodatečně spaliny upravovat. Nejprůmyslnější je praktická část týkající se ukázek a vysvětlení funkce v současné době používané ať už sériové či paralelní diagnostiky těchto komponent.

Klíčová slova

spalovací motor, emise, dodatečná úprava spalin, sériová diagnostika, paralelní diagnostika, katalyzátor, úprava emisí

Title

Emission elimination options for combustion engines

Annotation

This bachelor thesis deals with the current state of knowledge in the field of technical solutions and components reducing emission from combustion engines of road vehicles with diagnostics of these components. In the text of the thesis are listed basic informations of creating the emission from the combustion process and information about engine construction and components, which can additionally adjust the flue gas. The most beneficial is the practical part of the demonstration and explanation of the function currently used, whether serial and parallel diagnostics of these components.

Keywords

combustion engine, emission, additional adjustment exhaust gases, serial diagnostics, parallel diagnostic, emission adjustment

Obsah

Úvod.....	13
1 Tvorba emisí ve spalovacím motoru	14
1.1 Zážehový motor	14
1.1.1 Princip zážehového motoru	14
1.1.2 Spalování benzínu.....	15
1.2 Vznětový motor.....	18
1.2.1 Princip vznětového motoru.....	18
1.2.2 Spalování nafty	19
1.2.3 Emise vznětových motorů	19
1.3 Výstupní složky nedokonalého procesu spalování	21
2 Konstrukční řešení snižující tvorbu emisí	23
2.1 Tvar spalovacího prostoru.....	23
2.2 Kompresní poměr.....	23
2.3 Vstřikování vody do sacího potrubí	25
2.4 Poloha zapalovací svíčky	25
2.5 Víceventilová technika.....	25
2.6 Časování ventilů.....	26
2.7 Uspořádání sacího a výfukového traktu.....	27
2.8 Rozvrstvené plnění.....	27
2.9 48 V palubní síť	28
2.10 Další opatření	29
3 Snižování emisí vhodným provozem vozidla.....	29
3.1 Otáčky	29
3.2 Zatížení motoru	30
3.3 Rychlost.....	30
3.4 Závěr	30
4 Dodatečná úprava spalín - komponenty snižující emise	31
4.1 Snímač přebytku kyslíku - Lambda sonda	31
4.1.1 Dvoubodová Lambda sonda	31
4.1.2 Širokopásmová Lambda sonda	33
4.2 Katalytická úprava spalín.....	36
4.2.1 Oxidační katalyzátor	37

4.2.2	Třícestný katalyzátor.....	37
4.2.3	Zásobníkový katalyzátor NO _x	38
4.2.4	SCR katalyzátor	39
4.3	Filtry pevných částic - DPF, FAP	40
4.3.1	Konstrukce	41
4.3.2	Regenerace filtrů.....	42
4.4	Recirkulace výfukových plynů - EGR	45
4.4.1	Vysokotlaká recirkulace spalin.....	46
4.4.2	Nízkotlaká recirkulace spalin.....	47
5	Diagnostika emisně relevantních komponent.....	48
5.1	Sériová diagnostika	48
5.2	Paralelní diagnostika	50
5.3	Test lambda sond.....	52
5.3.1	Dvoubodová lambda sonda.....	52
5.3.2	Širokopásmová lambda sonda	58
5.4	Test katalyzátoru	64
5.5	Test EGR ventilu.....	68
5.5.1	Pneumaticky ovládaný EGR ventil.....	69
5.5.2	Elektricky ovládaný EGR	73
5.6	Test filtru pevných částic	78
	Závěr	84
	Použitá literatura	85

Seznam ilustrací, tabulek a grafů

Obrázek 1: Fáze zážehového čtyřdobého motoru	14
Obrázek 2: Vliv hodnoty lambda na produkci emisí	16
Obrázek 3: Vliv hodnoty λ a okamžiku zážehu na emise a spotřebu paliva	17
Obrázek 4: Vliv hodnoty λ na emise u vznětového motoru.....	18
Obrázek 5: Složení emisí u vznětového motoru	19
Obrázek 6: Filtrovatelnost pevných částic v dýchací soustavě.....	22
Obrázek 7: Zhášecí zóny ve spalovacím prostoru	23
Obrázek 8: Motor s variabilním kompresním poměrem.....	24
Obrázek 9: Systém TwinSpark	25
Obrázek 10: Rozdíl mezi dvou a čtyř ventilovou technikou z hlediska emisí HC.....	26
Obrázek 11: Vliv polohy zapalovací svíčky na emise HC	26
Obrázek 12: Technologie ovládání ventilů bez vačkových hřídelů.....	27
Obrázek 13: Systém Twinport od firmy Opel	28
Obrázek 14: Dvoubodová lambda sonda	31
Obrázek 15: Převodní charakteristika dvoubodové lambda sondy.....	32
Obrázek 16: Širokopásmová Lambda sonda	34
Obrázek 17: Palivová mapa zážehového motoru pracujícím s α -n systémem.....	35
Obrázek 18: Vozidlový katalyzátor	36
Obrázek 19: Umístění NO _x katalyzátoru	39
Obrázek 20: SCR systém	39
Obrázek 21: SCRT systém.....	40
Obrázek 22: Uzavřený částicový filtr.....	41
Obrázek 23: Otevřený částicový filtr	41
Obrázek 24: Materiály pro výrobu DPF filtrů	42
Obrázek 25: Dodatečný ohřev DPF pomocí hořáku.....	43
Obrázek 26: Dodatečný ohřev DPF pomocí topné spirály	43
Obrázek 27: Dávkování aditiva EOLYS do nádrže s palivem	44
Obrázek 28: CRT systém	44
Obrázek 29: Vliv podílu recirkulovaných plynů na emise škodlivých látek.....	45
Obrázek 30: Vliv podílu recirkulovaných plynů na koeficient λ , emise sazí a spotřebu.....	45
Obrázek 31: Schéma systému recirkulace spalin, motor 1.9l SDI.....	46
Obrázek 32: EGR ventil pneumaticky ovládaný	47
Obrázek 33: Nízkotlaká recirkulace spalin	47
Obrázek 34: Kontrolka MIL	49
Obrázek 35: Diagnostický modul Bosch KTS 540.....	50
Obrázek 36: Příklad naměřených hodnot sériovou diagnostikou	50
Obrázek 37: Vzorový průběh naměřeného signálu pomocí osciloskopu	51
Obrázek 38: Systém modulace směsi	52
Obrázek 39: Správný průběh napětí na lambdasondě.....	53
Obrázek 40: Zapojením osciloskopu při měření dvoubodové lambda sondy.....	54
Obrázek 41: Začátek lambda regulace.....	55
Obrázek 42: Chování lambda sondy při akceleracích	55

Obrázek 43: Závadový průběh lambda sondy	56
Obrázek 44: Aktuální hodnoty lambda sondy v sériové diagnostice.....	56
Obrázek 45: Aktuální hodnoty lambda sondy v sériové diagnostice - graf.....	57
Obrázek 46: Měření bylo prováděno na vozidle Nissan Note 1.4	57
Obrázek 47: Zapojení osciloskopu při měření širokopásmové lambda sondy	59
Obrázek 48: Průběh napětí měřícího a čerpacího článku na širokopásmové lambda sondě	60
Obrázek 49: Převodní charakteristiky dvou různých širokopásmových lambda sond	61
Obrázek 50: Závadový průběh napětí měřícího a čerpacího článku.....	61
Obrázek 51: Aktuální hodnoty širokopásmové lambda sondy	62
Obrázek 52: Aktuální hodnoty širokopásmové lambda sondy - graf	62
Obrázek 53: Aktuální hodnoty v módu OBD	63
Obrázek 54: Vyhodnocení testu katalyzátoru	65
Obrázek 55: Zapojení osciloskopu při měření katalyzátoru	65
Obrázek 56: Hodnoty v sériové diagnostice spojené s kontrolou katalyzátoru	66
Obrázek 57: Hodnoty v sériové diagnostice spojené s kontrolou katalyzátoru - graf	66
Obrázek 58: Signály z lambda sond pro ověření funkce katalyzátoru	67
Obrázek 59: Lambdaspacer.....	68
Obrázek 60: Instalovaný Lambdaspacer ve výfuku.....	68
Obrázek 61: Připojení osciloskopu při kontrole EGR ventilu ovládaným ventilem EPV	70
Obrázek 62: Test EPV ventilu	71
Obrázek 63: Měření EGR ventilu	71
Obrázek 64: Nesprávně fungující EGR ventil	72
Obrázek 65: Připojení osciloskopu při měření elektrického EGR ventilu.....	74
Obrázek 66: Signál z elektricky ovládaného EGR ventilu	75
Obrázek 67: Zádový průběh otevření ventilu	75
Obrázek 68: Měření EGR ventilu na vozidle VW Golf 1.6 Tdi	76
Obrázek 69: Vyčítané hodnoty sériovou diag. při měření el. ovládaného EGR ventilu.....	76
Obrázek 70: Vyčítané hodnoty sériovou diag. při měření el. ovládaného EGR ventilu - graf	77
Obrázek 71: Chyba v diagnostice	77
Obrázek 72: Základní nastavení recirkulace spalín	78
Obrázek 73: Výfuk správně fungujícího DPF.....	79
Obrázek 74: Výfuk špatně fungujícího DPF.....	79
Obrázek 75: Hodnoty v sériové diagnostice při měření DPF filtru v nízkých otáčkách	81
Obrázek 76: Hodnoty v sériové diagnostice při měření DPF filtru v nízkých otáčkách - graf	81
Obrázek 77: Hodnoty v sériové diagnostice při měření DPF filtru ve vyšších otáčkách - graf	82
Obrázek 78: Další hodnoty v sériové diagnostice spojené s DPF	82
Obrázek 79: Servisní regenerace částicového filtru	83
Obrázek 80: Základní nastavení DPF	83

Tabulka 1: Složení výfukových plynů zážehového motoru.....	17
Tabulka 2: Složení výfukových plynů vznětového motoru	20
Tabulka 3: Druhy regenerací sazí	42
Tabulka 4: Hodnoty diferenčního tlaku částicového filtru v různých režimech motoru	80
Graf 1: Látky vznikající při dokonalém spalování[Autor]	16
Graf 2: Látky vznikající při nedokonalém spalování[Autor].....	17

Seznam zkratek

CO - oxid uhelnatý

CO₂ - oxid uhličitý

NO_x - oxidy dusíku

HC - uhlovodíky

PM - Particulate Matter - pevné částice

SO_x - oxidy síry

DÚ - dolní úvrať motoru

HÚ - horní úvrať motoru

CČ - cetanové číslo

EGR - Exhaust Gas Recirculation - recirkulace výfukových plynů

AGR - Abgasrückführung - recirkulace výfukových plynů

VTEC - Variable Valve Timing and Lift Electronic Control

MAF - Mass Air Flow - měřič průtoku vzduchu

SCR - Selective Catalytic Reduction

DPF - Diesel Particulate Filter - filtr pevných částic

FAP - Filtre a Particules - filtr pevných částic

CRT - Continuous Regenerating Trap - částicový filtr s kontinuální regenerací

EPV - Electro-Pneumatical Valve - elektro-pneumatický ventil

MIL - Malfunction Information Lamp - diagnostická kontrolka

OBD - On Board Diagnostic - palubní diagnostika

SME - stanice měření emisí

STK - stanice technické kontroly

PWM - Pulse Width Modulation - pulzně šířková modulace

Úvod

Rok 1942 datuje vznik smogové situace v Kalifornii, při které byly emisní limity překročeny o více než 30 krát ve srovnání s těmi dnešními. S tehdejší technikou však nebylo možné jednoznačně určit zdroj těchto emisí. Až o téměř deset let později se podařilo určit zdroj tohoto jevu. Byla jím doprava, konkrétně pohon dopravy - spalovací motor.

Výsledky výzkumu ukázaly, že emise spalovacích motorů, tj. zejména oxidy dusíku a uhlovodíky mají spolu s působením ultrafialového záření ve slunečním světle vliv na vznik smogové situace. Roku 1968 byly v Kalifornii vydány první emisní normy.

Po vzoru USA se roku 1971 zavádí první emisní norma také v Evropě - konkrétně norma EHK 15, která se stále zdokonalovala, až roku 1992 přišla v platnost norma, kterou známe i my dnes, norma EURO 1. Hlavním cílem bylo snížení emisí oxidu uhelnatého (CO), uhlovodíků (HC) a oxidů dusíku (NOx). Postupně přicházely stále přísnější normy EURO 2, EURO 3, EURO 4 a EURO 5. Dnes již musí plnit výrobci automobilů normu označenou jako EURO 6.

Se stále se zpřísňujícím trendem musí výrobci vozidel přicházet s čím dál více sofistikovanějšími konstrukčními prvky nebo systémy, které se starají o dodatečnou úpravu spalin tak, aby vyhovovaly právě výše zmíněným normám. A právě těmto prvkům je věnována bakalářská práce.

Cílem této bakalářské práce je vytvoření celku, ve kterém je popsána teorie snižování emisí od konstrukčních prvků uvnitř motoru, po prvky starající se o dodatečnou úpravu spalin s následnou praktickou ukázkou diagnostiky těchto prvků. Věřím, že se mi podaří zpracovat celkový přehled emisních systémů, který budou moci využívat ke studiu jak studenti mého oboru Dopravní prostředky - Ochrana životního prostředí v dopravě, tak i mechanici v oblasti opravárenství, kteří budou řešit závady s těmito systémy spojenými.

Na úvod by bylo dobré zmínit, že pod pojmem "emise" jsou míněny složky znečišťující ovzduší. Obecně se emise dělí na primární a sekundární. Sekundárními emisemi je myšleno například prach z brzd, spojkového obložení, ale i částice vzniklé otěrem pneumatik. Tato práce se však zabývá emisemi primárními, které vznikají nedokonalým spalováním paliva ve spalovacím motoru.

1 Tvorba emisí ve spalovacím motoru

1.1 Zážehový motor

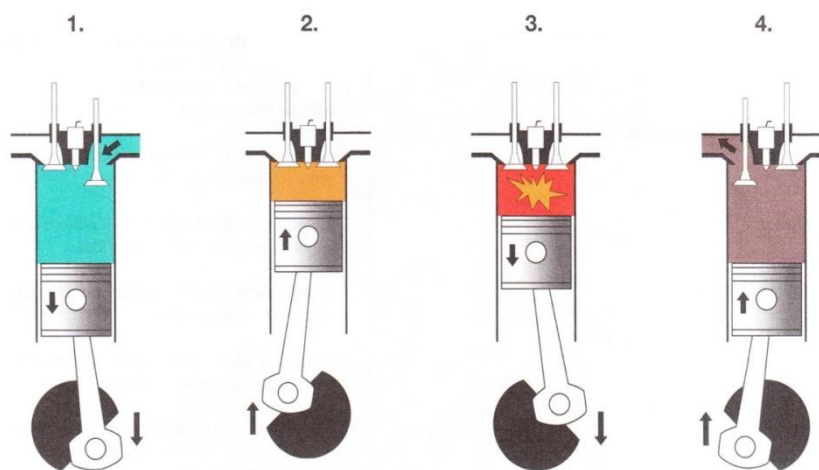
1.1.1 Princip zážehového motoru

Čtyřdobý zážehový motor přeměňuje tepelnou energii získanou z příslušného paliva na mechanickou práci. Ta se přenáší skrze pístovou skupinu z přímočarého pohybu na točivý pohyb klikové hřídele.

Tento proces je rozdělen do čtyř dob. První dobu označujeme jako "sání". V tento moment se vlivem podtlaku, který je tvořen pohybem pístu směrem k dolní úvratí(DÚ), nasává vzduch přes sací ventil motoru ovládaný vačkovou hřídelí až do spalovací komory. Otázka, kolik vzduchu se do motoru nasaje, připadá na škrticí klapku motoru, která je přímo ovládána řidičem skrze plynový pedál. U nepřímého vstřikování benzínu se zároveň v tento moment vstřikuje palivo, které se vlivem proudění vzduchu dostatečně promíchá se vzduchem a vzniká zápalná směs. Po ukončení tohoto úkonu, tedy nasátí směsi, se uzavírá sací ventil.

Následuje fáze "komprese", kdy píst vykonává pohyb směrem vzhůru k horní úvratí motoru (HÚ) a stlačuje nasátou směs, popřípadě jen vzduch za předpokladu, že motor je opatřen přímým vstřikováním benzínu. Ten se u tohoto druhu vstřikování vstřikuje až těsně před fází "expanze".

Při expanzi je stlačená směs zažehnuta elektrickým obloukem, který je vyvolán vysokým napětím mezi elektrodami zapalovací svíčky. V tento okamžik dojde k zažehnutí směsi a následnému vysokému nárůstu tlaku působícího na dno pístu, který se tímto pohybuje k DÚ. Tato fáze je jediná pracovní. Po této fázi následuje fáze výfuku, kdy je již spálená směs vytlačena pohybem pístu k HÚ skrze otevřený výfukový ventil do výfukového potrubí, kde je dále upravována. Tyto cykly jsou zobrazeny na obrázku 1[1].



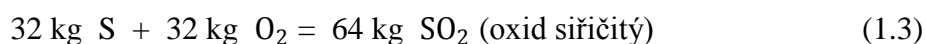
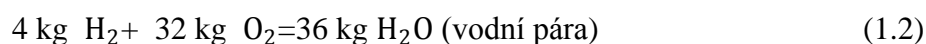
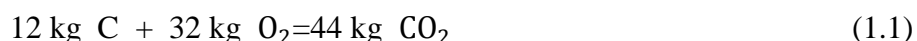
Obrázek 1: Fáze zážehového čtyřdobého motoru[2]

1.1.2 Spalování benzínu

Na předchozí stránce byl připomenut princip fungování zážehového čtyřdobého motoru. V následujících odstavcích bude problematika rozebrána více detailně spolu s tím, jaké látky při spalování paliva vznikají.

Spalování benzínu ve válci je oxidační proces, při kterém se hořlavé složky paliva, zejména uhlík(C), vodík(H) a Síra(S), slučují s kyslíkem. Jako oxidant působí okolní vzduch, ve kterém je obsaženo 21 % kyslíku. Energie obsažená v palivu se mění na teplo.

Pokud by oxidace probíhala úplně, hovořili bychom o tzv. dokonalém spalování. Při dokonalé oxidaci vodíku a uhlíku v palivu vzniká pouze oxid uhličitý (CO₂) a vodní pára (H₂O), jak můžeme pro lepší představu vidět v grafu č.1. Pro ukázkou podmínky dokonalého spalování mějme referenční hodnotu paliva 1 kg. Pro spálení 1 kg paliva je třeba určité množství vzduchu, které můžeme vypočítat z chemického složení paliva. Pro spálení třech nejdůležitějších hořlavých prvků paliva, musíme splnit tyto následující rovnice[3][1]:



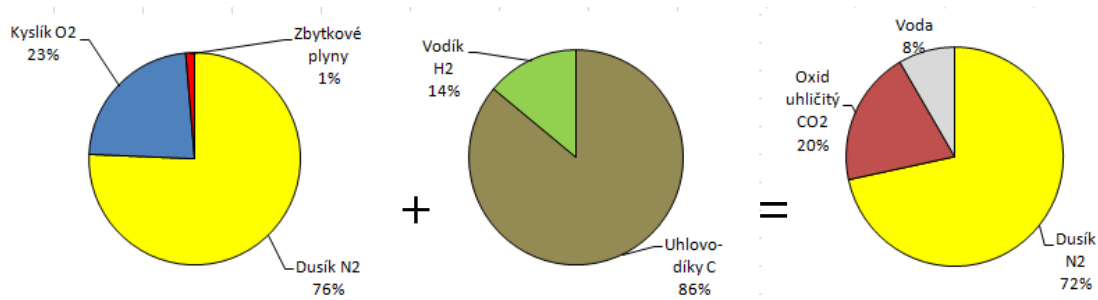
Pokud bychom v uvedených rovnicích vydělili hmotnost kyslíku, potřebného na dokonalé spálení, hmotností hořlavého prvku a vynásobili výsledek hmotnostním podílem daného prvku v palivu, dostaneme po sečtení množství kyslíku na dokonalé spálení 1 kg paliva[3].

$$O_t \text{ (teoretická spotřeba kyslíku na 1 kg paliva)} = \frac{8}{3}\mu_C + 8\mu_H + \mu_S \quad (1.4)$$

Protože se však na spalování nepoužívá čistý kyslík, nýbrž kyslík obsažený ve vzduchu, musíme rovnici vynásobit hmotnostním podílem kyslíku ve vzduchu, který je 0,23 kg/1 kg vzduchu. Teoretická potřeba vzduchu(L_t) je potom následující:

$$L_t = (1/0,23) * (\frac{8}{3}\mu_C + 8\mu_H + \mu_S) \quad (1.5)$$

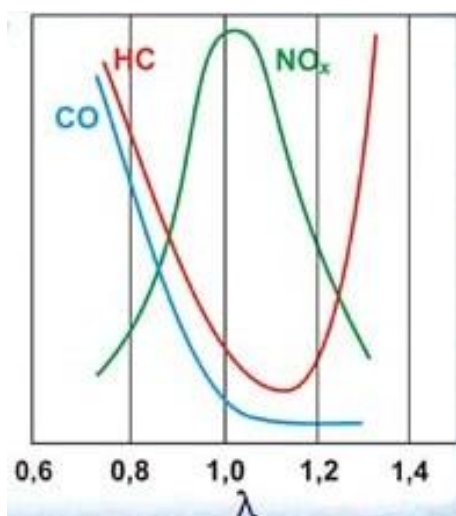
Pro automobilový benzín Natural 95 je L_t=14.72 kg/kg. Přepočteno na objemovou složku nám vyjde, že na spálení 1 litru paliva je zapotřebí zhruba 9000 litrů vzduchu[3].



Graf 1: Látky vznikající při dokonalém spalování[Autor]

Ideální (stechiometrický) směšovací poměr

Tímto termínem označujeme ideální poměr vzduchu (14,72 pro Natural pozn.), při kterém dochází k **dokonalému spalování**. Tomuto odpovídá součinitel přebytku vzduchu $\lambda=1$, který udává, kolikrát je ve směsi více vzduchu oproti ideálnímu stavu. Při chudé směsi je $\lambda > 1$, při bohaté směsi je $\lambda < 1$. Motor má nejnižší spotřebu při lehce chudé směsi (zhruba $\lambda = 1,15$) a nejvyšší výkon při lehce obohacené směsi (zhruba $\lambda = 0,85$). Nejnižší emise motor produkuje při $\lambda = 1$ [1].



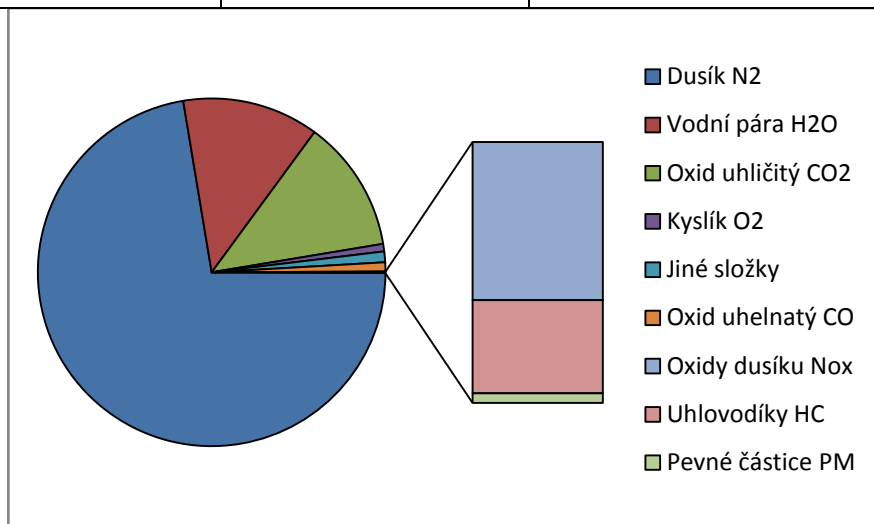
Obrázek 2: Vliv hodnoty lambda na produkci emisí[4]

V praxi však téměř nikdy k dokonalému spalování nedochází. Hovoříme tedy potom o **spalování nedokonalém**.

Při nedokonalém spalování vznikají kromě látek bez zdravotního rizika (dusík, vodní pára, oxid uhličitý) i produkty nedokonalého spalování - oxid uhelnatý (CO), nespálené uhlovodíky (HC), oxidy dusíku (NO_x), saze, pevné částice (PM), oxidy síry (SO_x) a sloučeniny olova. Tyto nebezpečné látky musejí být dále redukovány, neboť jsou zdraví nebezpečné. V tabulce 1 je uveden přehled složení výfukových plynů ze zážehového motoru, pro lepší přehled je tento poměr uveden v grafu č. 2[4].

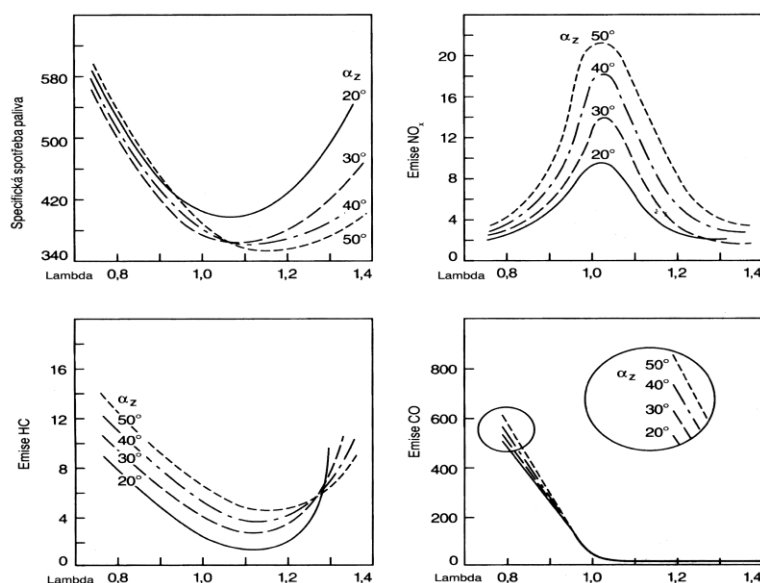
Tabulka 1: Složení výfukových plynů zážehového motoru

Složení výfukových plynů			
Neškodlivé	obsah	Škodlivé	obsah
Dusík (N ₂)	72,3 %	Oxid uhelnatý (CO)	0,850 %
Vodní pára (H ₂ O)	12,7%	Oxidy dusíku (NO _x)	0,085%
Oxid uhličitý (CO ₂)	12,3%	Uhlovodíky (HC)	0,050%
Kyslík (O ₂)	0,7%	Pevné částice (PM)	0,005%
Jiné složky	1,0%		



Graf 2: Látky vznikající při nedokonalém spalování[Autor]

Kromě hodnoty směšovacího poměru lambda jsou emise výfukových plynů výrazně ovlivněny správným okamžikem zážehu. Na obrázku č. 3 jsou znázorněny vlivy součinitele přebytku vzduchu a okamžiku zážehu na hodnotu škodlivých výfukových emisí a specifickou spotřebu paliva[5].



Obrázek 3: Vliv hodnoty λ a okamžiku zážehu na emise a spotřebu paliva[4]

1.2 Vznětový motor

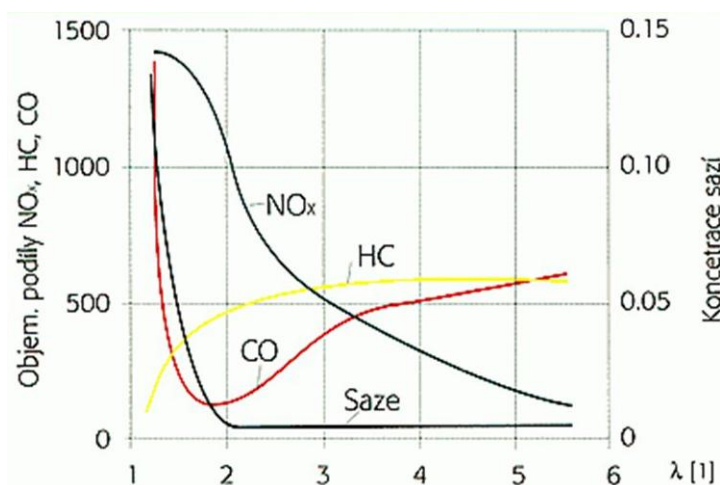
1.2.1 Princip vznětového motoru

Nyní bude vysvětlen základní princip čtyřdobého vznětového motoru.

Opět je chod motoru rozdělen do čtyř dob. První doba - sání - je stejná jako u motoru zážehového, přičemž princip fungování sdílí motor vznětový s principem fungováním motoru zážehového s přímým vstřikováním paliva. Nasává se tedy samotný vzduch bez paliva. Kompresí vzduchu ve válci dochází k jeho ohřátí na zhruba 800 °C.

Do stlačeného a ohřátého vzduchu se před dosažením HÚ vstřikuje pod vysokým tlakem palivo. První vstříknuté částice paliva se vznítí až po určité době. Doba, než se palivo vznítí, se nazývá prodleva vznícení. Během této doby se kapičky paliva odpaří a dochází k tzv. chemickému štěpení paliva. Zároveň se během této doby vstřikuje do spalovacího prostoru další palivo, které po vznícení prvních částic velmi prudce shoří. To způsobí rychlý nárůst tlaku plynů ve válci a nastává tlakový ráz, který má za následek pohyb pístu směrem k DÚ a konání práce. Zbytek pracovních cyklů je stejných jako s motorem zážehovým.

Jediná rozdílnost tedy byla ve způsobu zapálení směsi. U vznětového motoru se směs zapaluje sama pomocí tlaku a teploty, zážehový motor k tomuto kroku potřebuje cizí přičinění v podobě zapalovací svíčky. Další rozdílnost můžeme hledat v přívodu vzduchu do motoru. U zážehového motoru je vzduch pomocí škrticí klapky přesně regulován na požadovanou hodnotu, zatímco u motoru vznětového je množství nasávaného vzduchu stále konstantní (vyjma přeplňování). Změna výkonu motoru se tedy řídí množstvím vstřikovaného paliva. Proto se u vznětového motoru mění hodnota součinitele přebytku vzduchu v širokém spektru od $\lambda = 5$ při malém zatížení, až po $\lambda = 1,25$ při plném výkonu motoru[1].



Obrázek 4: Vliv hodnoty λ na emise u vznětového motoru[6]

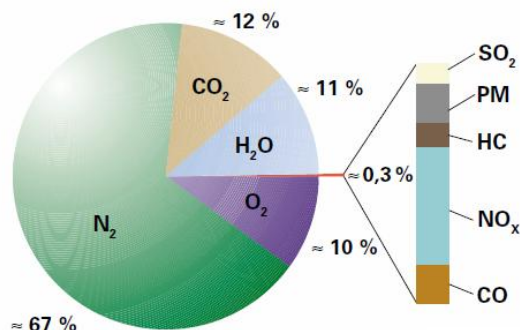
1.2.2 Spalování nafty

U paliv pro vznětové motory je hlavním požadavkem rychlé a snadné vznícení paliva. Schopnost samozápalnosti se vyjadřuje cetanovým číslem (CČ), které odpovídá objemovému procentu cetanu ve směsi s 1-methylnaftalenem. Čím vyšší cetanové číslo palivo pro vznětové motory má, tím je kvalitnější. Motor s přímým vstřikováním v takovém případě lépe startuje, má lepší výkon, tišší a hladší chod a také výfukové plyny obsahují méně nežádoucích zplodin hoření. Díky lepšímu výkonu klesá spotřeba pohonných látek. To vše vede ke snižování zátěže životního prostředí[3].

1.2.3 Emise vznětových motorů

Vznětové motory mají v porovnání se zážehovými relativně nízkou produkci nespálených uhlovodíků (HC) a oxidu uhelnatého (CO) z důvodu dostatku vzduchu při spalování (pracují vždy s přebytkem vzduchu (viz výše)). Hlavním problémem je ovšem produkce pevných částic (PM) a oxidů dusíku (NO_x) - viz tabulka 2.

Další parametry, které ovlivňují emise je počátek vstřiku, vstřikovací tlak a množství recirkulovaných spalin. Složení výfukových plynů je zobrazeno na obrázku č. 5.



Obrázek 5: Složení emisí u vznětového motoru[6]

Emise NO_x jsou způsobeny vysokou teplotou při spalování, pro jejich snížení se používá kombinace pozdního počátku vstřiku s recirkulací spalin EGR, což má za následek nižší špičkové teploty při spalování. S pozdním počátkem vstřiku roste měrná spotřeba paliva.

Emise pevných částic jsou způsobeny nedokonalým hořením a špatným rozprášením paliva. Pro jejich snížení se používá kombinace dřívějšího počátku vstřiku a dostatečně vysokého tlaku, pod kterým je palivo vstřikováno - lepší rozstřík na menší kapičky.

Avšak opatření, která snižují NO_x a PM (tato problematika viz níže), jsou vůči sobě v rozporu - jedno ovlivňuje negativně druhé, takže výsledkem musí být jistý kompromis[1].

Tabulka 2: Složení výfukových plynů vznětového motoru

Složky výfukových plynů	volnoběh	nejvyšší výkon
Oxidy dusíku (NO _x) [obj. %]	0,005 - 0,025	0,06 - 0,15
Uhlovodíky (HC) [obj. %]	0,05 - 0,06	0,02 - 0,06
Oxid uhelnatý (CO) [obj. %]	0,01 - 0,045	0,035 - 0,2
Oxid uhličitý (CO ₂) [obj. %]	až 3,5	až 12
Saze [obj. %]	20	200

1.3 Výstupní složky nedokonalého procesu spalování

Oxid uhličitý (CO₂)

- Jedná se o produkt dokonalé oxidace a jeho přítomnost ve spalínách je důsledkem kvalitně uskutečněného spalovacího procesu.
- Není jedovatý, ale způsobuje skleníkový efekt.

Oxid uhelnatý (CO)

- Je jedovatý - váže se na krevní barvivo a zamezuje přísunu vzduchu (smrtelná koncentrace již cca 0,05 %) - bez zápachu, bez chuti, lehčí než vzduch.
- Produkt nedokonalé oxidace uhlíku v palivu.
- Příčinou jeho vzniku je nedostatek kyslíku při spalování, tedy při součiniteli přebytku vzduchu $\lambda < 1$.
- Vyšší produkce CO je dosaženo při studeném motoru nebo pod výkonem ($\lambda < 1$).

Nespálené uhlovodíky (HC)

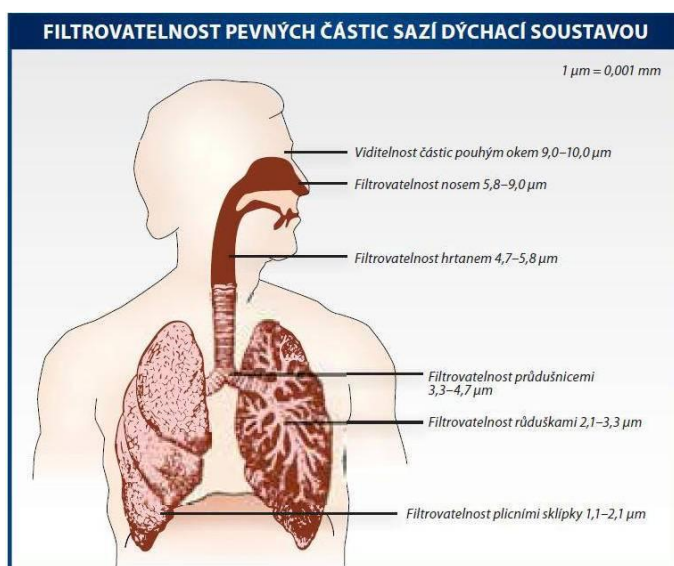
- Jsou částí paliva, které se po jeho nedokonalém spálení objeví ve výfukových plynech.
- Na produkci nespálených uhlovodíků mají vliv „studené“ oblasti ve válci (stěny, úzké štěrby) – tzv. „zhášecí zóny“, které „zhášejí“ čelo plamene ještě před tím, než je palivo plně spáleno.
- Některé nespálené uhlovodíky jsou jedovaté – jedná se o polyaromatické uhlovodíky (PAH), které mají rakovinotvorný účinek.

Oxidy dusíku (NO_x)

- Vznikají oxidací vzdušného dusíku, který se do motoru dostává společně s kyslíkem potřebným pro oxidaci paliva.
- Tvorba NO_x je způsobena vysokou teplotou a tlakem při spalování, přebytkem kyslíku (spalování chudých směsí).
- Spalovací motor produkuje především oxid dusnatý (NO) – cca 98 %, v daleko menší míře oxid dusičitý (NO₂).
- Přímá škodlivost NO na lidský organismus je nízká, ale vlivem delšího pobytu v atmosféře oxiduje NO na NO₂, který je jedovatý - způsobuje pocit dušení.
- Podílí se na tvorbě smogu, chemicky devastuje stavební materiály.
- Největší koncentrace NO_x ve výfukových plynech je dosaženo při střední a vysoké zátěži motoru, při volnoběhu a částečné zátěži je koncentrace NO_x nízká.

Pevné částice (PM – anglicky „Particulate Matters“)

- Takto je označována každá látka, která je ve výfukových plynech obsažena jako pevná částice.
- Především se jedná o pevný uhlík ve formě sazí - vzniká za nedostatku kyslíku nebo při rychlém ochlazení produktu hoření.
- Dýchání vzduchu s větší koncentrací PM způsobuje rakovinu, protože PM fungují jako nosiče karcinogenních a mutagenních látek.
- Velikost pevné částice je cca 0,05 μm .
- Problém především u vznětových motorů s moderními vysokotlakými vstřikovacími systémy (malé rozměry pevných částic) [7].



Obrázek 6: Filtrovatelnost pevných částic v dýchací soustavě[8]

Oxidy síry (SO_x)

- Oxidy síry vznikají během spalovacího procesu uhlovodíkových paliv, jež nežádoucí síru obsahují.
- Způsobují kyselé deště - poškozování lesních porostů.
- Nejsledovanějším je SO_2 .

Voda (H_2O)

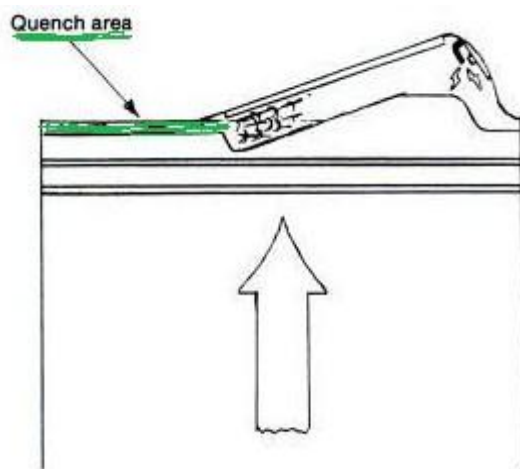
- Voda je také produktem spalování - nejčastěji ve formě vodní páry.

2 Konstrukční řešení snižující tvorbu emisí

Velmi mnoho konstrukčních detailů ovlivňuje vznik škodlivých látek při procesu spalování. Kromě škodlivých emisí jsou dalšími důležitými faktory také spotřeba paliva, výkon, točivý moment, klidný běh a mnoho dalších vlastností. Proto je důležité najít při konstrukci motoru kompromis mezi těmito vzájemně si odporujícími požadavky[5].

2.1 Tvar spalovacího prostoru

Konstrukčním tvarem spalovacího prostoru lze velmi významně snížit hodnotu nespálených uhlovodíků. Protože emise nespálených uhlovodíků vznikají ve "studených" oblastech, je nepříznivé z hlediska tvorby HC konstruovat složité spalovací prostory s velkým poměrem povrchu. Výhodné jsou proto především spalovací prostory s malým povrchem, ve kterých probíhá intenzivní turbulence při vyplňování spalovacího prostoru. To vede k rychlému spalování, které má zase příznivý vliv na nárok oktanového čísla. Celé toto řešení vede k možnosti, kdy i za použití vyššího kompresního poměru můžeme běh motoru uzpůsobit na chudou směs - lepší emise [4]



Obrázek 7: Zhášecí zóny ve spalovacím prostoru[9]

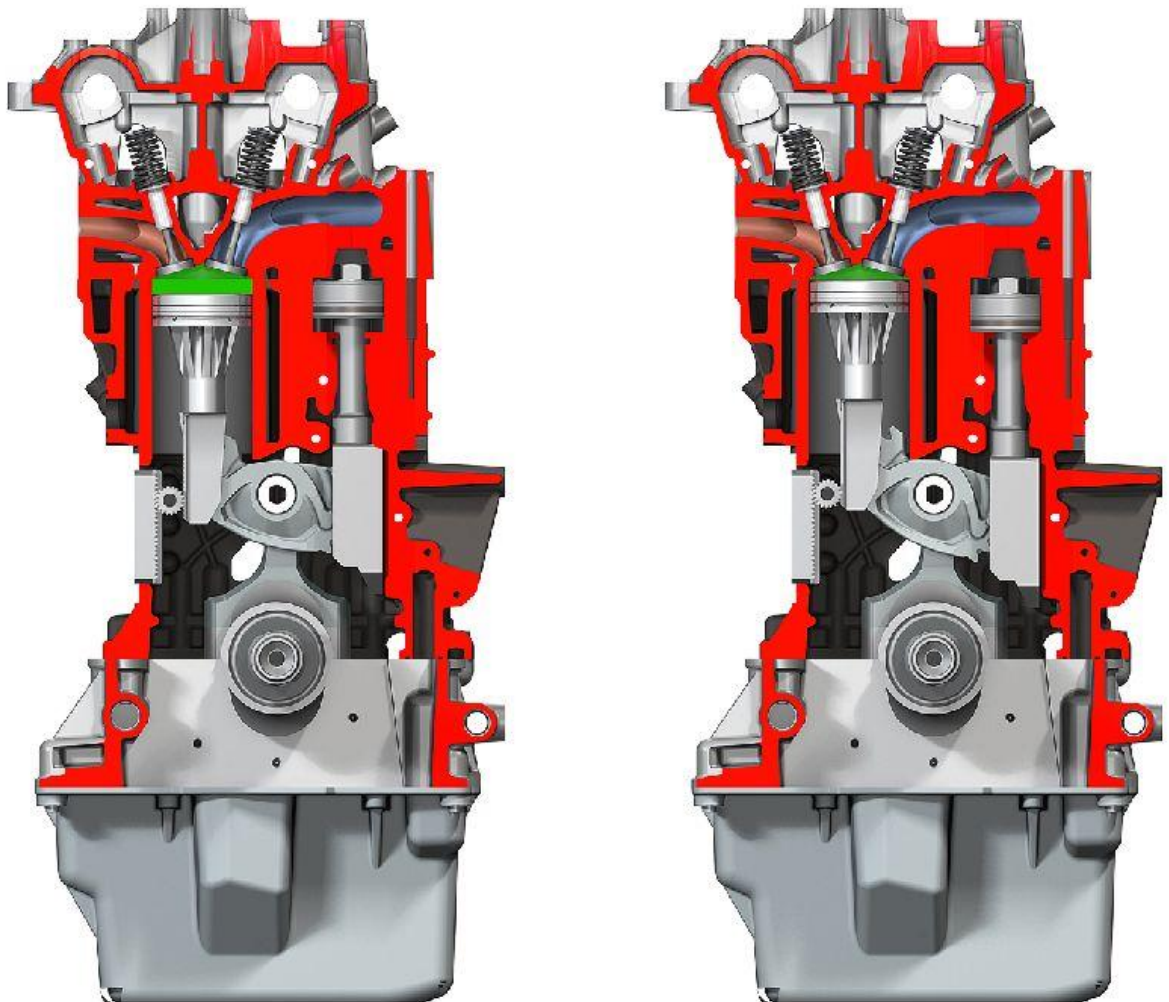
2.2 Kompresní poměr

Je poměr celého pracovního objemu válce k objemu spalovacího prostoru. Jinak řečeno je to poměr objemu směsi nasáté k objemu směsi stlačené.

Kompresní poměr má rozhodující vliv na stupeň tepelné účinnosti motoru. Se vzrůstajícím se kompresním poměrem sice roste účinnost spalovacího motoru, avšak s ním roste i teplota ve spalovacím prostoru, což má neblahý účinek na vznik samovznícení směsi

ještě dříve, než by se směs zapálila od šířícího se plamene. To má za následek klepání motoru a vyšší emise. Konkrétně zvýšení emisí NO_x . Vyšší teplota spalovacího prostoru posune reakční rovnováhu silněji na stranu koncentrací NO_x a to především díky zvýšené reakční rychlosti vzniku NO_x [1].

Při klasické koncepci pístového spalovacího motoru je kompresní poměr konstantní a je vždy kompromisem mezi různými režimy jízdy (městský cyklus, sportovní jízda, ustálená jízda po dálnici). Trend konstruktérů spalovacích motorů spěje k tomu, že se konstruují motory s variabilním kompresním poměrem. Při nízkém zatížení může takový motor pracovat s vysokým kompresním poměrem a při plném zatížení motor pracuje s nízkým kompresním poměrem. Detailní zobrazení takového motoru je na obrázku 10[10].



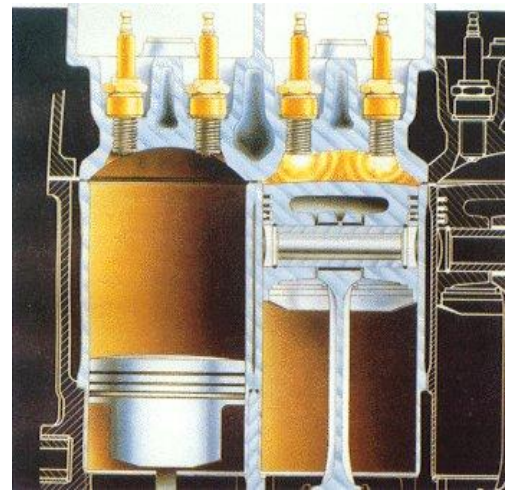
Obrázek 8: Motor s variabilním kompresním poměrem[10]

2.3 Vstřikování vody do sacího potrubí

Problém vysokých teplot u vyššího kompresního poměru lze řešit i jinými způsoby než variabilním kompresním poměrem. Systém toto řešící je vstřikování vody do sacího potrubí. Nejde o žádnou novinku - tento systém už používala letadla za druhé světové války. Voda přítomná ve spalovacím prostoru se přeměňuje na vodní páru. Během této přeměny voda absorbuje značné množství energie (tepla) a tím dojde k ochlazení nasávaného vzduchu. Výhoda ochlazení spalovacího prostoru je popsána výše. Tato technika zatím nenašla sériového uplatnění z důvodu značné složitosti technického provedení, ale i řízení motoru.

2.4 Poloha zapalovací svíčky

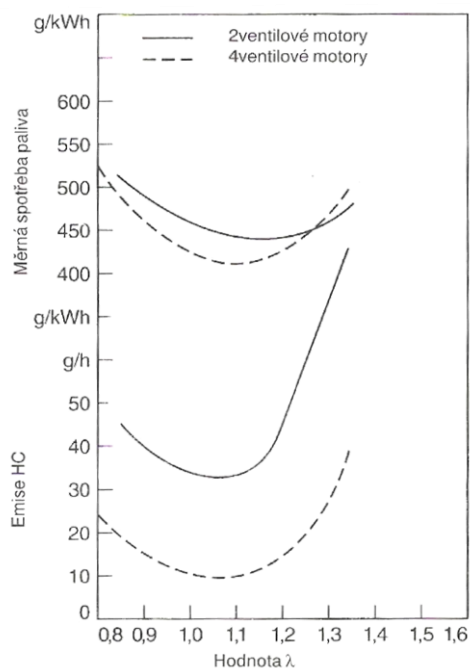
Poloha zapalovací svíčky má taktéž svůj vliv na produkci emisí a spotřebu paliva. Centrální poloha s krátkou dráhou plamene vede k rychlému spálení směsi a tím k nízkým hodnotám uhlovodíků. Použití vícesvíčkové techniky pro jeden spalovací prostor můžeme ještě více snížit dráhu plamene. To vede k menším nárokům na oktanové číslo, což může být opět přeměněno na vyšší kompresní poměr a tím vyšší účinnost motoru. Za příklad tohoto řešení uveďme systém TwinSpark od Alfy Romeo[5].



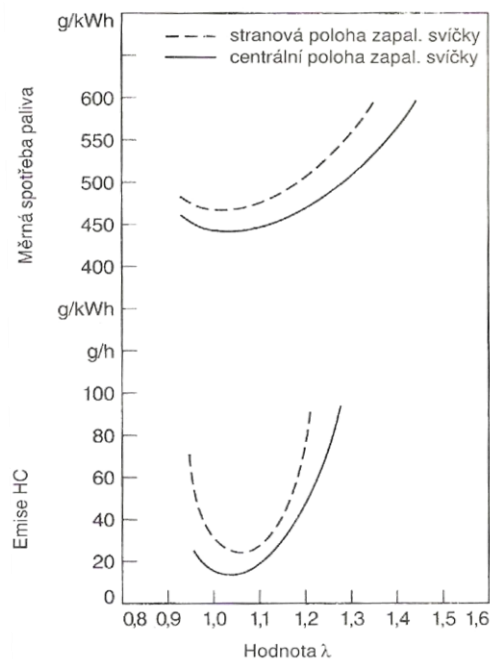
Obrázek 9: Systém TwinSpark[11]

2.5 Víceventilová technika

V návaznosti na předchozí odstavec je nutno dodat, že jevu popsaném na předešlém odstavci lze dosáhnout podstatně jednodušeji s použitím čtyřventilové techniky namísto dvouventilové. Díky čtyřventilové technice lze zkonstruovat kompaktní spalovací prostor s centrální polohou zapalovací svíčky a tedy krátkou dráhou plamene. Kromě toho dochází k příznivějšímu vyplachování válců[12].



Obrázek 10: Rozdíl mezi dvou a čtyř ventilovou technikou z hlediska emisí HC[12]



Obrázek 11: Vliv polohy zapalovací svíčky na emise HC[12]

2.6 Časování ventilů

Před vysvětlením problematiky je nutno připomenout funkci vyplachování válců a dále pojem "střih ventilů".

Výměna spálené směsi za čerstvou probíhá díky vhodnému otevření a zavírání ventilů. Průběh vyplachování, tedy čas otevření a zdvih ventilů, je dán tvarem vačkové hřídele.

Střih ventilů. Tento termín se používá v souvislosti s dobou, kdy je zároveň otevřený sací i výfukový ventil. Děje se tak v době, kdy spálená směs proudí z motoru ven, ale zároveň už nastává sací fáze motoru, kdy čerstvá směs proudí do motoru[1].

Velké překrytí ventilů se používá ve vyšších otáčkách za účelem vyššího výkonu, při nižších otáčkách má však tento jev za následek to, že část čerstvé směsi může proudit do výfuku a část spálené směsi naopak do sání motoru. Podíl zbytku výfukových plynů v čerstvé směsi ovlivňuje stupeň účinnosti motoru, hodnotu emisí nespálených uhlovodíků a také oxidů dusíku[12].

Částečnou eliminaci výše způsobeného problému představuje variabilní časování ventilů. Ať už jen dvoustupňové (VTEC - Honda) nebo plynulé (VANOS - BMW, MultiAir-FIAT) přináší možnost změny překrytí, popřípadě dráhy zdvihu ventilů.



Nejdále v tomto řešení zašla automobilka Koenigsegg ve spolupráci s automobilkou Qoros, jejichž motor není opatřen žádným vačkovým hřídelem. Otevírání ventilů se tu děje pomocí elektro-pneumaticko-hydraulického motorku, kterým je opatřen každý ventil. Toto zařízení dává svobodu v podobě naprosté individuálnosti řízení motoru. Zařízení je však stále ve fázi experimentů z důvodu slabé spolehlivosti ovládacích motorků[13].

Obrázek 12: Technologie ovládání ventilů bez vačkových hřídelů[13]

2.7 Uspořádání sacího a výfukového traktu

I toto na první pohled nepatrné opatření má značný vliv na tvorbu emisí. Sacími zdvihy pístů je vytvářeno v sacím potrubí periodické kolísání tlaku. Tyto tlakové vlny probíhají sacím potrubím a jsou na konci odraženy. Uspořádáním délky sacího potrubí v kombinaci s příznivým časováním ventilů má za účinek, že tlaková vlna dorazí k sacímu ventilu krátce před ukončením sacího taktu. Tento přetlakový efekt dodá do válce vyšší množství čerstvé směsi[5].

Tlakové rázy vznikající v sacím potrubí příznivě působí na promíchání vzduchu s palivem. To zvyšuje stupeň účinnosti a schopnost spalování chudých směsí, což má opět příznivý dopad na tvorbu nežádoucích emisí.

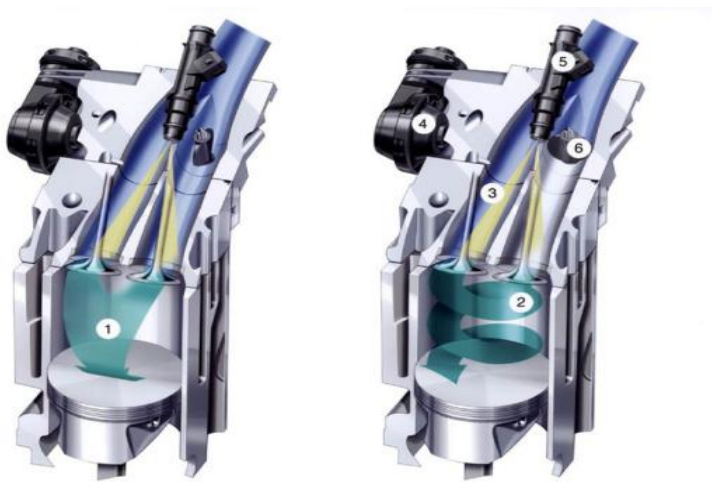
Podobný princip platí i pro výfukové potrubí. Zde je potřeba sladit výfukové potrubí se sacím tak, aby při překrytí ventilů docházelo k úbytku tlaku.

2.8 Rozvrstvené plnění

V návaznosti na předchozí oddíl je dobré připomenout, že pro správné spalování u zážehových motorů je důležitá homogenita směsi. Průběh spalování lze však zlepšit, když při plnění válce dojde k cílenému rozvrstvení paliva.

Následek tohoto opatření je ten, že v blízkosti zapalovací svíčky se nachází bohatá směs, kterou lze velmi dobře zapálit. Po zapálení už však není třeba bohaté směsi, hlavní průběh spalování tedy probíhá ve směsi chudé. Výhoda spalování chudé směsi je probrána výše[12].

Rozvrstvené plnění je specialitou firmy Opel se systémem Twinport. Motory se systémem Twinport jsou vybaveny elektricky ovládanou škrticí klapkou umístěnou v jednom ze sacích ventilových kanálů. V počáteční fázi plnění válce je klapka otevřena a vzduch se vstřikovaným palivem vstupuje do válce přes oba sací ventily. Ve válci vznikne příčný vír, který vzduch s palivem dokonale promísí a vytvoří homogenní směs. Těsně před ukončením sání a zavřením obou ventilů se nejdříve zavře zmíněná elektronicky ovládaná klapka a tím se ve válci vytvoří tečný vír, který rozvrství směs tak, aby u svíčky byla směs bohatší. Tak dojde k snadnějšímu zažehnutí a lepšímu spalování[14].



Obrázek 13: Systém Twinport od firmy Opel[14]

2.9 48 V palubní síť

Všechna předešlá opatření byla nasazována jednotlivými automobilkami. Žádná z těchto opatření ale nevyužívají plošně všichni výrobci automobilů. 48 V palubní síť je ale prvkem, ke které budou muset postupně přejít výrobci všichni. Důvodem je stále vyšší spotřeba elektrické energie v automobilu zejména novými technologickými prvky, jako je například elektrické turbodmychadlo nebo posilovač řízení.

Přechod na vyšší napětí s sebou přináší několik výhod. Omezují se ztráty ve vedení a u spotřebičů. Vyšší napětí zároveň vede ke snížení proudu, což umožní menší průměr vodičů -

nižší celková váha vozidla. Dále to také vede k menším nárokům na alternátor - menší zátěž motoru - menší spotřeba.

2.10 Další opatření

Dalším opatřením na konstrukci motoru, kterými dokážeme snížit spotřebu motoru a tím i emise je tření. Tření dokážeme snížit jednak použitím vhodného motorového oleje, nebo také zjemněním povrchu třecích částí. Za zmínku stojí například povrchové zušlechťování stěn válců Nikasilem, jehož přičiněním se dokáže snížit tření až o 10 %.

Další položkou je snížení potřeby výkonu pro pohon vedlejších agregátů. Proto se dnešní trend ubírá k nasazování elektrických posilovačů řízení za hydraulické, které přímo odebíraly výkon pomocí řemene z klikové hřídele. Za zmínku stojí i plynule spínací alternátory, které se v případě nepotřeby dodávat proud odpojí od systému a tím neodebírají výkon z motoru.

V praxi největším úskalím bývá provoz nezahřátého vozidla. Všechny systémy potřebují být pro svou správnou funkci zahřáté na optimální teplotu, proto značný podíl emisí pochází právě z nezahřátého motoru. Pomocí vhodného uspořádání chladicího a mazacího okruhu lze fázi zahřívání podstatně zkrátit. To přináší kromě snížení spotřeby zároveň významnou redukci emisí oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků.

3 Snížení emisí vhodným provozem vozidla

Stejně tak, jako je tomu při srovnání spotřeby dvou stejných vozidel dvěma různými řidiči, se bude lišit množství vyprodukovaných emisí dvou stejných vozidel. Každý člověk je jiný a každý se svým vozem zachází jinak. Někteří tak činí podle svého nejlepšího vědomí, druzí naopak nehledí na zacházení a potřebují z vozidla dostat například co největší výkon.

Tato krátká kapitola má za úkol přiblížit, jak svým zacházením s vozidlem můžeme ovlivnit životní prostředí. A tím není myšleno neprovozovat motorové vozidlo.

3.1 Otáčky

Z hlediska tvorby emisí je nevýhodné provozovat motor ve vyšších otáčkách. Vyšší otáčky znamenají vyšší tření v motoru a vyšší odběr výkonu pomocných agregátů. Při stejném množství přiváděné energie klesá odevzdávaný výkon a zhoršuje se účinnost. Pokud je určitý výkon odebírán při vyšších otáčkách, je i spotřeba paliva vyšší a tím i zároveň vyšší obsah škodlivých složek ve výfukových plynech[5].

3.2 Zatížení motoru

Změna zatížení motoru není tak jednoznačná z hlediska tvorby emisí jako zvýšení otáček - má na jednotlivé komponenty jiný účinek. Se stoupajícím zatížením se zvyšuje teplota ve spalovacím prostoru - zvyšující teplota má za následek lepší reakci složek při expanzi a výfuku. Tím se snižuje množství nepálených uhlovodíků a množství CO, které díky větší teplotě lépe reaguje se vzduchem a tím lépe vzniká CO₂.

To však neplatí pro emise NO_x. Stoupající zatížení zvyšuje tvorbu emisí NO_x[5].

3.3 Rychlost

Vyšší rychlost vozidla koresponduje s potřebou výkonu a tím vyšší spotřebě paliva. Hodnoty emisí uhlovodíků a oxidu uhelnatého nejsou výrazným způsobem ovlivněny, avšak naopak je tomu u emisí NO_x[12].

3.4 Závěr

Vše výše uvedené platí pouze teoretickém měřítku. Při běžném provozu není dobré provozovat vozidlo pouze na malé otáčky. Malé otáčky mají za následek usazování sazí v motoru a potlačování efektu "samočištění" motoru. Zvlášť dnešní přímé vstřikování paliva je dosti choulostivé na tento efekt. Zanášení se netýká pouze samotného motoru, ale i jeho dalších komponent, jako například EGR ventil, katalyzátor, lambdasondy či filtr pevných částic. Proto se doporučuje jednou za čas provést dynamickou jízdu, aby se komponenty pročistily a vozidlo mohlo fungovat tak, jak má.

Z dalších řídicích ovlivnitelných opatření snižující tvorbu emisí uvedu například tankování kvalitního paliva, nezasahování do řízení motoru tuningovými komponenty, nákup pneumatik s nízkým valivým odporem, pravidelnou servisní údržbu vozidla, ale také řídicí dovednosti jako především předvídatelnost a úcta k technice.

4 Dodatečná úprava spalin - komponenty snižující emise

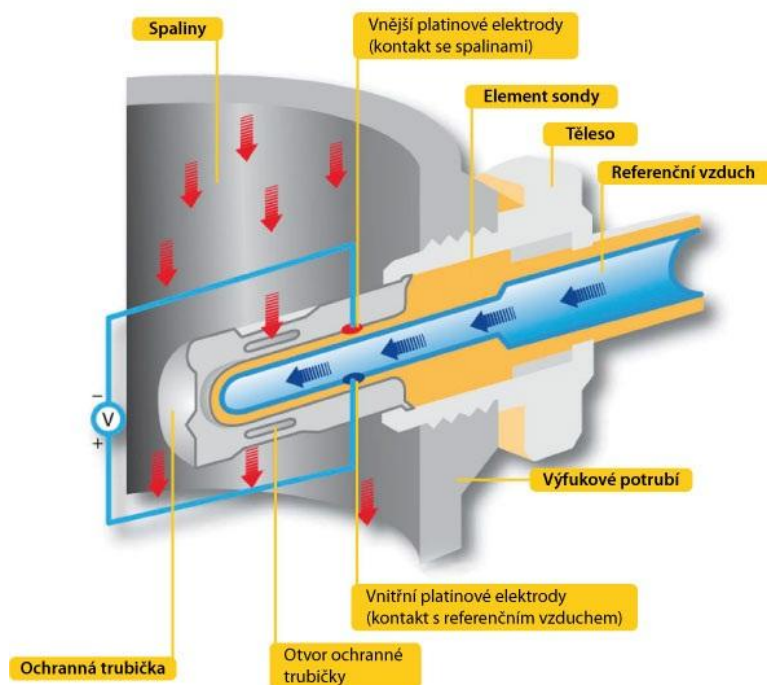
I přes zakomponování výše uvedených konstrukčních prvků nejsme schopni zamezit tvorbě nežádoucích škodlivin. S čím dál tím zpřísnujícími se emisními normami přestaly být výše popsané konstrukční řešení účinné a tím pádem motory provozuschopné. Aby bylo možné tyto mezní hodnoty dodržet, jsou nezbytná další opatření pro dodatečnou úpravu spalin, které prakticky eliminují až 90 % vystupujících emisních látek.

4.1 Snímač přebytku kyslíku - Lambda sonda

Lambda sonda není zařízení, které přímo přeměňuje škodlivé látky na zdraví neškodné. Je to snímač, který indikuje přítomnost kyslíku ve spalinách, posílá tuto informaci řídicí jednotce motoru, která následně upravuje množství vstříkovaného paliva tak, aby se směšovací poměr co nejvíce blížil stechiometrickému poměru.

4.1.1 Dvoubodová Lambda sonda

Jde v zásadě o elektrochemický (Nernstův) článek, který na základě chemické reakce vytváří na svých elektrodách elektrický signál, jehož velikost je dána obsahem kyslíku ve výfukovém potrubí, kde je nainstalována [15].



Obrázek 14: Dvoubodová lambda sonda[16]

Princip činnosti je založen na chování keramického materiálu na bázi oxidu zirkoničitého (ZrO_2), který se stává po dosažení teploty $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ elektricky vodivým. Pokud

vrstva keramiky od sebe odděluje dva plyny s rozdílnou koncentrací kyslíku - na jednu elektrodu je přiveden okolní vzduch, druhá čelí náporu výfukových plynů, dojde k pohybu kyslíkových iontů uvnitř keramického materiálu a tím ke vzniku elektrického napětí. Elektrické napětí vzniklé na platinových elektrodách je určeno Nernstovou (odtud název) rovnicí[17]:

$$U_S = R * \frac{T}{4F} * \ln \frac{p'_{01}}{p'_{02}}$$

kde U_S - výstupní napětí

R - všeobecná plynová konstanta

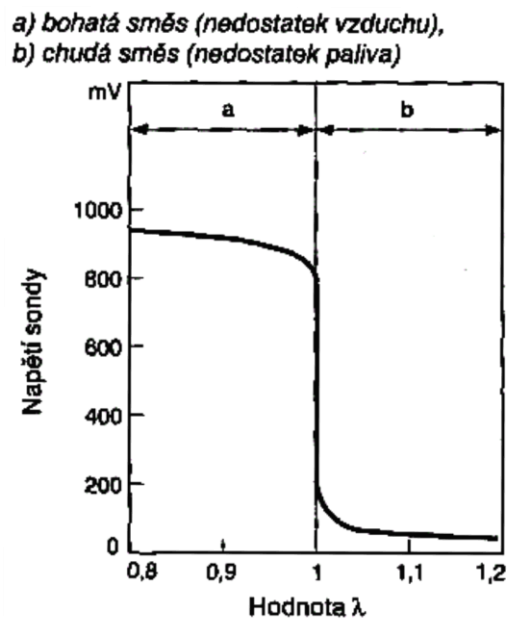
T - absolutní teplota

F - Faradayova konstanta

p'_{01} - parciální tlak kyslíku v referenčním prostředí

p'_{02} - parciální tlak kyslíku ve výfukových plynech[17]

Podle známé převodní charakteristiky je pak možno zjistit, zdali je směs, která byla ve válci spálena, chudá či bohatá. Nevýhoda dvoubodové lambda sondy je v tom, že dokáže indikovat pouze dva stavy, jak je vidět z následující převodní funkce. Řídící jednotka tak má informaci o bohatosti či chudosti směsi, ale nemá informaci o tom, jak moc je daná směs chudá či bohatá. Mezi těmito dvěma stavy přechází skokově[15].



Obrázek 15: Převodní charakteristika dvoubodové lambda sondy[17]

Jako obecnou nevýhodu lambda sond můžeme uvést jejich schopnost fungovat až od výše zmíněných 350 °C. To bývá problém zvláště při provozu nezahřátého motoru. Řešením byt' chvilkové posunutí předstihu zážehu směrem k pozdnímu, které má za následek vyšší teploty ve spalovacím prostoru a následně výfukovém potrubí, nebo použití vyhřívacího odporového tělíska, které je přímo v těle sondy[18].

Dbát se musí také zejména na těsnost výfukového potrubí před lambda sondou. Pokud bychom přiváděli falešný vzduch do výfuku před lambda sondou, indikovala by nám stále chudou směs nezávisle na směsi ve válci.

Doposud byla dvoubodová lambda sonda uváděna jako prvek, pomocí něhož se řídí směs. Dvoubodová lambda sonda se ale také používá pro kontrolu funkce katalyzátoru. Ve výfukovém potrubí je umístěná za katalyzátorem, princip činnosti je stejný jako u řídicí, avšak při správné funkci katalyzátoru musí lambda sonda vykazovat stále stejné napětí a to zhruba nad 0,45 V[19].

4.1.2 Širokopásmová Lambda sonda

S příchodem turbomotorů a tím, jak se řízení spalovacích motorů dostávalo na stále vyšší úroveň, bylo třeba zkonstruování prvku, který by dokázal určit přesné složení směsi a ne jen vyhodnocovat dva stavy - chudá/bohatá směs. Tím prvkem se stala širokopásmová lambda sonda.

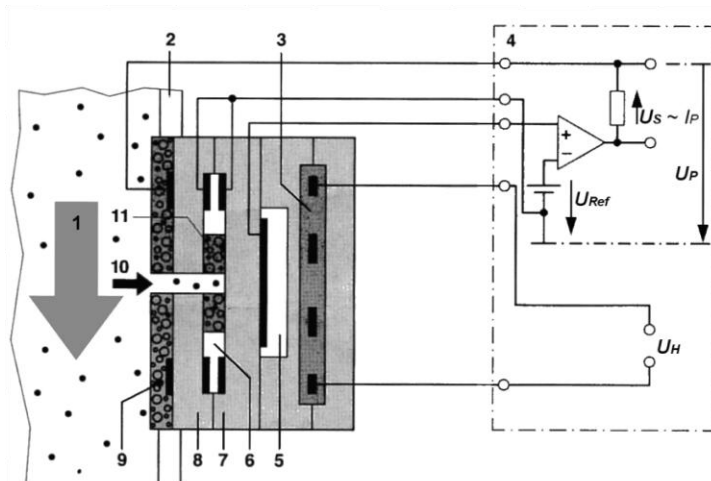
Širokopásmová lambda sonda má tedy tu hlavní výhodu, že dokáže měřit jak chudá nebo bohatá směs ve skutečnosti je. Tato sonda je v podstatě spolupráce dvou dvoubodových lambda sond v jedné.

Funkce této sondy je založena na stejných ZrO_2 článcích jako dvoubodová lambda sonda, ale na místo jednoho článku jsou v ní umístěny články dva.

První článek, který je vystaven výfukovým plynům se nazývá čerpací a jedná se vlastně o měřicí článek z dvoubodové lambda sondy, který má obrácenou funkci. Po přivedení napětí začne čerpat kyslíkové ionty z výfukového potrubí do měřicí komory mezi články nebo naopak z komory do výfukového potrubí. Komora je s výfukovým potrubím spojena pórovitou difuzní vrstvou[17].

Druhý článek se nazývá měřicí a má zde stejnou úlohu, jako článek u dvoubodové lambda sondy. Vytváří tedy na svých elektrodách napětí, dané rozdílem koncentrací kyslíkových iontů okolního vzduchu a vzduchu v měřicí komoře.

Pro zjištění hodnoty λ se využívá toho, že na měřicím článku je požadováno držet stále konstantní napětí 450 mV což odpovídá stechiometrickému složení směsi $\lambda=1$. Toho se docílí tak, že se odčerpávají kyslíkové ionty z komory (chudá směs) anebo do komory (bohatá směs) z výfukového potrubí. Přečerpávání je zajištěno prvním článkem, proto je čerpací proud roven hodnotě λ [17].



Obrázek 16: Širokopásmová Lambda sonda[17]

Legenda:

- 1 – spaliny
- 2 – výfukové potrubí
- 3 – vyhřívací prvek
- 4 – regulační elektronika
- 5 – referenční komora s referenčním vzduchovým kanálem
- 6 – difuzní měřicí kanálek
- 7 – měřicí (Nernstův) článek
- 8 – kyslíkový čerpací článek
- 9 – pórovitá ochranná vrstva
- 10 – otvor pro vstup plynů
- 11 – pórovitá difuzní bariéra

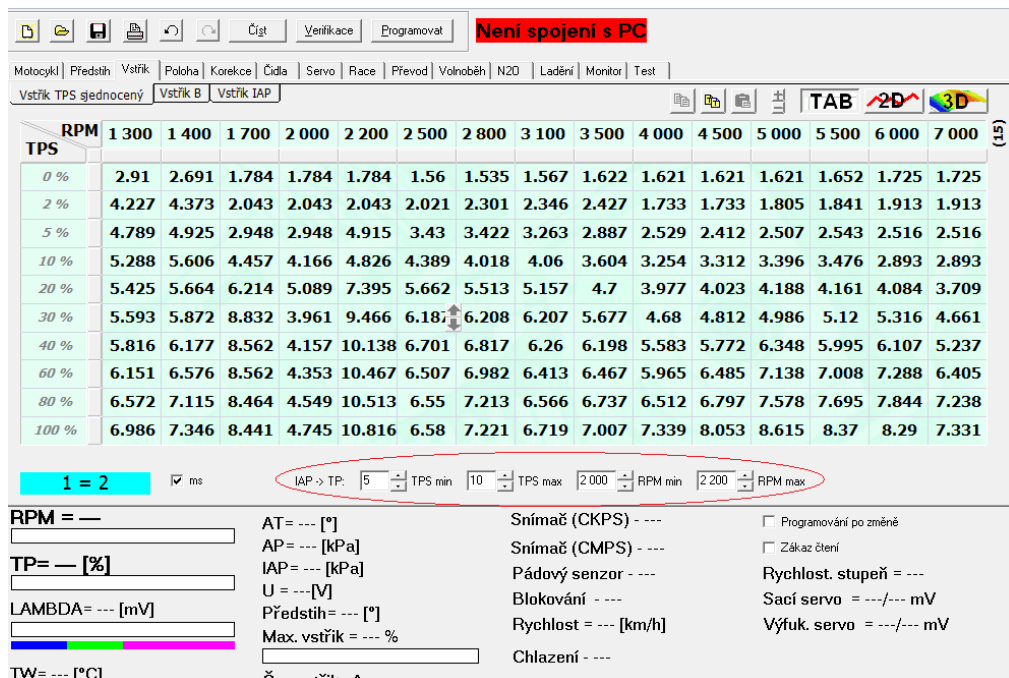
Pro přesné měření pomocí širokopásmové lambda sondy je nutné zajistit její správnou teplotu. Ta je oproti dvoubodové lambda sondě přibližně 2x větší a to cca 750 °C. Při rozdílné teplotě se totiž poměrně značně mění vnitřní odpor článku a vzniká tak chyba měření. Opět se využívá vyhřívaného odporového tělíska.

Jak již bylo výše zmíněno, lambda sonda, ať už dvoubodová nebo širokopásmová, se společně s řídicí jednotkou motoru stará o dodržení stechiometrického poměru, který je výhodný z hlediska nízké tvorby emisí, ale i pro nejlepší práci katalyzátoru.

Aby však mohla řídicí jednotka upravit délku vstřiku a tím výslednou hodnotu lambda, musí mít výchozí přednastavenou hodnotu délky vstřiku uloženou v paměti ROM, ze které hodnotu odebírá podle toho, v jaké oblasti zatížení se zrovna motor nachází. K tomuto zjištění využívá dalších snímačů jako například snímač polohy škrticí klapky, snímač tlaku v sacím potrubí nebo například měřič hmotnosti vzduchu[19].

Přednastavená délka vstřiku uložená v řídicí jednotce se získává tak, že je v laboratoři pomocí emisního analyzátoru měřeno, jaká je skutečná hodnota lambda při určité délce vstřiku v závislosti na hodnotě natočení škrticí klapky a otáčkách motoru. Hodnota délky vstřiku se určuje pro určitý počet úhlů škrticí klapky a otáček. Nemůžeme pokrýt všechny otáčky a úhly, zbývající hodnoty si tedy řídicí jednotka dopočítává pomocí lineární interpolace.

Výše popsaný systém odměřování délky vstřiku platí pro systém α -n, tedy podle úhlu natočení škrticí klapky a otáček motoru. Jsou však ještě další systémy odměřování, které pracují s tlakem v sacím potrubí a otáčkami - takzvaný SPEED DENSITY a nebo také s měřením průtoku vzduchu - MAF.



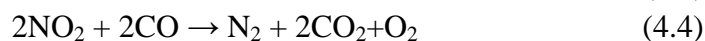
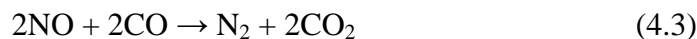
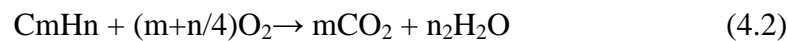
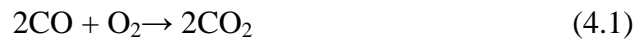
Obrázek 17: Palivová mapa zážehového motoru pracujícím s α -n systémem[Autor]

Každý systém má své výhody a nevýhody. Například α -n systém spolehlivě pracuje ve vyšších otáčkách. Problém však nastává v otáčkách nižších, kde je špatně odměřitelný úhel škrticí klapky a snadno nastává chyba při výpočtu vstřikovací dávky. Je tedy možno použít kombinace těchto systémů, kdy se například pro nižší otáčky použije SPEED DENSITY systém a od určitých otáček se systém přepne na odměřování délky vstřiku pomocí systému α -n.

4.2 Katalytická úprava spalin

V katalyzátoru se vhodné aktivní vrstvy starají o to, aby škodlivé látky obsažené ve spalinách prošly chemickou reakcí a přeměnily se v neškodné látky. Původ katalyzátoru se datuje do druhé poloviny 70. let, kdy se ve Spojených státech zavedly první emisní normy.

Za měřítko účinnosti se považuje schopnost katalyzátoru akumulovat kyslík, který je potřeba pro přeměnu škodlivých látek, jak vyplývá z chemických reakcí uvnitř katalyzátoru [20].



Automobilový katalyzátor se skládá z plechového obalu a tělesa (nosiče) obsahující aktivní vrstvu. Ta obsahuje vzácné kovy nanesené na reakční plochy nosiče - obvykle se používají směsi platiny (oxidační část) a rhodia (redukční část). Nosič má jemnou strukturu podobnou včelím plástvím, která i při kompaktních rozměrech katalyzátoru zaručuje velký povrch. Při teplotách 300 – 600 °C vznikají chemické reakce, které snižují obsah škodlivých složek. Nejdříve platina a rhodium štěpí oxidy dusíku na dusík (N) a kyslík (O) a pak platina a paladium spojují kyslík s oxidem uhelnatým a uhlovodíky. Výsledkem je neškodný oxid uhličitý (CO₂) a voda (H₂O)[1][5].

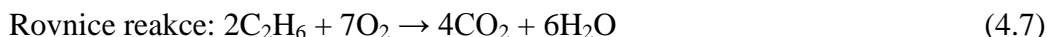
Podmínkou pro použití katalyzátorů je spalování bezolovnatého paliva, protože olovo ničí katalytický účinek vzácných kovů.



Obrázek 18: Vozidlový katalyzátor[20]

4.2.1 Oxidační katalyzátor

Oxidační katalyzátor přeměňuje pomocí oxidace oxid uhelnatý na oxid uhličitý a uhlovodíky na opět oxid uhličitý vodní páru. Kyslík potřebný k oxidaci se získává nastavením chudé směsi nebo alternativou v podobě vhnání vzduchu do výfukového systému před katalyzátor. Oxidy dusíku nedokáže tento typ katalyzátoru převést [5].

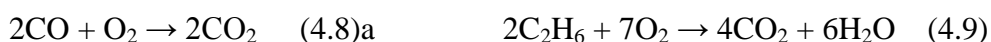


Oxidační katalyzátor byl vůbec prvním sériově nasazeným katalyzátorem, dnes už se však u zážehovým motorů téměř nepoužívají. Uplatnění nachází u motorů vznětových.

4.2.2 Třícestný katalyzátor

Třícestný katalyzátor má tu hlavní výhodu oproti oxidačnímu katalyzátoru, že dokáže konvertovat všechny tři škodlivé složky vznikající spalováním - CO, HC, NO_x - na složky nejedovaté - CO₂, H₂O, N₂.

Konverze škodlivých látek probíhá ve dvou fázích. V první fázi je oxid uhelnatý a uhlovodíky převedeny oxidací podle následujících vzorců:



Kyslík nutný k oxidaci je odebírán oxidům dusíku, které jsou tímto podle následujících rovnic částečně redukovány.



Aby byl konverzní poměr třícestného katalyzátoru co nejvyšší, musí být škodlivé látky v chemické rovnováze. To vyžaduje složení směsi ve stechiometrickém poměru $\lambda=1$. Možnost odchylek zde není moc přípustná (λ se může pohybovat v rozmezí 0,99 - 1,02), proto musí být tvorba směsi řízena výše zmíněnou lambda sondou. To však platí za předpokladu, že vozidlo je vybaveno nepřímým vstřikováním paliva[19].

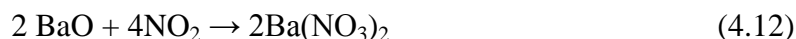
Katalytická úprava spalin pomocí třícestného katalyzátoru je v současnosti nejúčinnější metodou čištění spalin pro zážehový motor. Pomocí třícestného katalyzátoru lze při stechiometrickém složení směsi téměř zcela potlačit emise oxidu uhelnatého, uhlovodíků a oxidů dusíku a to o více než 98 %.

4.2.3 Zásobníkový katalyzátor NO_x

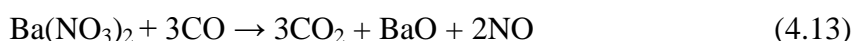
Dnešní zážehové motory s přímým vstřikováním paliva umožňují z důvodu úspory paliva provoz s chudou směsí. Při provozu na chudou směs však nedokáže třístný katalyzátor zcela převádět oxidy dusíku vznikající při spalování. Problém tkví v tom, že kyslík potřebný pro oxidaci oxidu uhelnatého a uhlovodíků je odebírán z vysokého podílu zbytkového kyslíku ve spalinách a není tedy odebírán oxidem dusíku, jako při provozu na stechiometrickou směs.

Konstrukce zásobníkového katalyzátoru je podobná jako je tomu u třístného katalyzátoru, avšak obsahuje speciální přísady, jako například oxidy draslíku, vápníku, zirkonu nebo barya, které mohou ukládat oxidy dusíku.

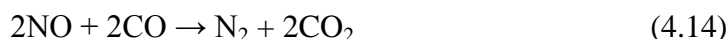
Zásobníkový katalyzátor pracuje ve třech stavech. První fáze nastává při provozu na chudou směs, kdy zásobníkový katalyzátor ukládá podle následující rovnice přebytečné oxidy dusíku. Děje se tak za působení aktivní platinové vrstvy, kdy jsou oxidy dusíku oxidovány na oxid dusičitý NO₂. Ten reaguje s oxidem barnatým BaO a vzniká chemická sloučenina Ba(NO₃)₂. Tím se ukládají oxidy dusíku [21].

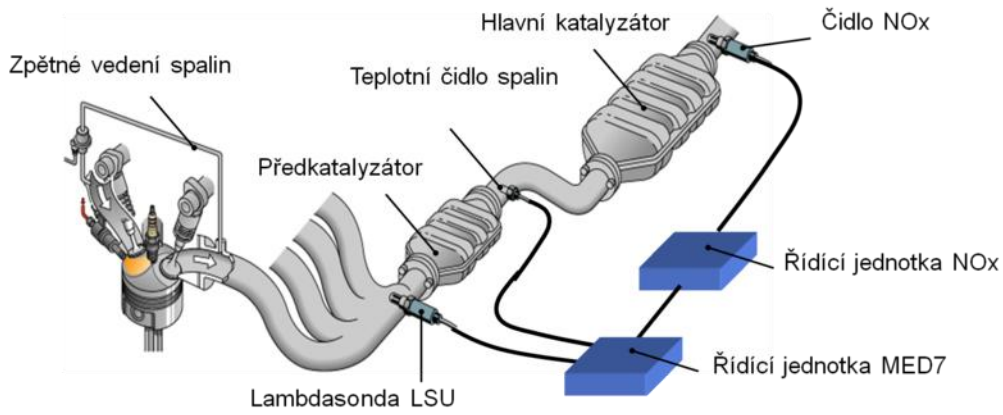


S rostoucím množstvím uložených oxidů dusíku klesá schopnost vázat další. Od určitého množství, které se vyhodnotí snímačem umístěným za katalyzátorem měřícím obsah NO_x ve spalinách, se musí provést regenerace. K tomu se krátkodobě přepne na provoz s bohatou směsí, kdy stoupne podíl nespálených uhlovodíků a oxidu uhelnatého ve spalinách a dojde k reakci oxidů dusíku vázanými s oxidy barya [21].



Posledním procesem je konverze uvolněných NO_x na dusík a oxid uhličitý. Aktivní vrstva rhodia následně redukuje oxidy dusíku pomocí oxidu uhelnatého, vzniklého přepnutím na bohatší směs, na dusík a oxid uhličitý [21].



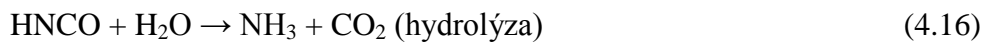


Obrázek 19: Umístění NO_x katalyzátoru[20]

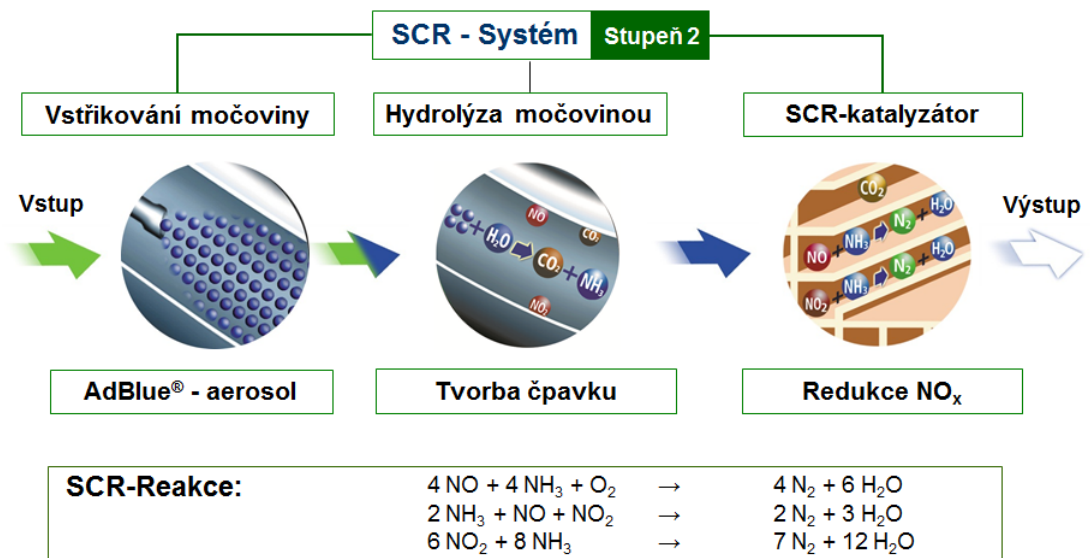
4.2.4 SCR katalyzátor

V katalyzátoru SCR (Selective Catalytic Reduction) dochází k reakci oxidů dusíku obsažených ve výfukových plynech se čpavkem. Výsledkem je rozklad NO_x na dusík a vodu.

Jedovatý amoniak (čpavek) NH₃ se získává chemickou cestou (termolýza + hydrolyza) až ve výfukovém potrubí z kapalného aditiva AdBlue, které se do něj vstříkuje. AdBlue je pouze obchodní název - je to 32,5 % roztok močoviny CO(NH₂)₂ s destilovanou vodou. Po vstříknutí se voda odpaří a využije se při hydrolytické přeměně AdBlue na amoniak NH₃, který vzniká podle těchto chemických reakcí[21]:



Chemické reakce oxidů dusíku s amoniakem probíhají podle rovnic uvedených na následujícím obrázku. Jejich výsledkem je dusík N₂ a voda H₂O.



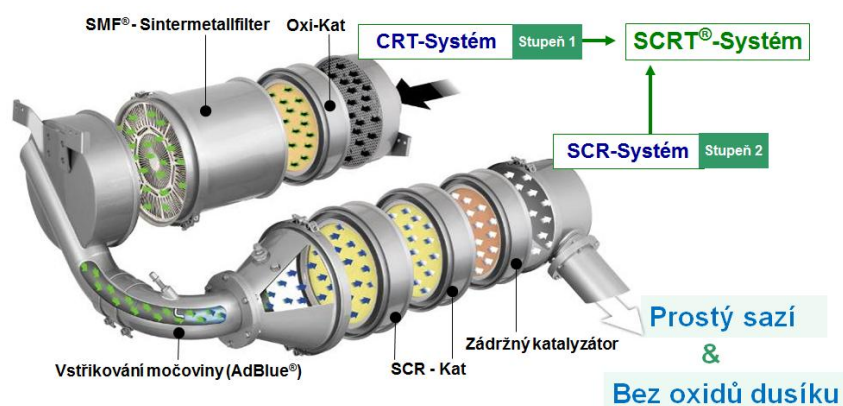
NO_x-redukce prostřednictvím čpavku (NH₃) za „oxidačních“ podmínek

Obrázek 20: SCR systém[21]

Složení SCR katalyzátoru může být dvojího druhu. Obal Titanový s katalytickou vrstvou pokrytou Vanadem (V_2O_5) nebo obal Zeolitový ($SiO_4 + AlO_4$) s měděnou katalytickou vrstvou.

Při nadměrném dávkování AdBlue se na redukci NO_x nespotřebuje veškerý amoniak NH_3 a ten vychází ven z katalyzátoru, což je nežádoucí vzhledem k jeho toxicitě a je nutné tomu zabránit. Z tohoto důvodu se za SCR katalyzátor umísťuje další oxidační katalyzátor, který oxiduje uniklý amoniak na dusík N_2 a vodu H_2O [22].

Jako nevýhodu AdBlue můžeme uvést jeho krystalizaci při teplotách nižších než - 11 °C. Proto je nutný přídatný ohřev nádrže a vedení. Spotřeba AdBlue se pohybuje mezi 0,1 až 10 % spotřeby paliva[21].



Obrázek 21: SCRT systém[22]

4.3 Filtry pevných částic - DPF, FAP

Jak již název napovídá, nyní bude probrána problematika tvorby pevných částic. Pevné částice jsou v podstatě saze, které jsou tvořeny mikroskopickými částicemi složenými z uhlíkového jádra obaleného nespálenými uhlovodíky a sírou. Pevné částice jsou karcinogenní, proto jsou nebezpečné. Tato emisní složka nejde odbourat pomocí klasického katalyzátoru, proto byl vyvinut filtr pevných částic. Tato problematika se nyní týká především vznětových motorů, v dohledné době se však počítá s nasazením filtru pevných částic i do zážehových motorů.

Emise sazí jsou ovlivněné dokonalostí rozprášení paliva a jeho smísení se vzduchem. Proto se v prvopočátku řešení této problematiky kladl důraz na zlepšení řízení spalovacího procesu. Konkrétně se z mechanických rotačních vstřikovacích čerpadel přešlo na systém Pumpe-Duse, který přinesl skokový nárůst vstřikovacích tlaků až přes 2000 bar. Tento systém však z principu fungování (zjednodušeně - vačková hřídel stlačuje vstřikovací jednotku, která vytváří požadovaný vstřikovací tlak) nebyl schopen rozdělit dávku vstřiku na více po sobě

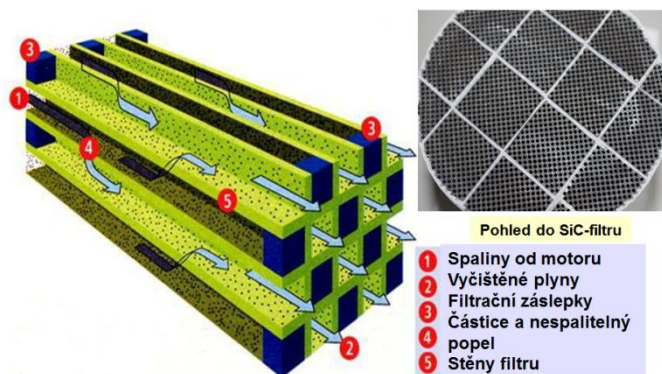
jdoucích malých dávek a tím dokonale smísit palivo se vzduchem. Evoluci přinesl až elektronicky řízený systém CommonRail, který umožňuje takřka neomezeně upravovat poměr vzduchu a paliva s ohledem na pracovní režim motoru a zároveň pracovat s vysokým tlakem paliva - cca 2000 bar. Poslední výzkumy však ukázaly, že právě vysokotlaké vstřikovací systémy jsou daleko větším nebezpečím pro dýchací soustavu, díky velmi malým rozměrům produkovaných pevných částic[21].

I když zkratka je pokaždé jiná, princip funkce DPF a FAP filtrů je stejný. Rozdílnost zkratk je dána jazykem, ze kterého pochází. DPF - diesel particulate filter je z angličtiny a FAP - filtre a particules je z francouzštiny. DPF filtr zachycuje pevné částice a ukládá je. Po zaplnění se provede jejich spálení - tzv. regenerace.

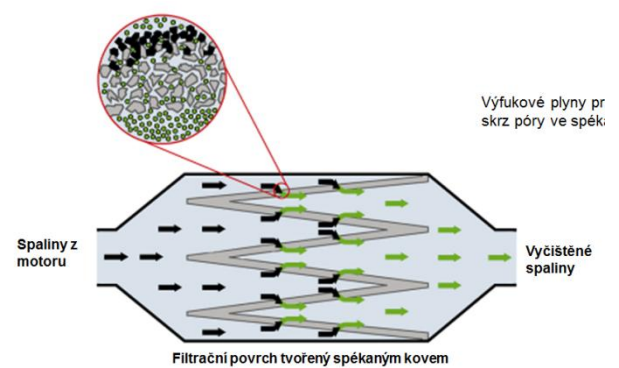
4.3.1 Konstrukce

Výrobci filtrů pevných částic nabízejí dva druhy řešení. První variantou je **uzavřený filtr**, který má voštinovou konstrukci. Komory jsou od sebe odděleny porézními kanálky o tloušťce 300-400 μm . Jimi prochází výfukový plyn a pevné částice se usazují na stěnách a hromadí se. Filtr se vyznačuje vysokou účinností čištění, ale zároveň i vyšším protitlakem.

Druhým možným řešením je filtr **otevřený**. Ten sice průchodu spalin neklade tak velký odpor, s tím ale klesá jeho účinnost přibližně o 50 % [23].

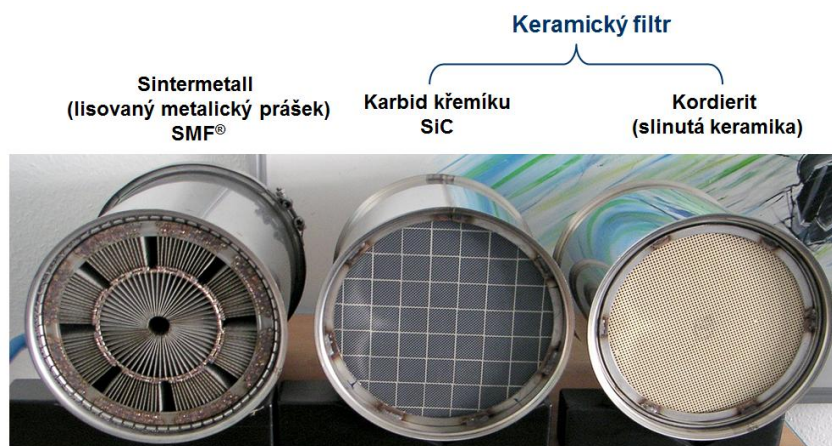


Obrázek 22: Uzavřený částicový filtr[23]



Obrázek 23: Otevřený částicový filtr[23]

Při výrobě se používají různé druhy materiálů. Tělo filtru je obvykle nerozebíratelné a je vyrobeno z nerezové žáruvzdorné oceli. Uvnitř je keramické těleso, které musí mít dobré filtrační schopnosti, odolávat vysokým teplotám a také mít vysokou tvrdost. Těmto požadavkům odpovídá například karbid křemíku (SiC). Další, méně používaná konstrukce filtru, je ze stočeného pletiva[24].



Obrázek 24: Materiály pro výrobu DPF filtrů[23]

4.3.2 Regenerace filtrů

Jakmile dojde k zaplnění filtru pevných částic, je potřeba se částic zbavit, jinak by filtr působil jako ucpávka ve výfuku. To se provede jejich spálením, které je řízeně spuštěno od řídicí jednotky motoru na základě vyhodnocení údajů z čidel, jenž snímají tlak před a za filtrem. Zápalná teplota sazí je cca 550 °C. Tato teplota je obtížně dosažitelná během běžného provozu, proto se musí buď uměle zvýšit teplota výfukových plynů, nebo se musí snížit zápalná teplota sazí[21].

Obecně existují dva způsoby jak spálit saze zachycené v DPF.

- Oxidace sazí pomocí kyslíku (O₂): $C + O_2 \rightarrow CO_2$ (4.17)
- Oxidace sazí pomocí oxidu dusičitého (NO₂): $C + 2NO_2 \rightarrow CO_2 + 2NO$ (4.18)

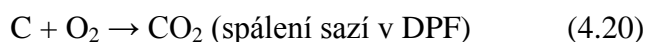
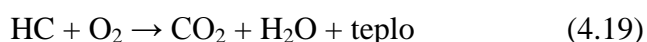
Tabulka 3: Druhy regenerací sazí

	Regenerace pomocí O ₂	Regenerace pomocí NO ₂
Teplota potřebná pro reakci	cca 550 °C	cca 250 °C
Plyn potřebný pro reakci	přebytek O ₂ ve výfukových plynech	NO ₂ se musí teprve vytvořit z NO ve výfukových plynech

4.3.2.1 Aktivní regenerace

Aktivní regenerace je ta, u níž přirozená teplota spalin nestačí na regeneraci filtru pevných částic. Proto je řídicí jednotka motoru nucena udělat kroky, které vedou k tomu, že se teplota výfukových plynů zvýší. V první fázi se vypne recirkulace spalin. Ve druhé se reguluje množství nasávaného vzduchu klapkou v sání tak, aby se omezilo ochlazování spalin.

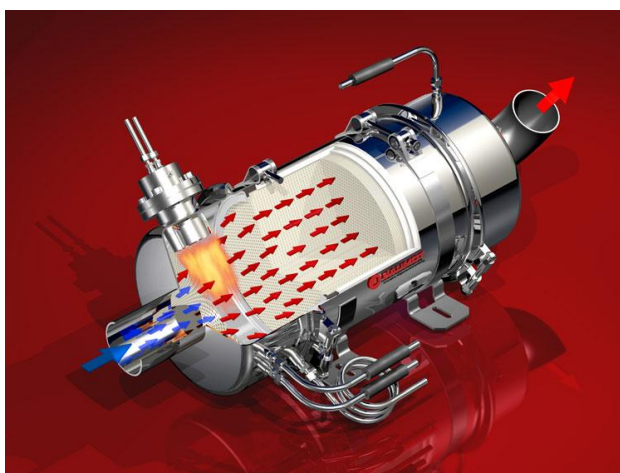
Zároveň s tím musí být plnicí tlak turbodmychadla regulován tak, aby řidič nepocítil změnu krouticího momentu. V poslední fázi se aktivuje dodatečný vstřík paliva 35° za HÚ. Tento krok není problém u vstřikování CommonRail, problém však nastává u systému Pumpe-Duse, kde dávka paliva nejde rozdělit. Tyto systémy byly opatřeny dalším vstřikovačem paliva vyústěným do výfukového potrubí. Výše zmíněné kroky způsobí nárůst teploty výfukových spalin na cca 600 až 650 °C a spalování sazí v DPF. Proces trvá okolo 10ti minut[23].



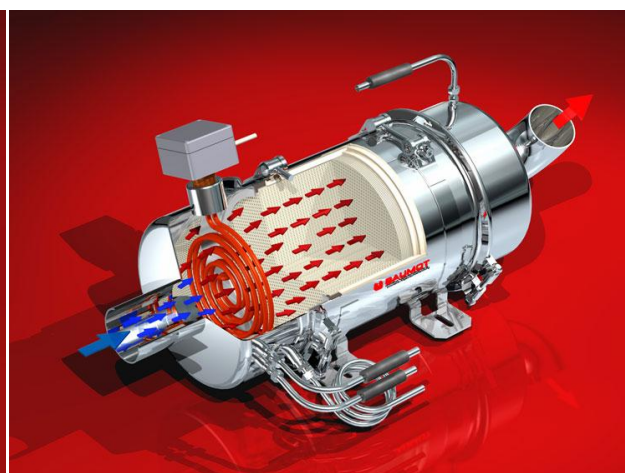
Přirozená regenerace se spustí po dosažení rychlosti cca 40- 50 km/h. Pak trvá i bez sešlápnutého pedálu akcelerace, ale i když vůz zastaví krátce na křižovatce, semaforu atd. Regenerace se tedy nepřeruší pomalou jízdou nebo krátkým zastavením. Pokud vozidlo chvíli stojí se spuštěným motorem, je teplota regenerace tak vysoká, že začne měknout ochranný nátěr nad koncovkou výfuku. Zkušený řidič by tedy měl poznat lehce zvýšené otáčky při stojícím vozidle společně s aktivní regenerací a zvážit tak svoji další cestu. Není dobré v tomto okamžiku jízdu přerušit[23].

Regenerace probíhá po určitém počtu ujetých kilometrů (300 - 1200 km) – dle stavu zaplnění filtru a také jako časově preventivní (max. každých 1200 km). Bohužel po každé regeneraci zbývá ve filtru určitý nespalitelný popel, jenž omezuje životnost filtru. Filtr se tedy stále sám o sobě zaplňuje, až není jiná možnost, než filtr demontovat a nechat odborně vyčistit, popřípadě vyměnit za nový.

Novinkou v oblasti aktivní regenerace se stal systém filtru s hořákem popřípadě topnou spirálou. Tento systém může pracovat i při vypnutém motoru. Regenerace je tedy aktivní při nepoužívání vozu. Uplatnění tento systém našel především u zemědělské techniky.



Obrázek 25: Dodatečný ohřev DPF pomocí hořáku[23]



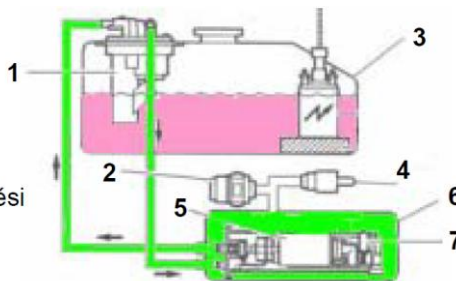
Obrázek 26: Dodatečný ohřev DPF pomocí topné spirály[23]

4.3.2.2 Pasivní regenerace

Pasivní regenerace je ta, u níž přirozená teplota výfukových spalin stačí na regeneraci filtru pevných částic. Regenerace DPF probíhá kontinuálně bez intervence ŘJ motoru. Volí se dvě cesty – snížení zápalné teploty sazí nebo zvýšení teploty výfukových spalin.

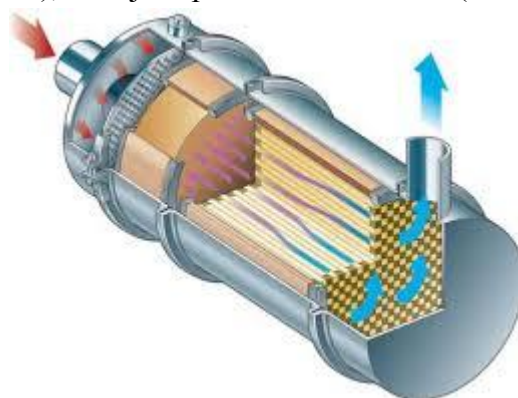
Systém pro snížení zápalné teploty spalin se nazývá tzv. mokrá cesta. Tento systém využívá aditivum (obchodní název je EOLYS), které je automaticky přimícháváno do nádrže s palivem. Aditivum EOLYS snižuje zápalnou teplotu sazí o cca 100 °C. To má příznivý vliv na opotřebení oxidačního katalyzátoru, který bývá před DPF filtrem. Bohužel díky zvýšené kumulaci aditiv ve filtru ve formě nespalitelných popílku je u tohoto systému kratší životnost DPF filtru. Snížení zápalné teploty pomocí aditiva není dostatečné pro městský provoz, proto se používá v kombinaci s aktivní regenerací[21].

1. Vstřikovací ventil příměsi
2. Přepadový uzávěr
3. Palivová nádrž
4. Pojistný ventil
5. Čerpadlo pro vstřikování příměsi
6. Nádrž na příměs
7. Snímač hladiny příměsi

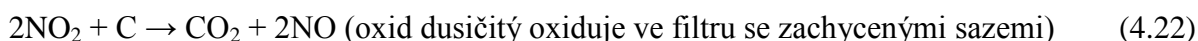


Obrázek 27: Dávkování aditiva EOLYS do nádrže s palivem[25]

Druhou možností je tedy zvýšení teploty výfukových spalin, jež je nazýván jako suchá cesta. Tento systém využívá ke své práci předřazený oxidační katalyzátor, jenž je v jednom obalu s DPF blízko motoru (CRT systém). Dovoluje kontinuální pasivní regeneraci filtru při nižších teplotách výfukových spalin (250 - 400 °C), než je teplota vznícení sazí (min. 550 °C). Úlohou oxidačního katalyzátoru je přeměňovat nespálené uhlovodíky HC, oxid uhelnatý CO a oxid dusnatý NO (95% z NO_x) na méně škodlivé CO₂, H₂O a NO₂ (oxid dusičitý) – vytváří NO₂ pro DPF. NO₂ (oxid dusičitý) slouží v DPF jako oxidační činidlo pro spálení sazí při nižší teplotě výfukových spalin - již od 200 °C [21].



Obrázek 28: CRT systém[25]

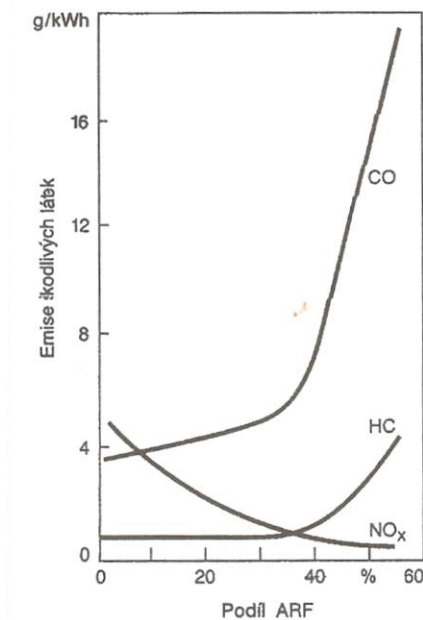


4.4 Recirkulace výfukových plynů - EGR

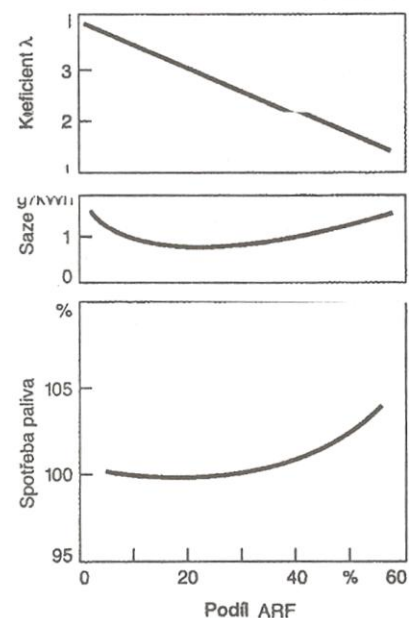
EGR (Exhaust Gas Recirculation) - slouží pro snížení produkce emisí NO_x . Oxidy dusíku vznikají při vyšších teplotách spalování a při velkém přebytku vzduchu - typické pro vznětový motor. Pro snížení hladiny NO_x se část výfukových plynů přivádí zpět na stranu sání, tím se snižuje množství čerstvě nasávaného vzduchu, tím klesá teplota spalování a produkce NO_x [26].

System recirkulace spalin je aktivní pouze při nízkém a středním zatížení motoru, při požadavku na výkon se recirkulace vypíná, protože snižuje výkon a při vysokých otáčkách je tvorba NO_x menší díky kratšímu času hoření.

Do určitého bodu může zvyšování podílu zbytkových plynů působit pozitivně na přeměnu energie a tím spotřebu paliva, avšak při větším množství recirkulovaných plynů dochází ke snížení výkonu a především ke zvýšené produkci nespálených uhlovodíků HC, CO, sazí a také ke zvýšené spotřebě paliva. Dalším faktorem, který se opět negativně projeví na výkonu motoru a jeho spotřebě je ta skutečnost, že pevnými částicemi ze spalin se zanáší sací potrubí. Vrstva karbonu postupně narůstá a u málo udržovaných vozů může být silná několik milimetrů. Tím se výrazně omezí objem nasávaného vzduchu zejména při vyšších otáčkách motoru [1][5].



Obrázek 29: Vliv podílu recirkulovaných výfukových plynů na emise škodlivých látek[5]

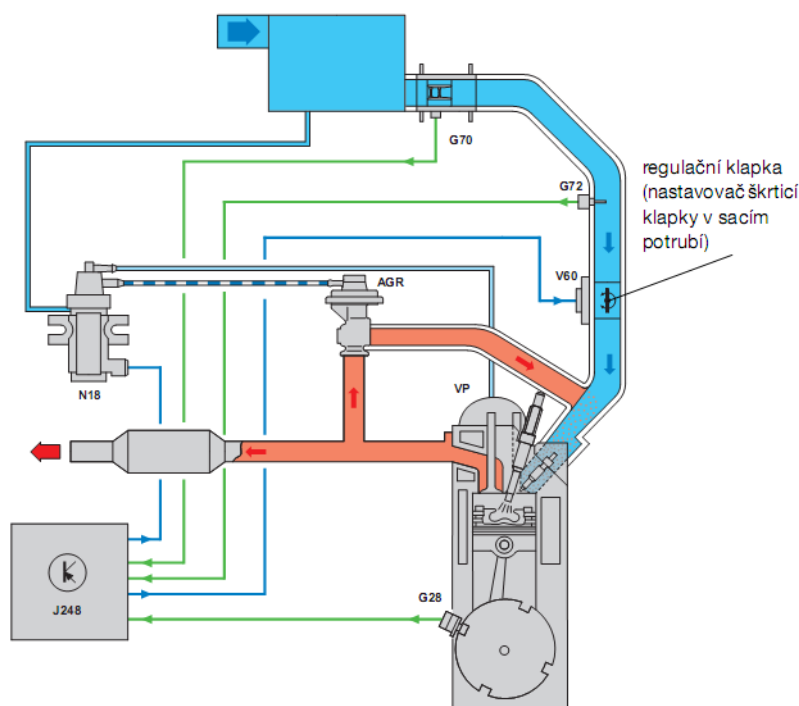


Obrázek 30: Vliv podílu recirkulovaných plynů na koeficient λ , emise sazí a spotřebu[5]

K recirkulaci výfukových plynů se používá tzv. EGR (AGR) ventil. Je to ventil umístěný do výfukového potrubí, který přepouští spaliny do potrubí sacího. Tento ventil může být buď čistě elektronický - poté je jeho ovládání čistě v kompetenci řídicí jednotky motoru, nebo pneumatický, kdy má jeho otevírání a zavírání na starost podle pokynů řídicí jednotky EPV ventil. Řídicí jednotka opět přizpůsobuje jeho ovládání na základě hodnot z čidel, jako je například snímač teploty chladicí kapaliny, snímač polohy plynového pedálu nebo průtokoměru. EGR ventily jsou dvojího druhu [1].

4.4.1 Vysokotlaká recirkulace spalín

U vysokotlakého systému je ventil EGR umístěn na sběrném výfukovém potrubí hned za motorem, v případě turbomotorů ještě před turbodmychadlem. Tento systém byl historicky prvním a má řadu nevýhod. Především tu, že spaliny přepouštěné do sacího potrubí nejsou sazí zbavené - sací potrubí se zanáší a snižuje se průtočný průřez. Další nevýhodou je vysoká teplota spalín. Řešením je chlazení plynů chladicí kapalinou motoru. Systém s tím však nabývá na složitosti. V neposlední řadě nesmíme zapomenout na fakt, že EGR ubírá výfukové plyny turbodmychadlu a tím odebírá výkon. Výhodou je rychlejší zahřátí katalyzátoru a filtru pevných částic a tím jejich rychlejší funkčnosti [21].



Legenda:

N18 – elektropneumatický ventil

AGR – mechanický podtlakový ventil

VP – vakuová pumpa (zdroj podtlaku)

G70 – průtokoměr

G72 – snímač teploty v sání

V60 – nastavovač škrtící klapky

G28 – snímač otáček motoru

J248 – ŘJ motoru

Obrázek 31: Schéma systému recirkulace spalín, motor 1.9l SDI[21]



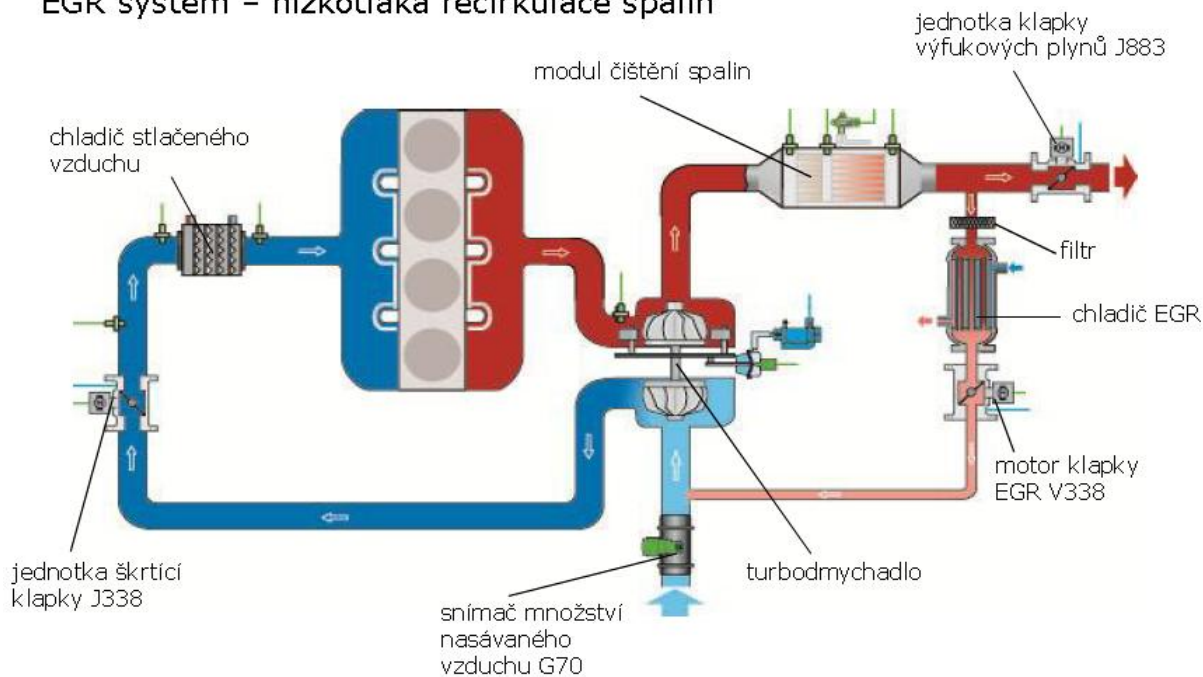
Obrázek 32: EGR ventil pneumaticky ovládaný[25]

4.4.2 Nízkotlaká recirkulace spalin

V tomto případě jsou výfukové plyny odebírány až za filtrem pevných částic. Hlavní výhodou je tedy to, že výfukové plyny jsou zbaveny sazí. Tím se sací potrubí ani další jeho části nezanášejí. Spaliny mají zároveň nižší teplotu - stačí menší chladič pro ochlazování spalin. To vede ke zvýšení objemové účinnosti plnění motoru. Díky odběru spalin až za DPF nedochází k poklesu hmotnostního průtoku spalin pro turbínu [21].

Diesellové motory – EA288

EGR systém – nízkotlaká recirkulace spalin



Obrázek 33: Nízkotlaká recirkulace spalin[21]

5 Diagnostika emisně relevantních komponent

Diagnostikou se rozumí taková činnost, při které je zjišťován skutečný stav objektu a to především bezdemontážně. To je důležité zejména proto, že každá demontáž a montáž funkčních částí vozidla urychluje opotřebení již zaběhnutých pohyblivých spojů a částí. Zároveň jsme schopni vyzkoušet součásti jako fungující celek a to zpravidla za běhu systému. Tento způsob je rychlejší a efektivnější. Zjištění technického stavu systému znamená určit hodnoty strukturních parametrů a porovnat je s parametry správnými.

Nástup elektronických systémů do řízení motorových jednotek se spalovacími motory, pasivních a aktivních bezpečnostních systémů a postupně do dalších částí řízení jízdních vlastností vozidel, si vynutil a také umožnil nový přístup v diagnostice těchto systémů.

Rozhodujícími faktory, které se sledují a navzájem i ovlivňují, je výkon, spotřeba a emise. Legislativa jednotlivých zemí postupně zpříšňovala akceptovatelné emisní limity a v zájmu splnění přísnějších požadavků se postupně vyvíjely jednotlivé systémy řízení motorů a rostl podíl elektroniky v jejich řízení. Samozřejmě dosáhnout tyto požadavky vedlo konstruktéry vozidel a motorů k různým variantám řešení a k implementaci tzv. palubní diagnostiky [27].

Základními metodami pro hledání závad u motorových vozidel jsou:

- Vnitřní diagnostika - sériová.
- Vnější diagnostika - paralelní.

5.1 Sériová diagnostika

Je komunikace s řídicí jednotkou pomocí zařízení k tomu určených, umožňujících čtení chybových kódů, sledování hodnot měřených a zprostředkovaných řídicí jednotkou, nebo programování řídicí jednotky (mazání naučených hodnot, základní nastavení...). Sériová diagnostika zahrnuje test elektronických systémů (řízení motoru, převodovky, ABS/ASR, airbagů, nulování servisních intervalů pomocí komunikace s řídicí jednotkou).

Vnitřní (sériová) diagnostika umožňuje:

- Vyčtení paměti závad.
- Vymazání paměti závad.
- Čtení skutečných hodnot.
- Test akčních členů.
- Základní nastavení.
- Konfigurace ŘJ.

Výhody komunikátorů s řídicími jednotkami:

- Rychlá orientace čtením chybových hlášení, pokud jsou hlášeny právě prvotní chyby.
- Rychlé sledování hodnot zprostředkovaných řídicí jednotkou.
- Možnost vyzkoušení akčních členů.
- Mazání naučených hodnot, popřípadě jejich programování.

Nevýhody komunikátorů s řídicími jednotkami:

- Chybná orientace čtením chybových hlášení, pokud jsou hlášeny druhotné chyby.
- Sledování hodnot zprostředkovaných řídicí jednotce, pokud jsou tyto hodnoty zkreslené závadou.
- Nejistitelnost závad vzniklých v řídicí jednotce nesledovaných sektorů (např. kvalita hoření jiskry, komprese, tlak paliva, veškeré zkreslené signály ať už mechanického či elektrického původu, netěsnosti sání či výfuku, atd.).

Metoda hledání závady čtením chybových hlášení vede k cíli jen tehdy, je-li hlášená závada přímou příčinou poruchy. Řídicí jednotka je vybavena omezenou logikou, kterou jí vdechnul programátor. Vychází z předem naprogramovaných povolených mezních hodnot, které byly stanoveny na základě výpočtů, měření, zkušeností. Tato omezená logika je někdy příčinou nedorozumění, kdy paměť závad hlásí chybu v systému, ve kterém chyba ve skutečnosti není.

Zjištěné závady nebo odchylky od předpokládaných hodnot se ukládají do paměti závad a mohou být označeny buď jako:

- **Dočasné (sporadické)** – závady, které se objevují pouze občas. ŘJ je může z paměti vymazat, pokud nedojde k projevu závady během několika následujících jízdních cyklů.
- **Trvalé (statické)** – závada je zjištěna při každém jízdním cyklu.

Při zjištění závady, která má vliv na emise škodlivin, dojde k aktivaci kontrolky MIL a uložení chyby do paměti závad. Řidič je tímto informován, že došlo k závadě, která ovlivňuje emise. Systém řízení motoru v některých případech přejde do tzv. nouzového režimu (např. dojde k omezení vstřikované dávky paliva – následkem je snížený výkon motoru). Řidič je tak donucen, aby se postaral o odstranění závady.

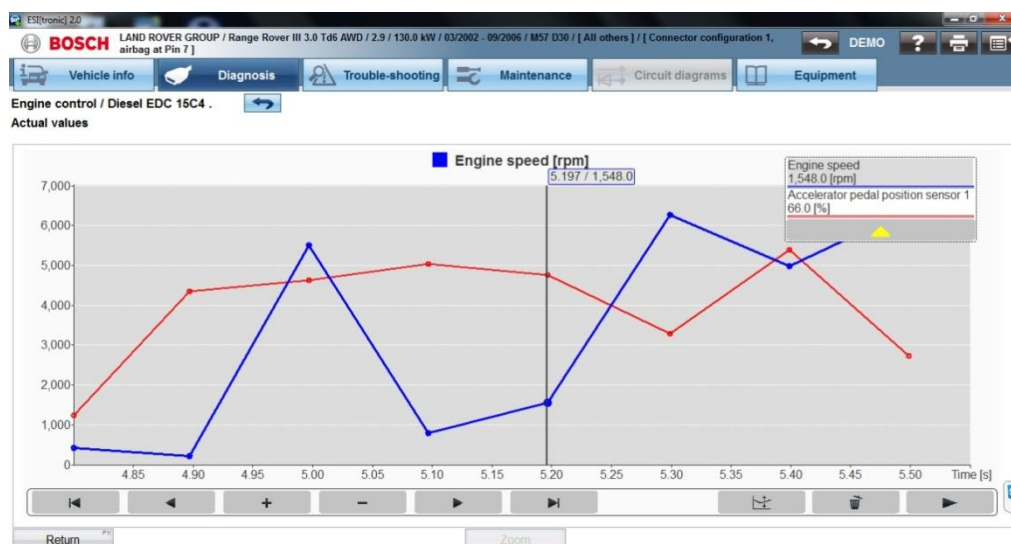


Obrázek 34: Kontrolka MIL[Autor]

V níže zobrazených měřeních budu používat sériovou diagnostiku ESI-TRONIC od výrobce BOSCH, nebo diagnostiku VAG-COM zaměřenou na koncernová vozidla.



Obrázek 35: Diagnostický modul Bosch KTS 540[Autor]



Obrázek 36: Příklad naměřených hodnot sériovou diagnostikou[Autor]

5.2 Paralelní diagnostika

Paralelní diagnostika zahrnuje dynamická měření průběhů napětí a proudů vybraných komponent (snímačů, akčních členů) pomocí digitálního osciloskopu. Ze zachycených tvarů průběhů lze usuzovat stav testované komponenty, případně kvalitu probíhajícího procesu (např. průběh spalování). Touto metodou se dají kontrolovat systémy zapalování, vstřikování, komprese jednotlivých válců, účinnost katalyzátoru a dají se odhalit různé mechanické závady - například špatně nastavené rozvody, netěsnost ventilů, opotřebení pístních kroužků atd.

Hlavními prostředky jsou multimetr, osciloskop popřípadě emisní analyzátor.

Výhody paralelní diagnostiky

- Možnost zastavení průběhu na obrazovce a jeho následná analýza.
- Možnost ukládání záznamu na disk a jeho offline analýzu – lze odhalit sporadické anomálie v měřeném signálu.
- Automatické měření parametrů signálu (zejména veličin vhodných pro automobilní diagnostiku jako např. otáčky, střída, velikost napětí a proudu atd.).

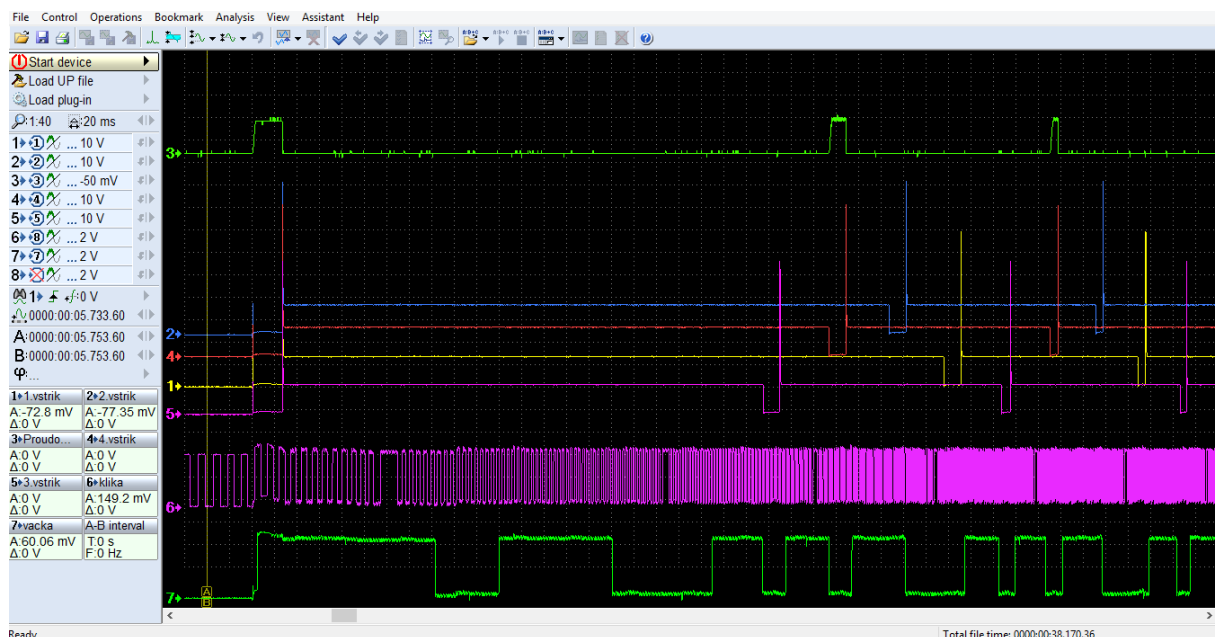
Nevýhody paralelní diagnostiky

- Časově náročné.
- Nutnost zkušeností mechanika.
- V prvotním hledání závady nás nenavede jako sériová diagnostika.

Pro vyhodnocení je nutné znát údaje od výrobce, vzorové dynamické průběhy apod. To vede k nutnosti zkušenosti diagnostika nebo použití dílenských příruček k vozidlu obzvláště k využití příslušných elektrických schémat.

Z výše uvedeného plyne, že je nutné používat jak sériovou, tak i paralelní diagnostiku. Sériová diagnostika nás navede na určitý okruh, ve kterém se vyskytuje problém. Paralelní diagnostikou pak jsme schopni ověřit funkčnost určité komponenty před její zbytečnou výměnou (jinak se mrhá časem a penězi zákazníka). Velmi důležitou roli hraje i výpověď zákazníka o chování vozidla při poruše, která pomůže nasměrovat diagnostika správným směrem.

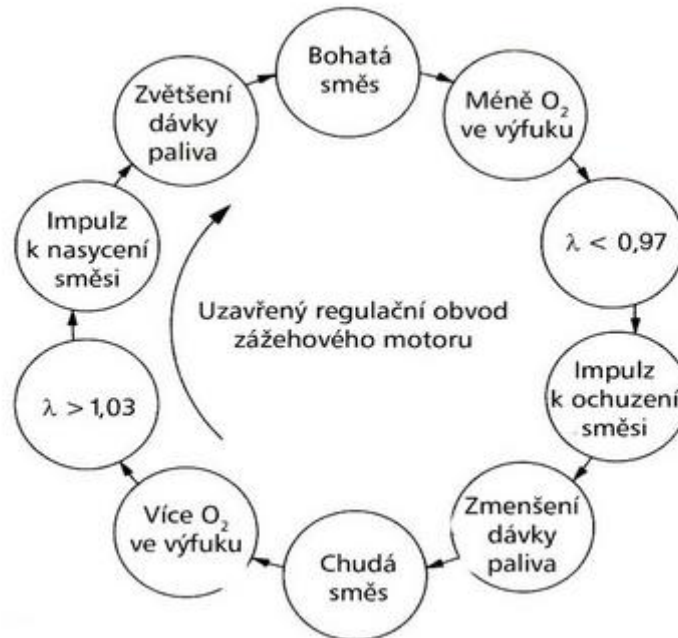
V následujících měřeních budu používat osciloskop Autoscope II.



Obrázek 37: Vzorový průběh naměřeného signálu pomocí osciloskopu[Autor]

5.3 Test lambda sond

Lambda sonda před katalyzátorem je důležitý prvek, pomocí kterého se řídí dávkování paliva. Vlivem poruchy funkce lambda sondy systém dávkování paliva nepracuje správně. Systém modulace směsi je znázorněný na obrázku 38.



Obrázek 38: Systém modulace směsi[28]

5.3.1 Dvoubodová lambda sonda

Správnost funkce řídící dvoubodové lambda sondy nejsme schopni zachytit sériovou diagnostikou. Ta sice je schopná vyčíslit hodnotu napětí lambda sondy, popřípadě zda je aktivní vyhřívání sondy nebo ne, avšak kvůli nedostatečné vzorkovací frekvenci nejsme schopni zachytit tak rychlou změnu napětí, jakou lambda sonda vytváří. Proto je nejlepší pro ověření její funkce použít osciloskop, nicméně pro rychlou a nenáročnou kontrolu můžeme využít i diagnostiku sériovou.

Při jakých příznacích test provádět?

- Nepravidelný volnoběh.
- Zvýšená spotřeba paliva.
- Cukání motoru.

Chybová hlášení v paměti závad ŘJ

- Adaptační hodnoty mimo toleranci.
- Směs příliš chudá/bohatá.
- Lambda sonda – nesmyslný signál.

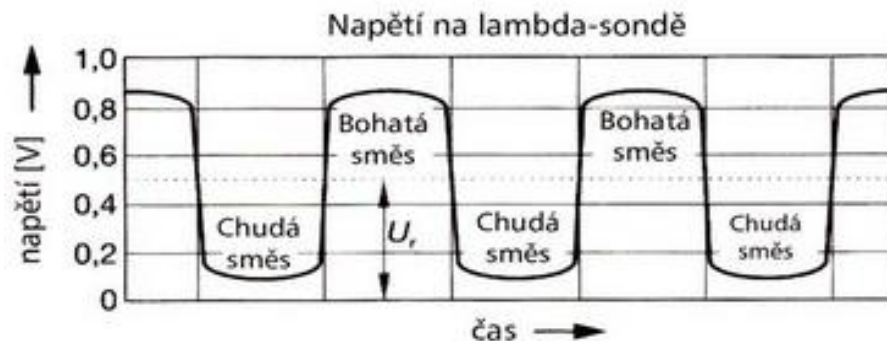
Podmínky testu

- Obvod vyhřívání lambda sondy v pořádku.
- Motor vozidla zahřátý na provozní teplotu.

Princip testu

Osciloskop - Princip testu spočívá v napěťové odezvě lambda sondy při akceleraci/deceleraci motoru. Při akceleraci musí vykazovat kladné napětí (bohatá směs), při deceleraci napětí blízké nule (chudá směs – odpojené vstřikování při deceleraci).

Diagnostika Bosch - Sledování vykazovaných hodnot za stejných podmínek jako při testu osciloskopem. Možnost transformace dat do grafu pro lepší přehled.



Obrázek 39: Správný průběh napětí na lambdasondě

Průběh testu

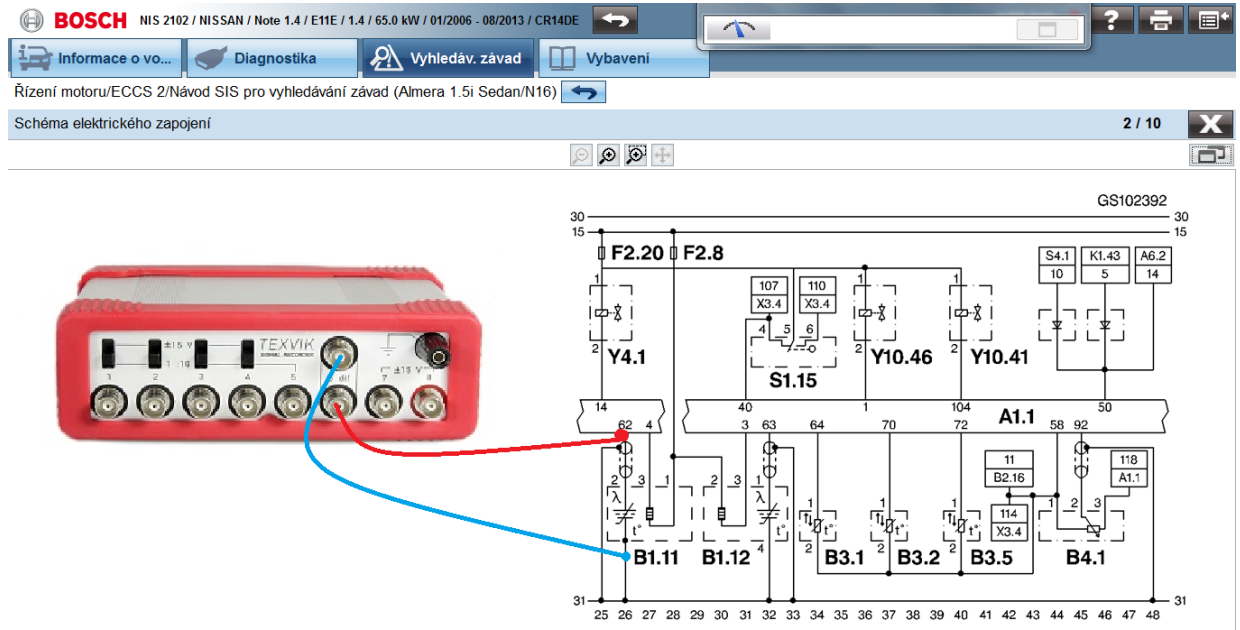
- Provést několik volných akcelerací pro zahřátí lambda sondy a výfukového potrubí.
- Poté rozpojit konektor lambda sondy a provést opět několik volných akcelerací, zaznamenávat průběh napětí. Rozpojením konektoru měříme přímo na samotné lambda sondě, měření není ovlivněno případným protinapětím z ŘJ. Sonda se bude ohřívat z výfukových plynů. Tento princip platí jen pro paralelní diagnostiku. U testu sériovou diagnostikou musí být konektor zapojen, jinak dojde k přerušení obvodu a tím k znemožnění měření [21].

Vyhodnocení testu

- Napětí lambda sondy nesmí vykazovat hodnotu $< 0,1\text{V}$ při deceleraci.
- Při akceleraci musí být napětí vyšší než $0,7\text{V}$.
- Porovnání signálu se správným průběhem.

Napojení osciloskopu

- Viz schéma.
- Nutno použít diferenciální vstup CH6 - nemůžeme použít vstup pro kostru od vozidla, neboť budeme měřit na odpojené lambdasondě.

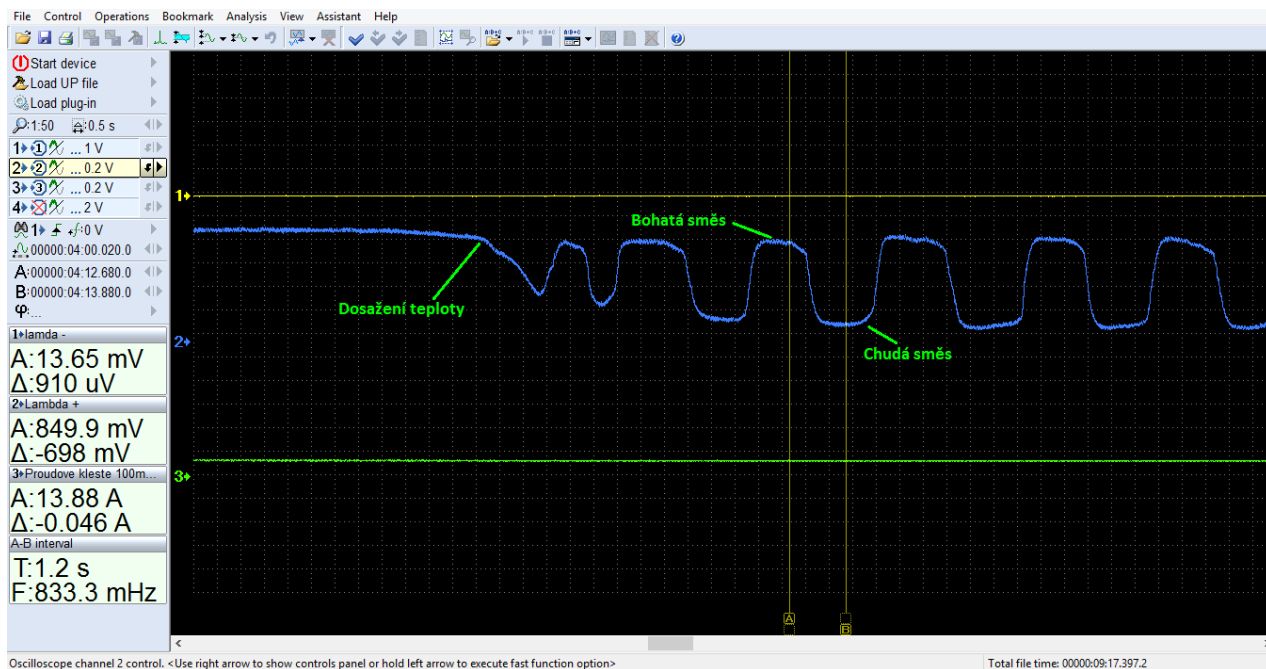


Obrázek 40: Zapojením osciloskopu při měření dvoubodové lambda sondy[Autor]

Vlastní test paralelní diagnostikou

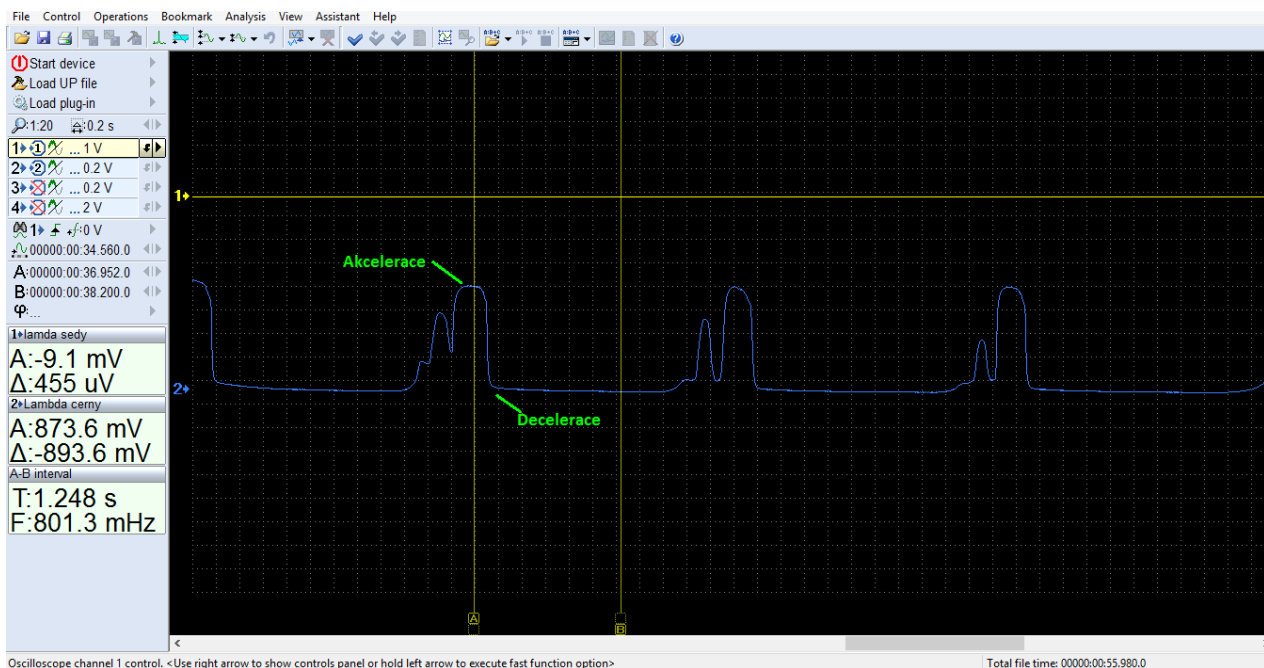
Před vlastním měřením je dobré vyčistit paměť závad sériovou diagnostikou, abychom měli jistotu, že některá z funkcí nebude omezená řídicí jednotkou (př. vyhřívání). Vyhřívání sondy můžeme při zapnutém zapalování změřit multimetrem - správná hodnota je mezi 6 - 12 Ω . Po zapojení osciloskopu podle předem připraveného schématu následuje nastavení hodnot na jednotlivých kanálech (u Autoscopu není nutnost - signál se dá zpracovávat až po změření). Nyní nastává vlastní měření.

Na obrázku č. 42 můžeme vidět, jak lambda sonda (a s ní lambda regulace) začíná pracovat až po dosažení určité teploty. Jakmile však teploty dosáhne, vidíme znatelnou modulaci směsi - přechod mezi bohatou (849 mV) a chudou směsí (151 mV).



Obrázek 41: Začátek lambda regulace[Autor]

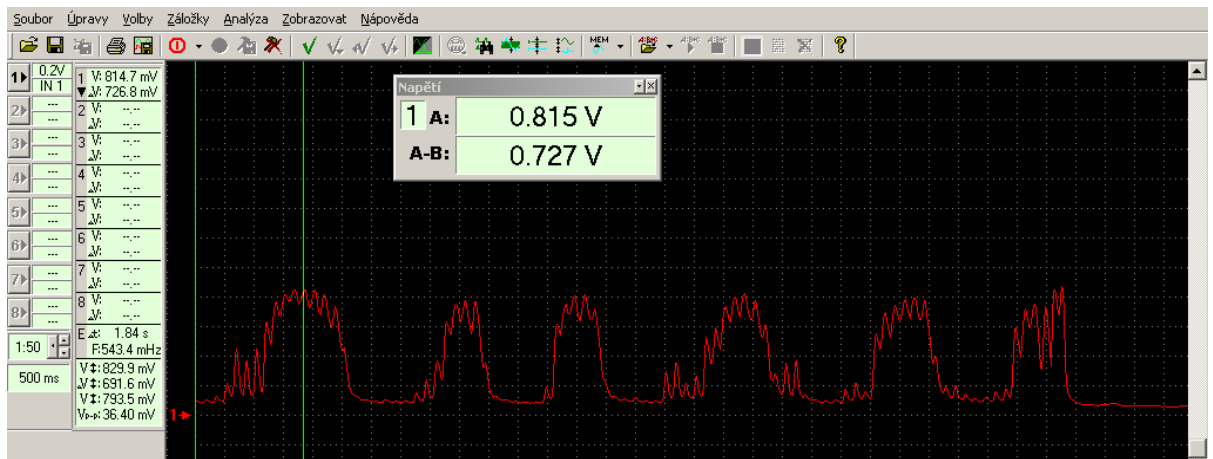
Nyní je sonda zahřátá - můžeme tedy rozpojit konektor a udělat pár volných akcelerací.



Obrázek 42: Chování lambda sondy při akceleracích[Autor]

Na obrázku vidíme tři volné akcelerace. Při akceleraci je hodnota napětí 0,8 V - bohatá směs - a při deceleraci je 0 V - chudá směs. Můžeme tedy říci, že námi zkoušená lambda sonda funguje správně.

Závadové průběhy



Obrázek 43: Závadový průběh lambda sondy[Autor]

Na obrázku č.44 je vidět závadový průběh lambda sondy. Jsou na něm zaznamenány tzv. kyslíkové šoky, které však nesouvisejí se špatnou funkcí sondy. Problém bude nejspíše uvnitř motoru - opotřebované pístní kroužky, velká vůle ventilů atd.

Vlastní test paralelní diagnostikou

V tomto testu si necháme pomocí funkce Skutečné hodnoty zobrazit otáčky motoru, napěťovou hodnotu lambda sondy a její vyhřívání. Pro lepší orientaci si hodnoty necháme vykreslovat do grafu.

BOSCH NIS 2102 / NISSAN / Note 1.4 / E11E / 1.4 / 65.0 kW / 01/2006 - 08/2013 / CR14DE KTS 640

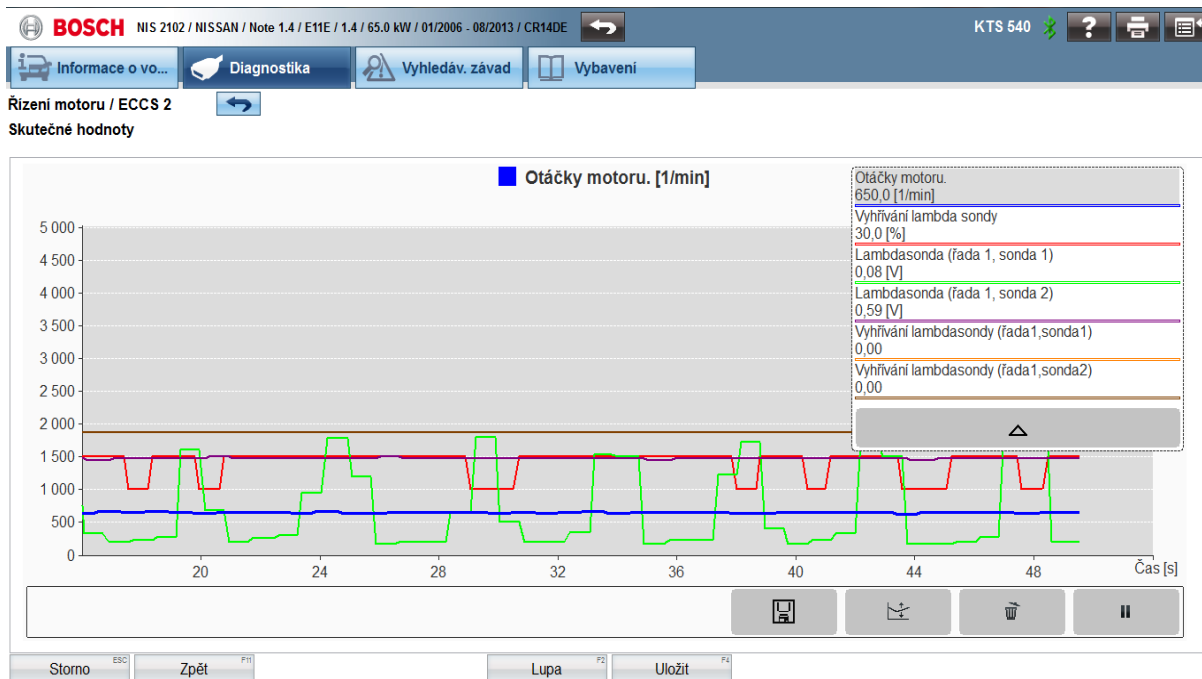
Informace o vo... Diagnostika Vyhledáv. závad Vybavení

Řízení motoru / ECSS 2 Skutečné hodnoty

Otáčky motoru 650 1/min	Motor nechte běžet na volnoběh.
Vyhřívání lambda sondy 30 %	Motor nechte běžet na volnoběh.
Lambdasonda (řada 1, sonda 1) 0,66 V	Motor nechte běžet na volnoběh.
Lambdasonda (řada 1, sonda 2) 0,61 V	Má význam jen tehdy, pokud je zamontováno.
Vyhřívání lambdasondy (řada1,sonda1) Vyhřívání sondy lambda (f1,s1) zap.	Motor nechte běžet na volnoběh.
Vyhřívání lambdasondy (řada1,sonda2) Vyhřívání sondy lambda (f1,s2) vyp.	Má význam jen tehdy, pokud je zamontováno.

Storno ESC Zpět F11 Čas. průběh F8 Uložit F2 Maximál F3

Obrázek 44: Aktuální hodnoty lambda sondy v sériové diagnostice[Autor]



Obrázek 45: Aktuální hodnoty lambda sondy v sériové diagnostice - graf[Autor]

Z obrázků je vidět přibližný napět'ový průběh řídicí lambda sondy (zelený průběh). Je však znát nízká vzorkovací frekvence sériové diagnostiky, proto je tvar signálu tak "kostrbatý". Zde je tedy patrná výhoda paralelní diagnostiky při tomto testu, byť je časově náročnější.



Obrázek 46: Měření bylo prováděno na vozidle Nissan Note 1.4[Autor]

5.3.2 Širokopásmová lambda sonda

Na rozdíl od měření dvoubodové lambda sondy, při měření lambda sondy širokopásmové můžeme použít s určitou nepřesností při měření diagnostiku sériovou. Důvodem tomu být spojitý signál, který lambda sonda generuje. Tento způsob měření je však pouze orientační a slouží pro rychlou kontrolu modulace směsi, důkladná kontrola funkce širokopásmové lambda sondy je možná pouze opět za použití paralelní diagnostiky v podobě osciloskopu.

Jak již bylo výše zmíněno (kapitola 4.1.2 Širokopásmová lambda sonda) širokopásmová lambda sonda pracuje při přibližně dvakrát vyšší teplotě, než sonda dvoubodová. Je tedy náchylnější pro správnou funkci vyhřívání, které je shodné se sondou dvoubodovou. Při odpojení sondy musíme proto postupovat velmi rychle.

Při jakých příznacích test provádět?

- Nepravidelný volnoběh.
- Zvýšená spotřeba paliva.
- Cukání motoru.

Chybová hlášení v paměti závad ŘJ

- Adaptační hodnoty mimo toleranci.
- Směs příliš chudá/bohatá.
- Lambda sonda – nesmyslný signál.
- Apod.

Podmínky testu

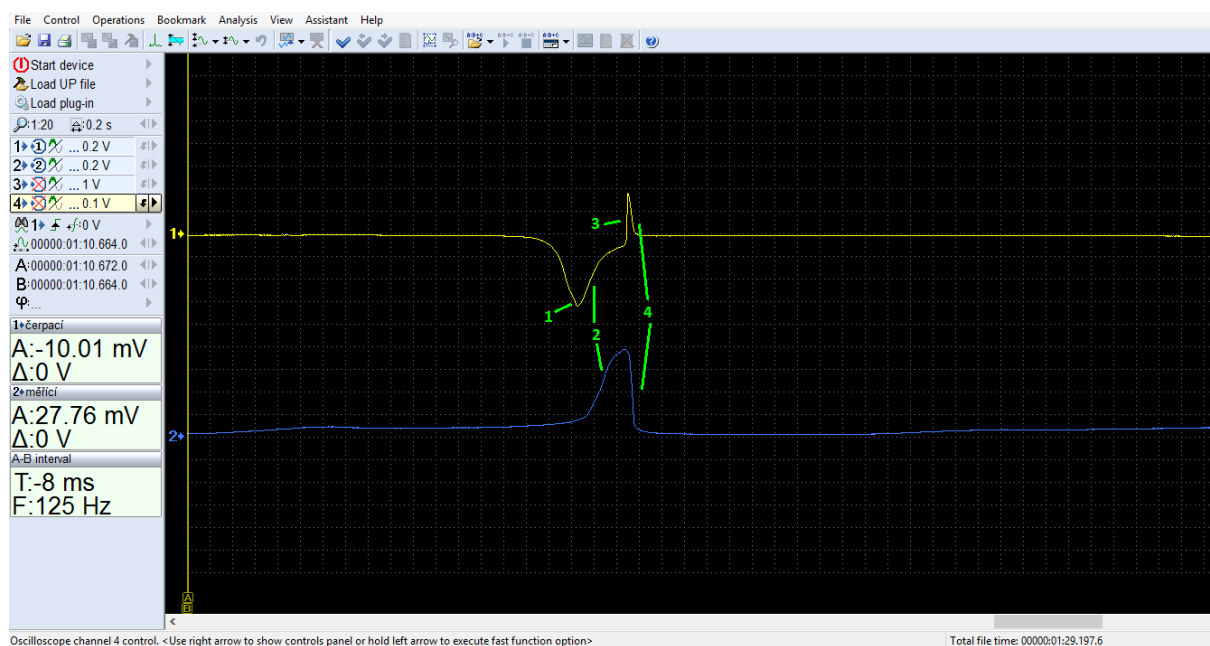
- Obvod vyhřívání lambda sondy v pořádku.
- Motor vozidla zahřátý na provozní teplotu.

Princip testu

Osciloskop - Princip testu spočívá v napěťové odezvě lambda sondy při akceleraci/deceleraci motoru. Vlivem akcelerace/decelerace dochází ke změnám v dávkování paliva (bohatá/chudá), napětí na sondě musí tomu patřičně odpovídat. Oproti dvoubodové lambda sondě se u širokopásmové kontrolují oba články - měřící i čerpací [21].

Diagnostika Bosch - Stejný princip jako za použití osciloskopu, s tím rozdílem, že sériová diagnostika nám neumožní sledovat průběh měřícího článku.

Vlastní test paralelní diagnostikou



Obrázek 48: Průběh napětí měřícího a čerpacího článku na širokopásmové lambda sondě[Autor]

Kanál 1 (žlutý) - čerpací článek

Kanál 2 (modrý) - měřící článek

Popis:

1 – Akcelpace – obohacení směsi. Reaguje nejprve čerpací článek – jeho napětí dosahuje max. záporné hodnoty $-0,6$ V. Čerpací článek reaguje jako první, protože měřící článek ještě nezaregistroval změnu kyslíku.

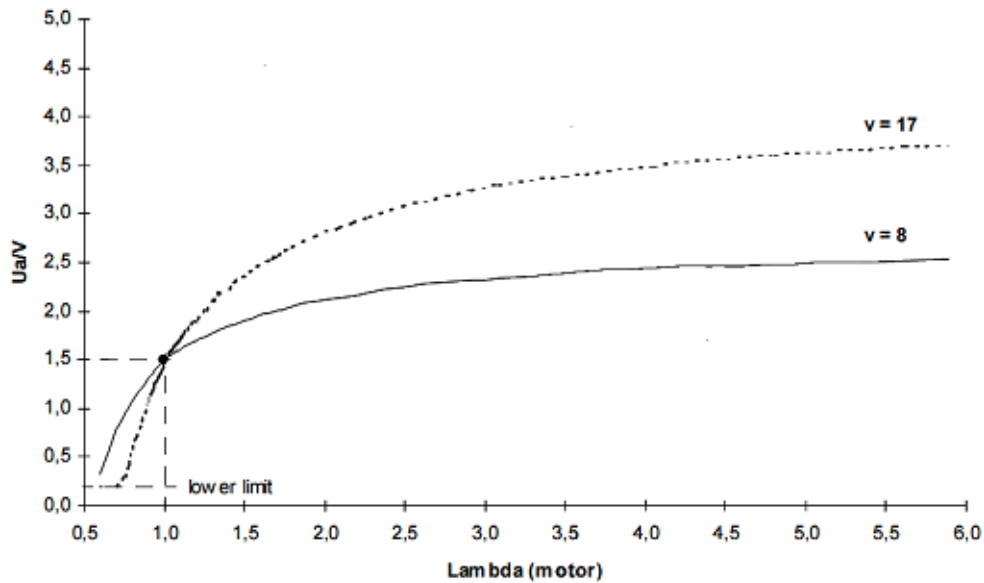
2 – Na obou elektrodách čerpacího článku se začíná vyrovnávat kyslíkové prostředí (spaliny s nedostatkem kyslíku pronikají pozvolna difúzní štěrbinou do společného měřícího kanálku), napětí na čerpacím článku se vrací na hodnotu 0 V. Zároveň začíná na bezkyslíkový stav ve štěrbině reagovat měřící článek, jeho napětí pozvolna roste do kladných hodnot.

3 – Decelerace. Pouze napětí čerpacího článku registruje významnou změnu na kyslíkový stav (odpojení vstřikování). Difúzní štěrbinu zabraňuje rychlé změně na měřícím článku.

4 - Difúzní štěrbinou pronikl kyslíkový stav i k měřícímu článku, v čerpacím článku se kyslíkové prostředí na jeho elektrodách vyrovnávají. Napětí na obou člancích klesá k nule.

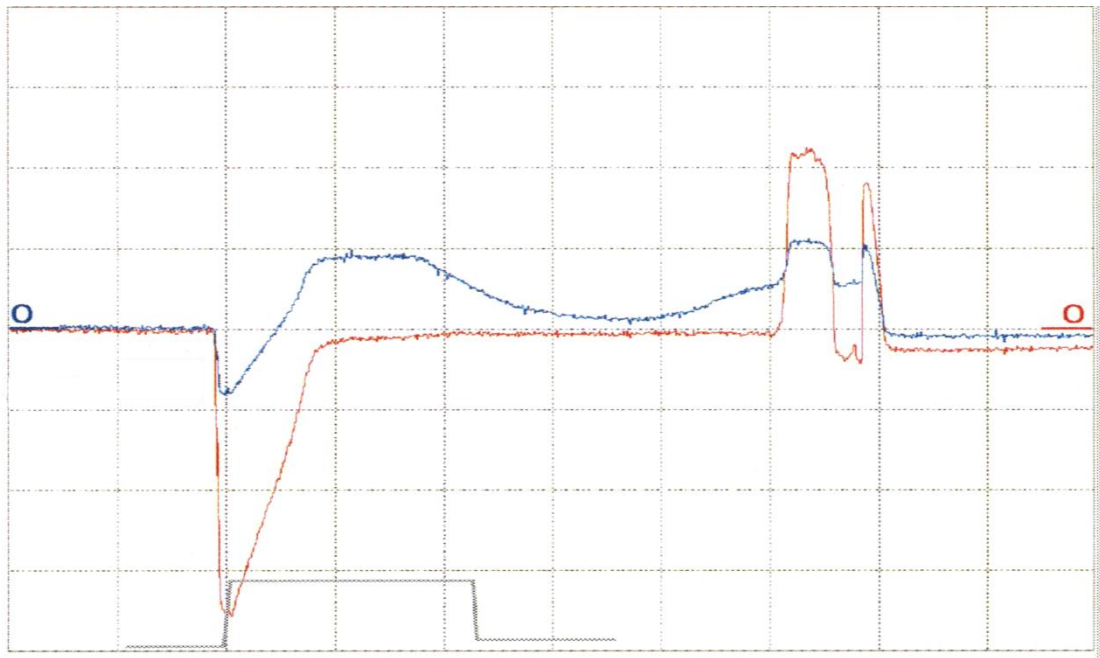
Poznámka: Měření jsme prováděli na odpojené sondě. Do měření tedy není započítána povýšená kostra o hodnotě 2,5 V. Při vyčítání hodnot ze sériové diagnostiky tedy musíme počítat s přírůstkem 2,5 V na hodnotě čerpacího napětí, které řídicí jednotka započte do hodnoty vyčítané sériovou diagnostikou. Bez znalosti převodní charakteristiky sondy

ovšem nejsme schopni určit přesnou hodnotu lambda! Jsme pouze schopni určit přesnou stechiometrickou směs ($\lambda = 1$), které mají všechny převodní charakteristiky při hodnotě $U = 1,5V$. Můžeme tedy určit, jestli je směs bohatá či chudá, ne však jak moc.



Obrázek 49: Převodní charakteristiky dvou různých širokopásmových lambda sond[29]

Závadové průběhy

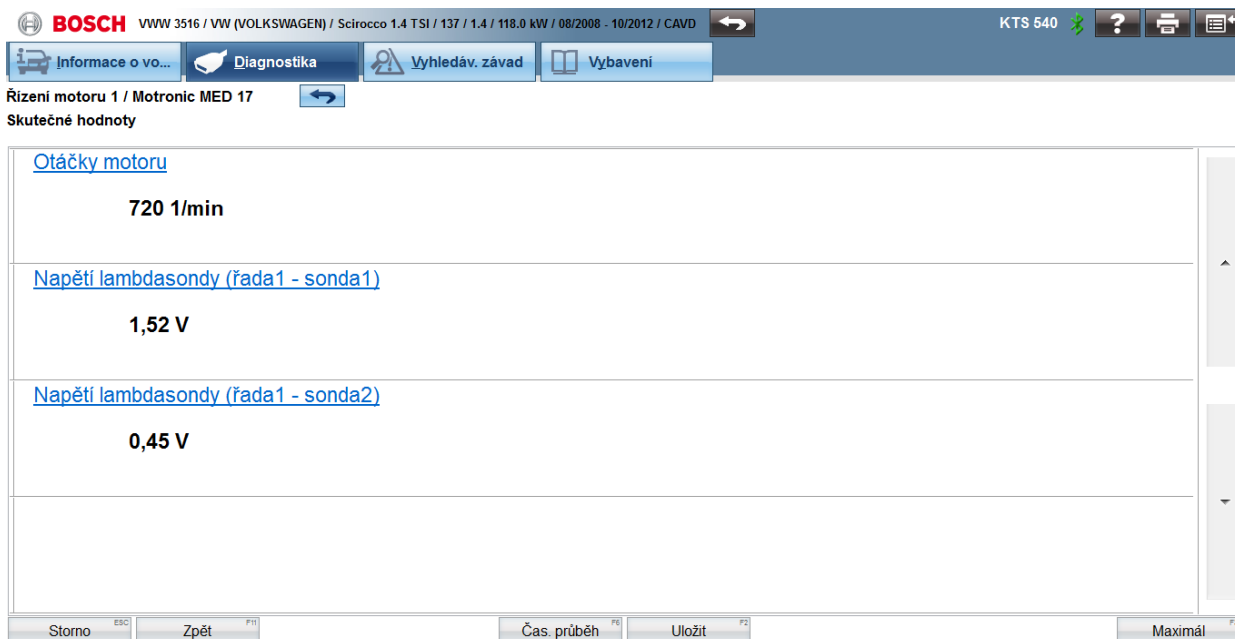


Obrázek 50: Závadový průběh napětí měřícího a čerpacího článku[29]

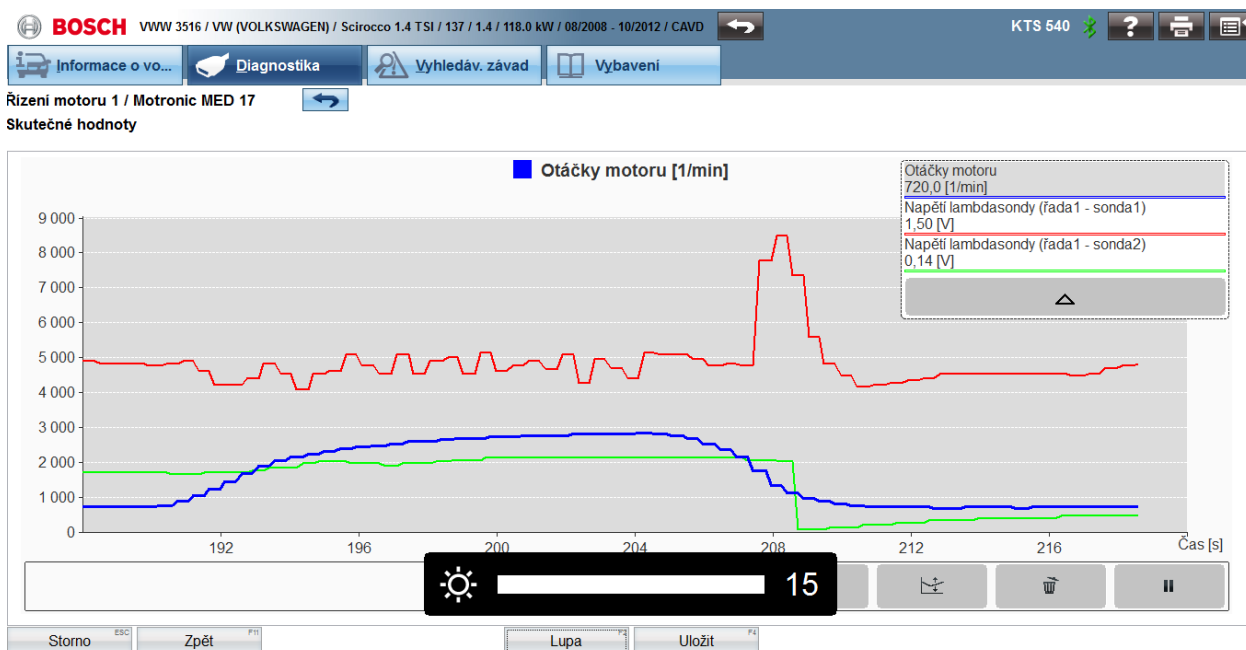
Na obrázku č. 51 je zaznamenán defektní průběh širokopásmové lambda sondy. Můžeme vidět, jak na změnu kyslíkového prostředí reagují oba články zároveň. Pravděpodobná chyba bude prasklina uvnitř sondy.

Vlastní test sériovou diagnostikou

V tomto testu si necháme zobrazit otáčky motoru a napět'ovou hodnotu lambda sondy.



Obrázek 51: Aktuální hodnoty širokopásmové lambda sondy[Autor]



Obrázek 52: Aktuální hodnoty širokopásmové lambda sondy - graf[Autor]

Opět je vidět pouze orientační průběh napětí lambda sondy. Z grafu vidíme správnou modulaci směsi vyjádřenou oscilujícím napětím okolo 1,5 V ($\lambda=1$). Přesnou hodnotu lambda nejsme schopni zjistit z důvodu neznámé převodní charakteristiky (vysvětleno na předchozí stránce). Graf pochází z jízdní zkoušky, napět'ová anomálie v grafu tedy odpovídá odlehčení plynového pedálu (deaktivace vstřikování). Tento jev je schopná zachytit pouze širokopásmová lambda sonda.

Poznámka: Některé diagnostiky nevyčísľujú v aktuálných hodnotách napětí širokopásmové lambda sondy. Místo toho generují hodnotu čerpacího proudu. Je tedy nutnost brát tento fakt v potaz při vyhodnocování funkce sondy a to tak, že pokud je čerpací proud kladný, je směs bohatá. V případě chudé směsi je čerpací proud záporný. Pro znázornění je použit v diagnostice Bosch mód OBD, který hodnotu čerpacího proudu zobrazuje.

The screenshot shows the Bosch diagnostic software interface for a VW Scirocco 1.4 TSI. The main window displays a table of OBD data points. The row for 'proud lambda-sondy (řada1 - sensor1)' is highlighted with a green border, indicating a current value of -0.012 mA. Other data points include lambda sensor readings, engine load, and MIL status.

Řídicí jednotka	Skutečná hodnota	Hodnota	Jednotka	PID
ECM1	Adaptace lambda (řada1 - sensor2)	0,0	%	56
ECM1	Absolutní hodnota zátěže	22,4	%	43
ECM1	vypočítaná hodnota zařízení	11,8	%	04
ECM1	Lambda- adaptace řada 1	-7,8	%	07
ECM1	tlak v sacím potrubí	32	kPa	0b
ECM1	Stav MIL	stav MIL vyp.		01
ECM1	počet ujetých kilometrů s aktivovanou MIL	0	km	21
ECM1	Rozpoznání výpadku uzavřeno	Ano		41
ECM1	Rozpoznání výpadku provozuschopné	Ano		01
ECM1	proud lambda-sondy (řada1 - sensor1)	-0,012	mA	34
ECM1	Napětí lambda-sondy (řada1 - sensor2)	0,490	V	15
ECM1	Lambda sonda ukončená	Ne		41
ECM1	Lambda sonda provozuschopná	Ano		01

Obrázek 53: Aktuální hodnoty v módu OBD[Autor]

5.4 Test katalyzátoru

Důkladný test katalyzátoru se provádí pomocí emisního analyzátoru, který pomocí sondy umístěné do výfuku přímo měří škodlivé látky ve výfukových plynech. Tento způsob testu se provádí na SME (stanice měření emisí), kde na základě jejich verdiktu je vozidlo dále připuštěno/nepřipuštěno na STK. Pokud však emisní analyzátor při ruce nemáme (předpoklad), je možné zkontrolovat katalyzátor pomocí diagnostiky způsobem, jenž využívá i palubní diagnostika vozidla. Pro tento účel je za katalyzátorem umístěna další dvoubodová lambda sonda (nazývána kontrolní), která pracuje na úplně stejném principu jako lambda sonda před katalyzátorem (řídící).

Pro připomenutí - za měřítko účinnosti se považuje schopnost katalyzátoru akumulovat kyslík, který je potřeba pro přeměnu škodlivých látek. Z tohoto předpokladu vyplývá, že pokud bude katalyzátor fungovat správně, bude kontrolní lambda sonda vykazovat stále konstantní napětí vyšší než 0,5 V - značí bohatou směs (málo kyslíku).

Kdy provádět test?

- Je-li v paměti závad uložena chyba o snížené funkčnosti katalyzátoru.
- Je-li v paměti závad uložena chyba spojená s kontrolní lambda sondou.

Podmínky testu

- Katalyzátor zahřátý.
- Lambda sondy zahřáté.
- Nutnost těsnosti výfukového systému - hrozí přísávání falešného vzduchu a tím znehodnocení signálu.

Princip testu

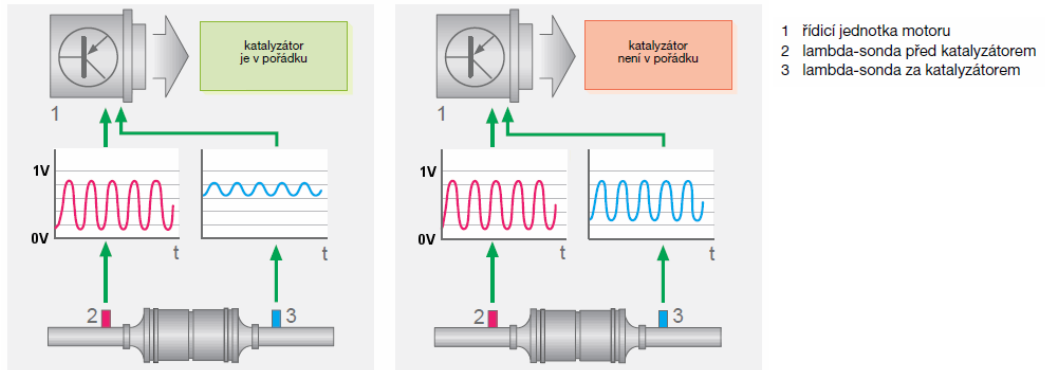
- Princip testu spočívá ve sledování signálu z obou lambda sond.

Průběh testu

- Napojit obě lambda sondy.
- Nastavit zvýšené otáčky.
- Při nízkých otáčkách a zatíženích se může katalyzátor jevit v pořádku, ale při zvýšených otáčkách (tedy vyšších průtocích výfukových plynů) může ztratit schopnost akumulovat kyslík.

Vyhodnocení testu

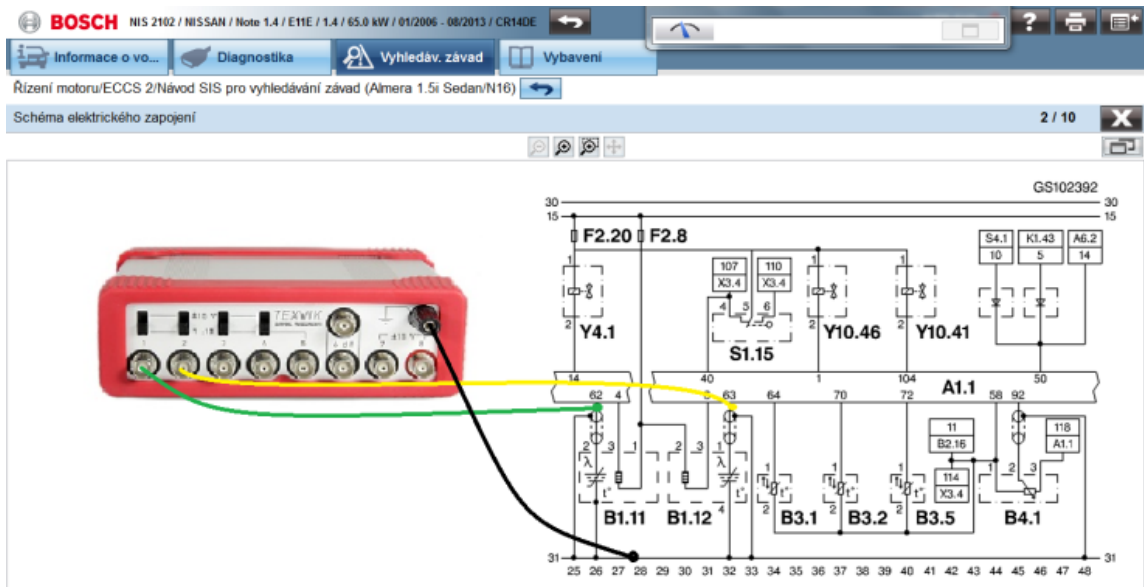
- Signál lambda sondy za katalyzátorem se musí pohybovat v oblasti bohaté směsi ($> 0,5$ V).
- Pokud bude nízká účinnost katalyzátoru, napěťový signál kontrolní lambda sondy bude kopírovat signál sondy řídicí.



Obrázek 54: Vyhodnocení testu katalyzátoru[29]

Napojení osciloskopu

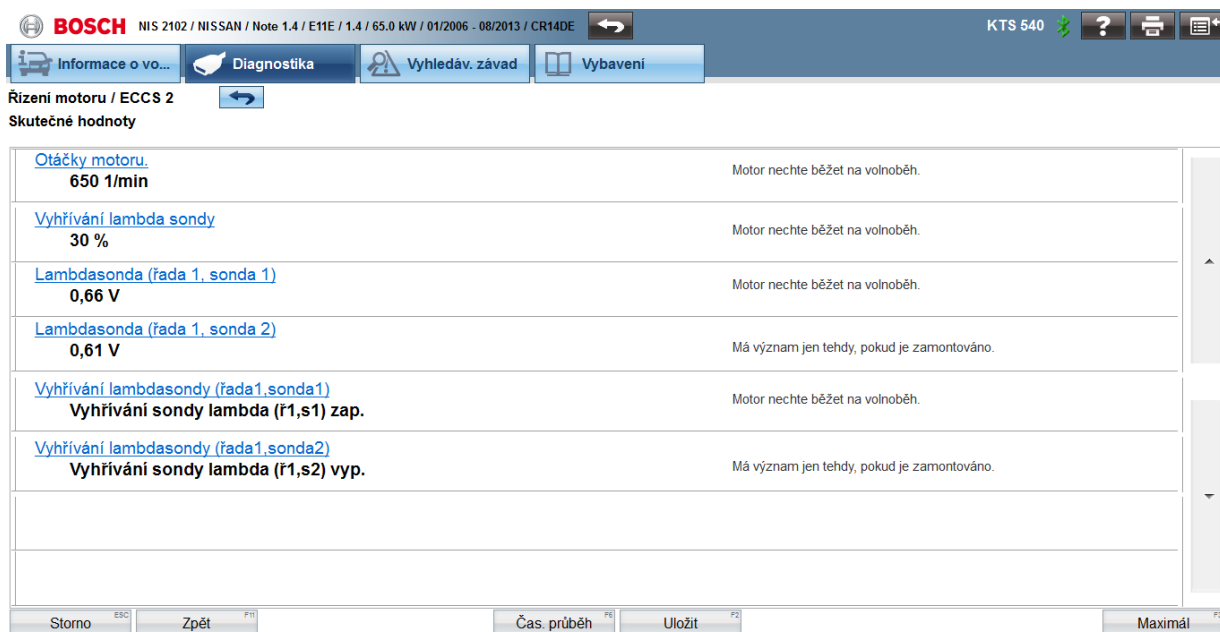
- Viz schéma.



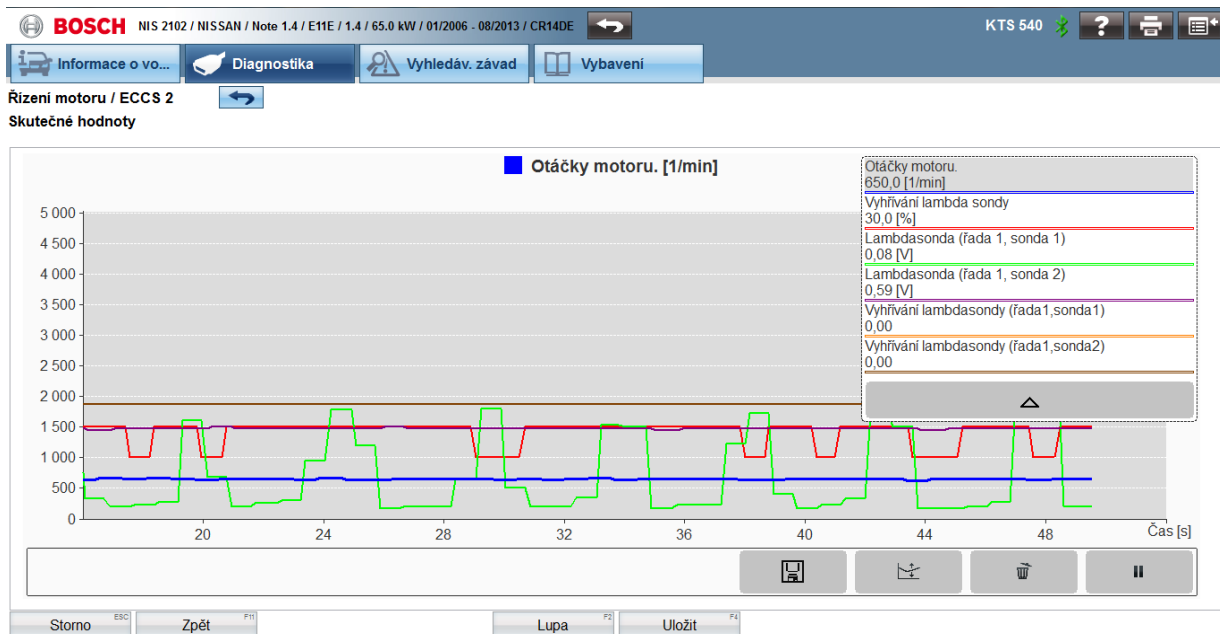
Obrázek 55: Zapojení osciloskopu při měření katalyzátoru[Autor]

Vlastní test sériovou diagnostikou

Zde je opět možné využití jak sériové tak paralelní diagnostiky. Pro rychlou kontrolu opět postačí diagnostika sériová, kde si pomocí vyčtení aktuálních hodnot necháme zobrazit napětí kontrolní lambda sondy. Pokud katalyzátor bude v pořádku, hodnota by měla být víceméně stálá nad 0,5V. Pokud bude napětí oscilovat mezi 0,1-0,9V, je pravděpodobné, že účinnost katalyzátoru je nízká a je třeba použít diagnostiku paralelní a svůj úsudek si ověřit. Pokud napětí bude do 0,4V, je buď problém v samotné lambda sondě, nebo nefunguje modulace směsi a směs je příliš chudá.



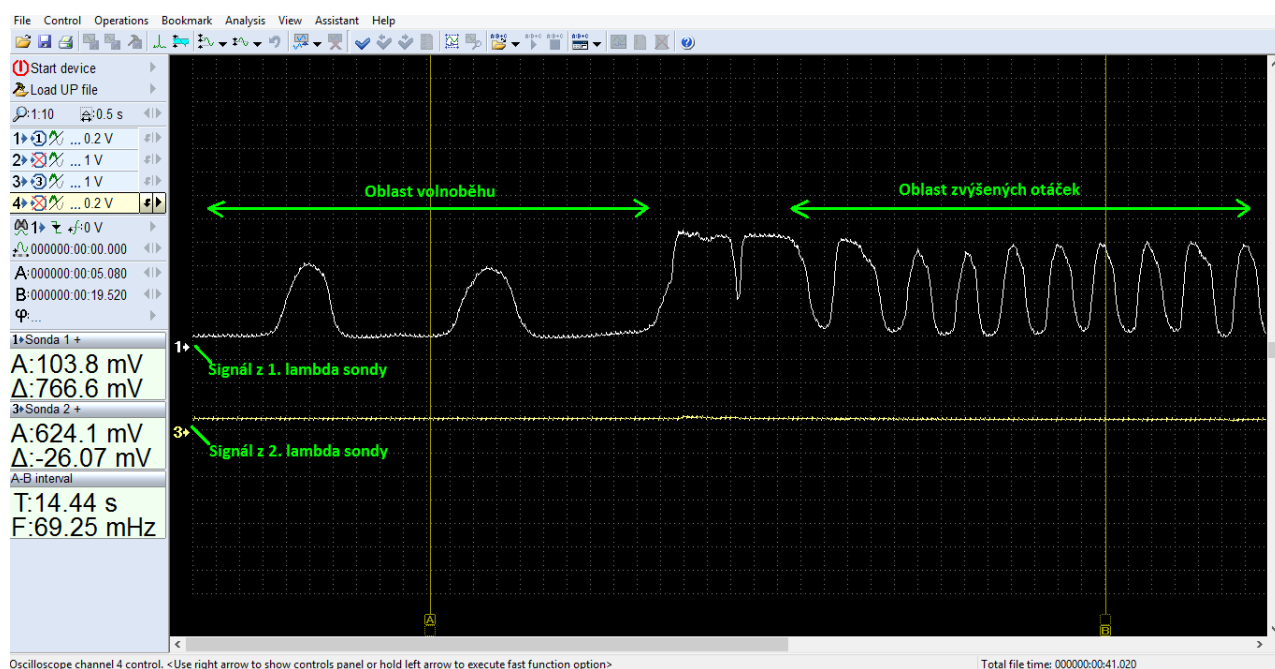
Obrázek 56: Hodnoty v sériové diagnostice spojené s kontrolou katalyzátoru[Autor]



Obrázek 57: Hodnoty v sériové diagnostice spojené s kontrolou katalyzátoru - graf[Autor]

Z grafu je vidět správná funkce katalyzátoru. Signál z 1. lambda sondy vidíme oscilovat mezi 0,1 - 0,9 V (značí správnou funkci modulace směsi), zatímco signál z 2. lambda sondy je konstantní na hodnotě 0,6 V (bohatá směs nebo také žádný vzduch). Je tedy zřejmé, že kyslík je v katalyzátoru spotřebováván na katalytickou přeměnu škodlivých látek.

Vlastní test paralelní diagnostikou



Obrázek 58: Signály z lambda sond pro ověření funkce katalyzátoru[Autor]

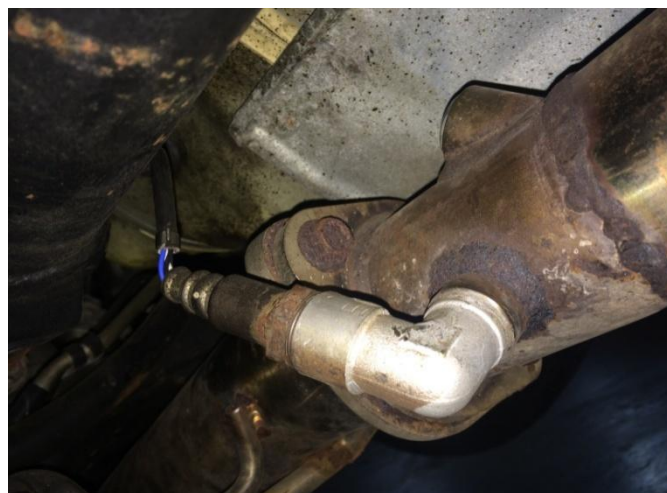
Kanál 1 (bílý) - řídicí lambda sonda

Kanál 3 (žlutý) - kontrolní lambda sonda

Ze signálu je vidět, že měření probíhalo nejdříve za volnoběžných otáček motoru a poté za zvýšených otáček motoru. Je to proto, že katalyzátor se může za volnoběžných otáček jevit v pořádku, zatímco za vyšších může ztratit schopnost kyslík akumulovat. Je však patrné, že napěťová hodnota 2. lambda sondy je stále 0,6 V, ať už za otáček nižších nebo vyšších. Katalyzátor tedy funguje perfektně.

Poznámka: Před měřením je dobré vizuálně zkontrolovat nejen výfukový systém na netěsnost (viz výše v podmínkách testu), ale i zkontrolovat, zda je kontrolní sonda skutečně zašroubovaná do výfuku. Může se totiž stát, že měřené vozidlo již trpělo nízkou účinností katalyzátoru a předešlý mechanik nechal instalovat do výfuku zařízení, díky kterému není uloženo v paměti závad žádné chybové hlášení.

Řeč je o tzv. Lambdaspaceru, což není nic jiného, než kousek silnostěnné trubičky, která se zamontuje mezi výfuk a lambda sondu. Tento prvek téměř nepropouští výfukové plyny k lambda sondě - v jejím okolí tedy není nespotřebovaný vzduch díky nízké účinnosti katalyzátoru a sonda generuje napětí souhlasné s bohatou směsí. Tímto se tedy "ošálí" řídicí jednotka motoru, která si myslí, že katalyzátor funguje správně a nemá potřebu hlásit závadu v podobě rozsvícené MIL kontrolky.



Obrázek 59: Lambdaspacer[Autor] Obrázek 60: Instalovaný Lambdaspacer ve výfuku[Autor]

5.5 Test EGR ventilu

Test EGR ventilu můžeme opět provést jak sériovou, tak paralelní diagnostikou. Zde ovšem platí, že ani jedna z diagnostik není schopna jistojistě určit nezávadnost EGR systému. Proto se při tomto testu využívá obou diagnostik současně.

Recirkulace spalin je aktivní pouze ve volnoběhu a částečné až střední zátěži. V oblasti plného výkonu je recirkulace vypnuta. Hlavním akčním členem je ventil EGR, kterým se reguluje průtok spalin do sání. Ventil EGR může být ovládán buď pneumaticky nebo elektricky.

Kdy provádět test?

- Přerušovaný výkon v režimu částečné zátěže.
- Cukání motoru.
- Nepravidelný nebo neudržitelný volnoběh.

Jsou-li v paměti závad hlášení typu:

- Systém recirkulace spalin – pod hranicí regulace nebo nad hranicí regulace.
- Systém recirkulace spalin – průtok příliš malý nebo průtok příliš velký.
- Netěsnost sacího potrubí.

- Ventil recirkulace spalin – zkrat na plus nebo zkrat na kostru.
- Snímač polohy recirkulace spalin – příliš malý signál.

Jelikož se princip testu odvíjí od použitého ovládní EGR ventilu (elektrické/pneumatické), bude i následující měření rozděleno na dvě části.

5.5.1 Pneumaticky ovládaný EGR ventil

Pneumaticky ovládaný EGR ventil je ovládaný EPV ventilem za pomoci podtlaku generovaného podtlakovým čerpadlem nebo odebíraného ze sacího potrubí podle druhu motoru (vznětový/zážehový). V závislosti na zdvihu ventilu proudí do sání více či méně výfukových plynů.

EPV ventil je řízený řídicí jednotkou. Právě zde bývá častý zdroj závady, neboť zbytek systému činí už jen samotný mechanický ventil EGR. Jeho závadou může být částečné přidírání až úplné zadření. Tento problém je ale méně častý, než defekt ovládacího ventilu EPV.

Možné závady

- Netěsnost pneumatického systému pro ovládní ventilu EGR.
- Nefunkční EPV ventil pro EGR.
- Nefunkční mechanický ventil EGR - netěsný, zanesený.

Podmínky testu

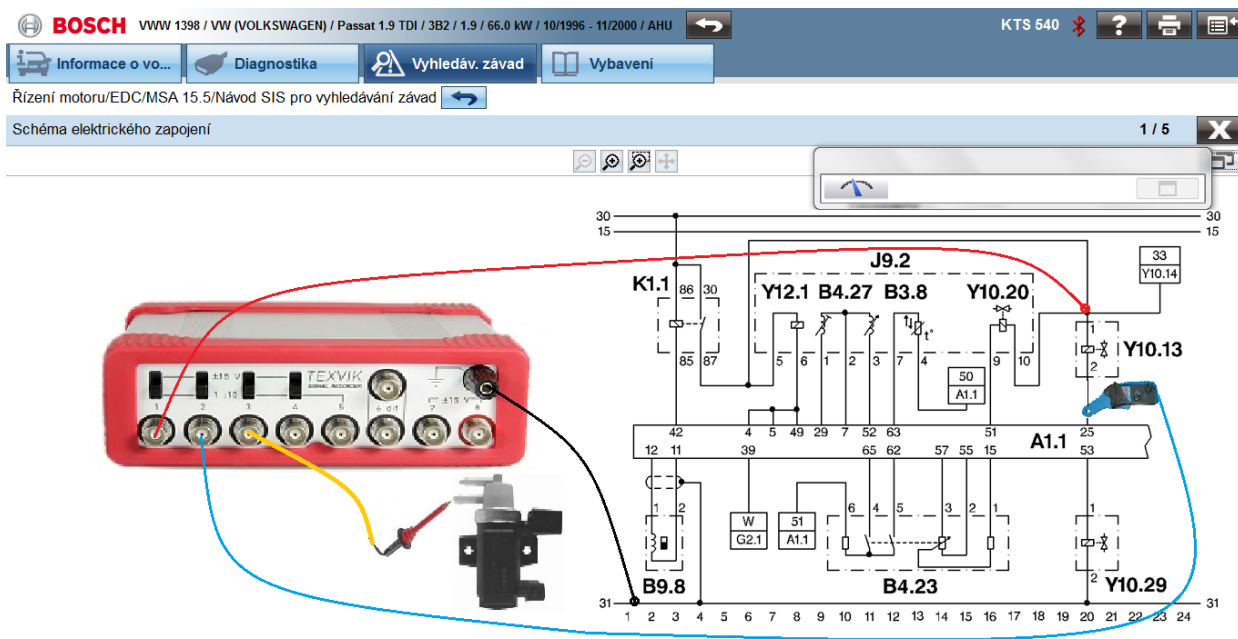
- Vstupní podtlak EPV ventilu je dostatečný (-700 až -900 mBar) a neměnný = vakuová pumpa je v pořádku.
- Vedení podtlaku je v pořádku.
- Měřič hmotnosti nasávaného vzduchu je v pořádku.

Průběh testu

- Vizuální kontrola systému vedení podtlaku – těsnost hadiček.
- Kontrola funkce EPV ventilu pomocí paralelní diagnostiky - aktivovat EPV ventil za chodu motoru volnou akcelerací nebo pokud to umožňuje sériová diagnostika tak provést test akčních členů.
- Za použití sériové diagnostiky nahrávat příslušné hodnoty z řídicí jednotky + vyhodnocení.

Připojení osciloskopu

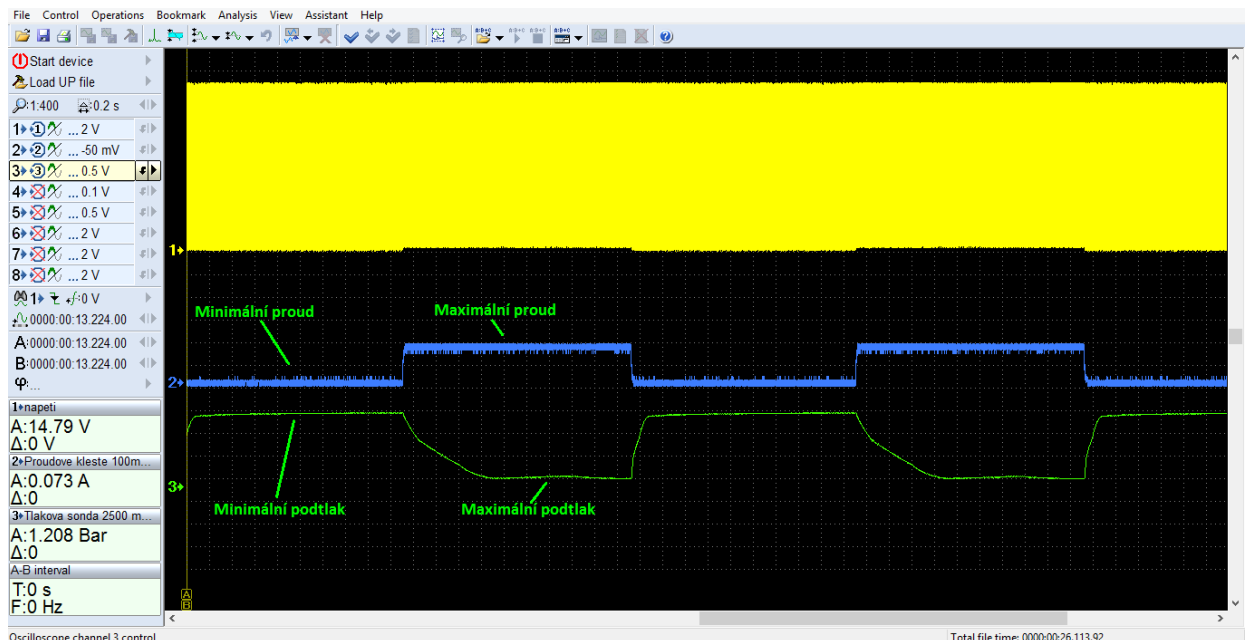
- Proudové kleště (rozsah 1A) napojit do jednoho z přívodů - jeden je napájení +12 V, druhý je spínaný ke kostře.
- Tlakovou sondu s analogovým výstupem (lze připojit na osciloskop) napojit na výstup EPV ventilu (mezi EPV a EGR ventil).



Obrázek 61: Připojení osciloskopu při kontrole EGR ventilu ovládaným ventilem EPV[Autor]

Vlastní test paralelní diagnostikou

Paralelní diagnostikou můžeme u tohoto druhu ovládní ověřit pouze funkčnost ovládacího ventilu EPV. Ten napojíme dle odstavce výše. Podtlak na výstupu EPV ventilu musí sledovat průběh proudu ventilem. Podtlak nesmí kolísat při konstantním proudu. Maximálnímu proudu (tedy maximální střídě napětí, jímž se ventil ovládá) odpovídá maximální podtlak -700 až -900 mBar. Nulovému proudu odpovídá atmosférický tlak - cca 1000 mBar absolutní tlak, tedy 0 mBar podtlak.



Obrázek 62: Test EPV ventilu[Autor]

Kanál 1 (žlutý) - Střída ovládání

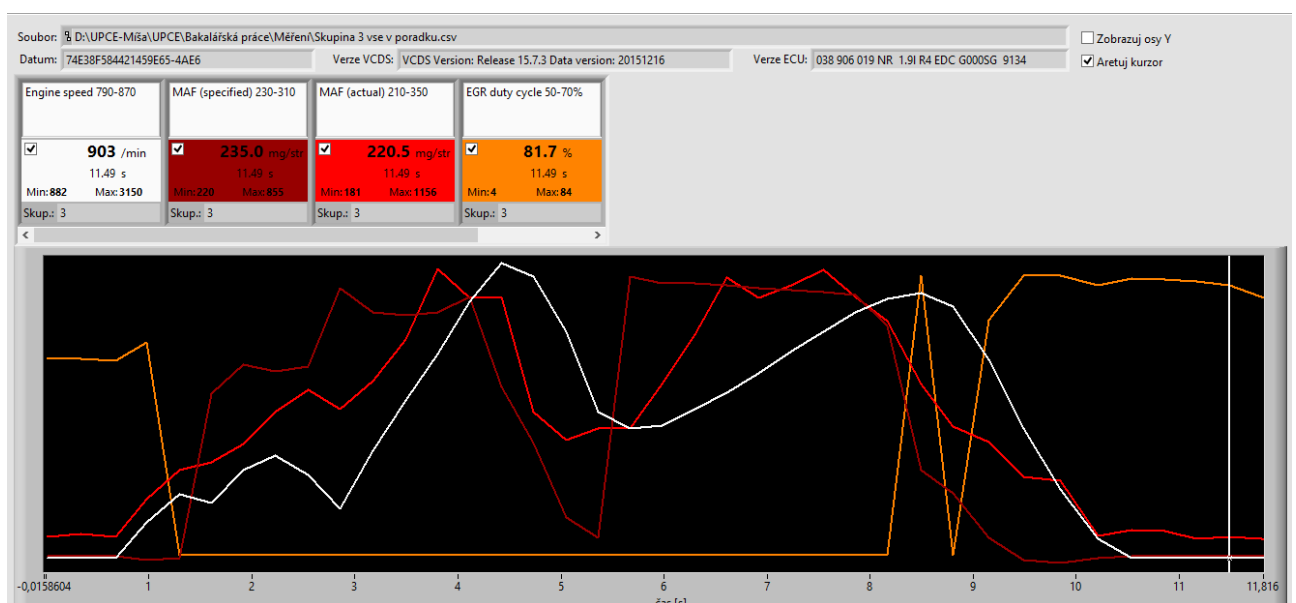
Kanál 2 (modrý) - Proud ventilem

Kanál 3 (zelený) - Výstupní podtlak

Z obrázku je vidět, jak průběh výstupního podtlaku sleduje průběh řídicího proudu. EPV ventil pro ovládání EGR ventilu je tedy v pořádku.

Vlastní test sériovou diagnostikou

Tímto testem je možné odhalit špatnou funkci (zadření) samotného mechanického EGR ventilu. Je přitom dobré současně uskutečnit předchozí test, abychom měli jistotu, že ovládání ventilu funguje v pořádku. Sériovou diagnostikou si necháme zobrazit tyto hodnoty: Otáčky motoru, Střidu EGR ventilu, požadovanou a aktuální hmotnost vzduchu. Dále je třeba měnit zatížení motoru, abychom vyvolali stavy, kdy je EGR ventil aktivní/neaktivní.



Obrázek 63: Měření EGR ventilu[Autor]

Křivka 1 (bílá) - Otáčky motoru

Křivka 2 (tmavě červená) - Požadované množství vzduchu

Křivka 3 (světle červená) - Nasávaní množství vzduchu

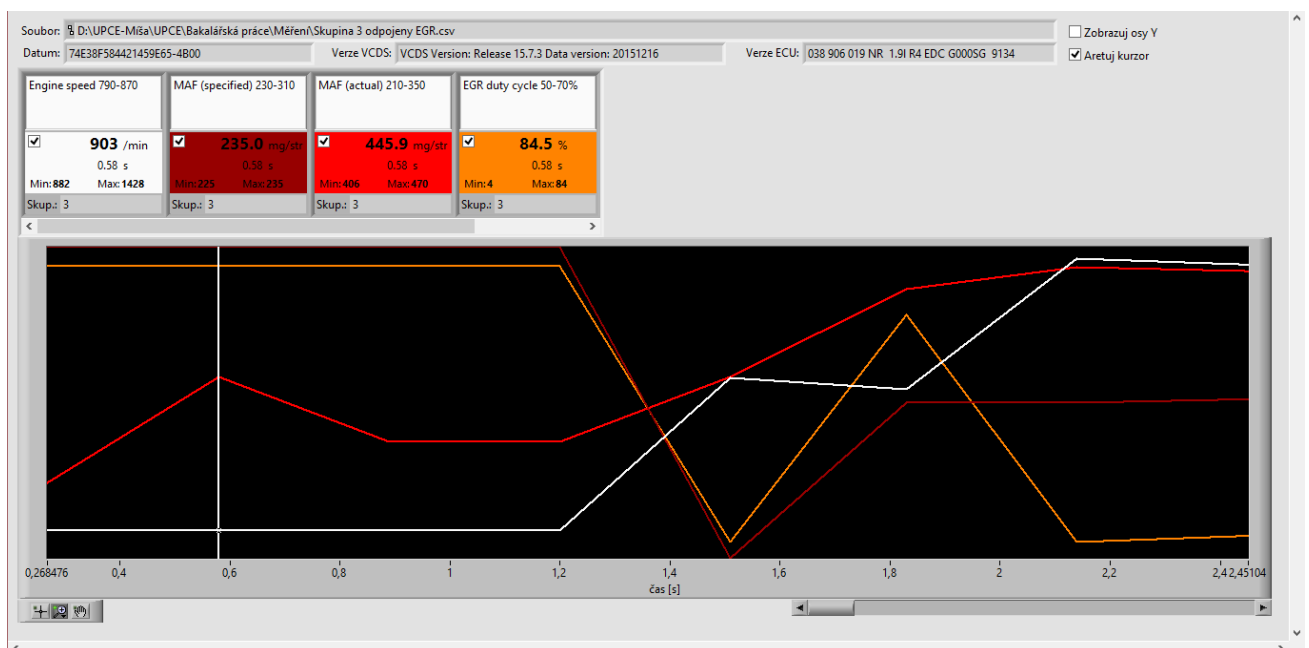
Křivka 4 (žlutá) - Střída ovládání EGR ventilu

Na obrázku č. 63 je vidět správná funkce EGR ventilu. Ten musí být aktivní při nízkém zatížení (otáčkách). Jakmile otáčky rostou, musí klesnout střída a zároveň se musí aktuálně nasávané množství vzduchu stále držet požadovaného množství vzduchu. Kdyby tomu tak nebylo, značilo by to stav, kdy je EGR ventil přidřený v určité poloze a skrz něj proudí do válce vzduch, s kterým jednotka nepočítá. V tu chvíli by bylo aktuálně nasávané množství vzduchu nižší než požadované. Tento jev by byl doprovázen škubáním motoru a neochotou vozu akcelarovat.

Situace, kdy by bylo aktuálně nasávané množství vzduchu vyšší než požadované by značila to, že jednotka chce recirkulovat, tudíž počítá s menším průtokem čerstvě nasávaného vzduchu, ale přes EGR spaliny neprocházejí (zadřený v zavřené poloze) a všechno, co se nasaje, projde měřičem průtoku vzduchu.

Závadové průběhy

Při tomto měření jsem záměrně odpojil přívodní podtlak k EGR ventilu, abych nastínil, jak to vypadá, když EGR nefunguje správně.



Obrázek 64: Nesprávně fungující EGR ventil[Autor]

Křivka 1 (bílá) - Otáčky motoru

Křivka 2 (tmavě červená) - Požadované množství vzduchu

Křivka 3 (světle červená) - Nasávání množství vzduchu

Křivka 4 (žlutá) - Střída ovládání EGR ventilu

Nyní můžeme vidět, že aktuální nasávané množství je větší než požadované. Jednotka totiž počítá s přísáváním spalin z EGR ventilu a požaduje nižší hodnotu. To se však neděje a všechn nasávaný vzduch jde přes měřič průtoku vzduchu. Zároveň je vidět vysoká střída ovládání EGR jako důkaz toho, že jednotka dělá vše pro spuštění recirkulace spalin.

5.5.2 Elektricky ovládaný EGR

Elektrický ventil EGR je ovládán proudem, nikoliv podtlakem. Proud je regulován pomocí PWM regulace. U většiny vozidel, pokud je ventil bez proudu, je uzavřen a recirkulace spalin neprobíhá - může být však i opačně. Elektricky ovládané ventily obsahují většinou i potenciometrický snímač skutečné polohy ventilu. Tento snímač bývá také častým zdrojem závad - řídicí jednotka dostává falešný signál o poloze ventilu [30].

Existují dva druhy elektricky ovládaných EGR ventilů - elektromagnetické a s krokovým motorkem. Ventil s krokovým motorkem nepotřebuje díky svému principu snímač polohy. Je tedy méně poruchový.

Možné závady

- Nefunkční ventil EGR - zadřený, netěsný, zanesený od nečistot.
- Porucha potenciometru v EGR ventilu.
- Problém v napájení.

Podmínky testu

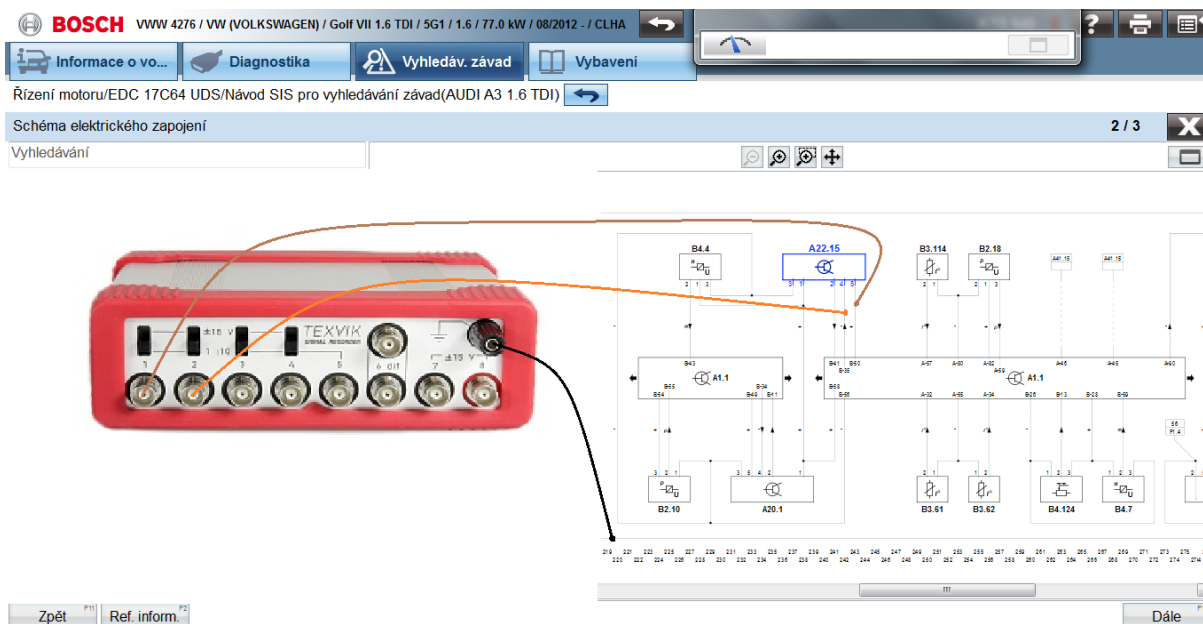
- Měřič hmotnosti nasávaného vzduchu je v pořádku.

Průběh testu

- Napojit EGR ventil podle uvedeného schématu.
- Sledovat průběhy otevření/zavření + vyhodnocení.
- Za použití sériové diagnostiky nahrávat příslušné hodnoty z řídicí jednotky + vyhodnocení.

Připojení osciloskopu

- Kanál 1 připojit na vedení o signálu polohy.
- Kanál 2 připojit na + od jednotky (PWM).
- Kostřicí kabel na záporný pól akumulátoru.

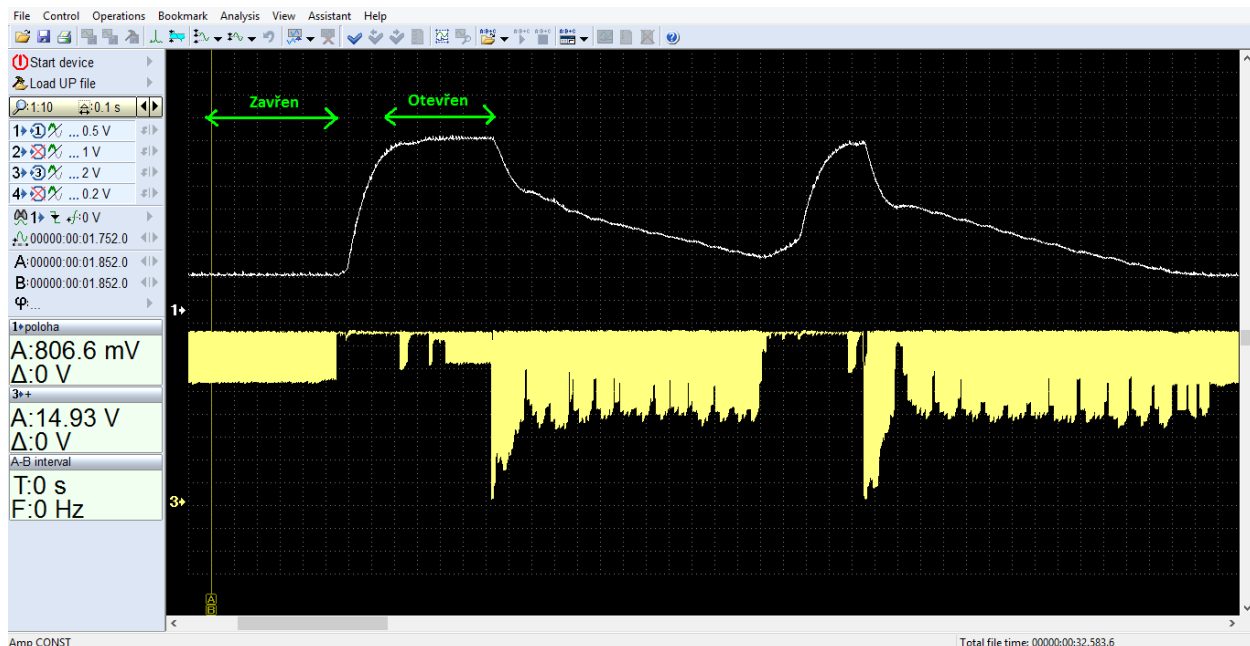


Obrázek 65: Připojení osciloskopu při měření elektrického EGR ventilu[Autor]

Vlastní test paralelní diagnostikou

Pokud není v paměti závada chyba spojená s EGR ventilem (tím nedojde k jeho odstavení řídicí jednotkou motoru) a kabelové vedení je v pořádku, je třeba se zaměřit na samotný průběh otevření EGR ventilu. To se zjistí sledováním signálu a poloze ventilu v závislosti na PWM regulaci.

Měřené vozidlo Volkswagen Golf 1,6 Tdi bylo osazeno pouze nízkotlakým EGR systémem (klapka ve výfuku). Zajímavostí je, že PWM regulace zde fungovala přesně opačně, než jsem uvedl v seznámení s elektricky ovládaným EGR ventilem. To znamená, že při nulové Střídě je ventil otevřen a naopak. Pokud dojde k poruše kabeláže a tím k nemožnosti ovládní EGR, bude klapka ve výfuku zavřená, výfukové plyny nebudou moct proudit potrubím ven a budou se stále vracet do sacího traktu - nemožnost provozu vozidla. Hádám, že toto řešení je kvůli tomu, aby byl uživatel vozidla nucen při závadě EGR neprodleně navštívit servis a nechat závadu odstranit.



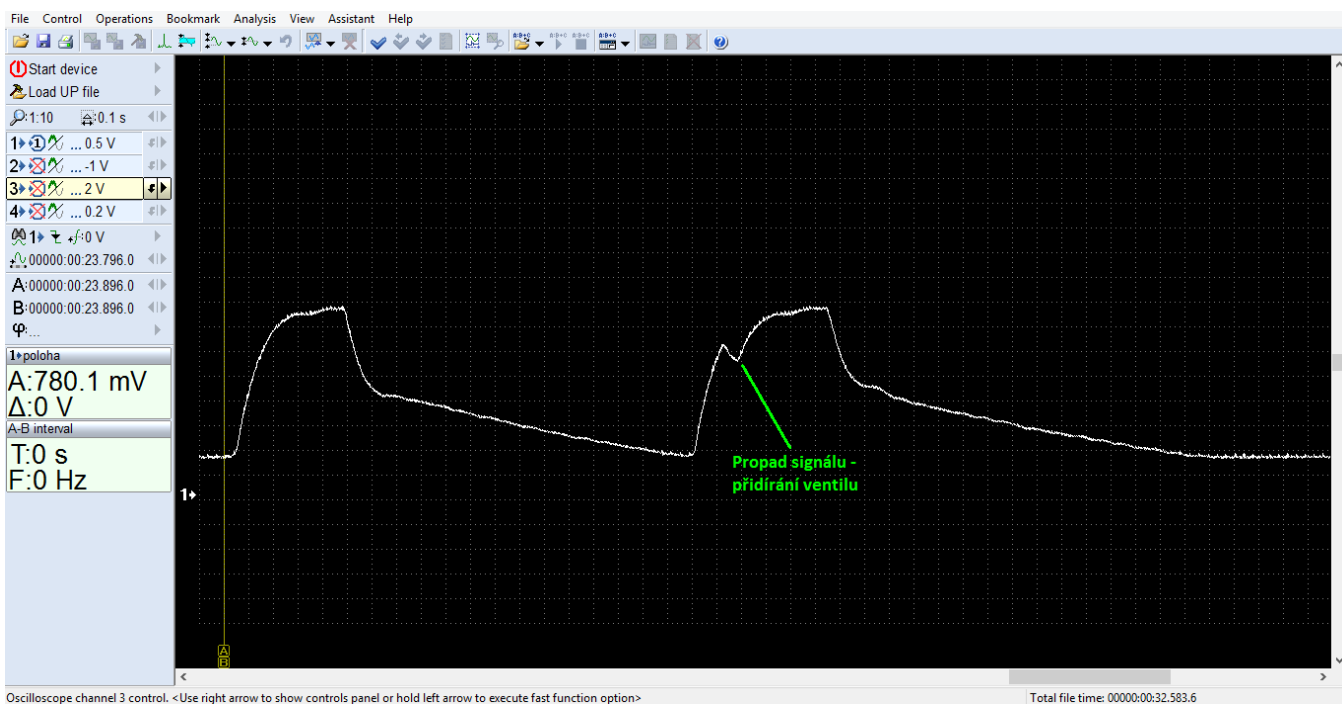
Obrázek 66: Signál z elektricky ovládaného EGR ventilu[Autor]

Kanál 1 (bílá) - Poloha ventilu

Kanál 3 (žlutá) - Střída

Z křivky je opět vidět správná funkce. V signálu nejsou žádné propady značící přidírání ventilu.

Závadové průběhy



Obrázek 67: Závodový průběh otevření ventilu[Autor]

Zde je vidět závadový průběh otevření ventilu. Propad signálu znamená přidírání ventilu při otevírání. Ventil se ale otevře, zatím tedy není defektní. Bylo by dobré ventil vyčistit (například v ultrazvuku) a měření opakovat.



Obrázek 68: Měření EGR ventilu na vozidle VW Golf 1.6 Tdi[Autor]

Vlastní test sériovou diagnostikou

Test sériovou diagnostikou je naprosto stejný jako v případě pneumaticky ovládaného ventilu. Vyčítané hodnoty, postup i vyhodnocení je probraný v kapitole 5.2.1 Pneumaticky ovládaný EGR ventil.

BOSCH VWV 4276 / VW (VOLKSWAGEN) / Golf VII 1.6 TDI / 5G1 / 1.6 / 77.0 kW / 08/2012 - / CLHA KTS 540

Informace o vo... Diagnostika Vyhledáv. závad Vybavení

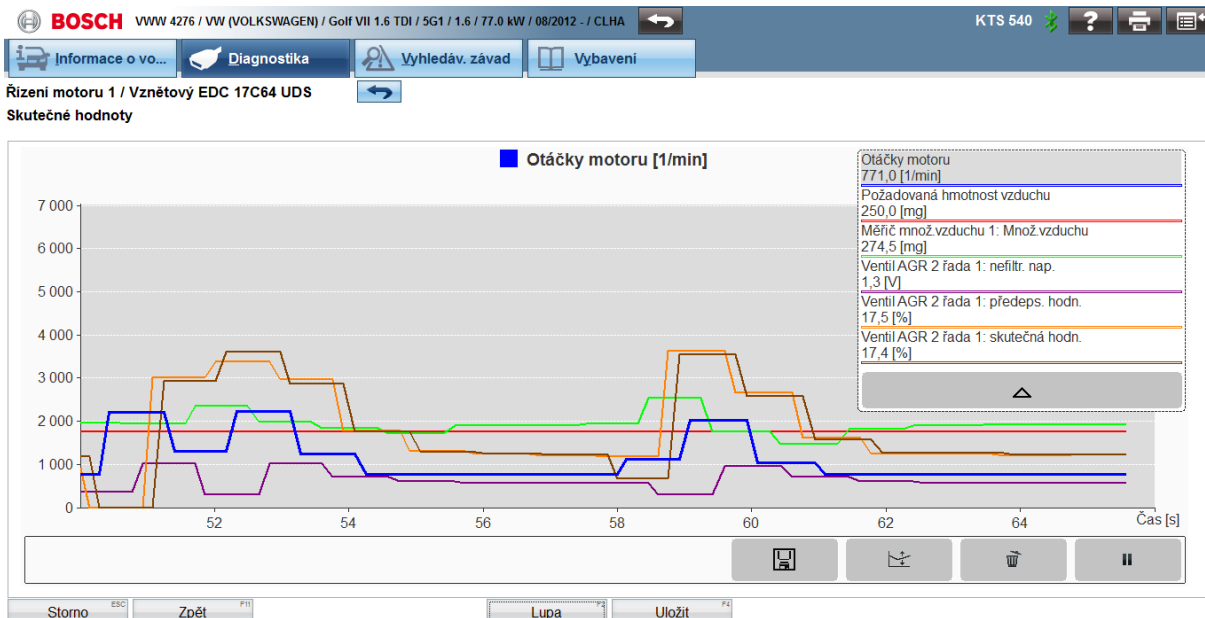
Rízení motoru 1 / Vznětový EDC 17C64 UDS

Skutečné hodnoty

Otáčky motoru	772 1/min
Požadovaná hmotnost vzduchu	250,0 mg
Měřič množ.vzduchu 1: Množ.vzduchu	268,0 mg
Ventil AGR 2 řada 1: nefiltr. nap.	1,3 V
Ventil AGR 2 řada 1: předepts. hodn.	18,33 %
Ventil AGR 2 řada 1: skutečná hodn.	18,2 %

Storno ESC Zpět FR Čas. průběh PS Uložit P2 Maximál P3

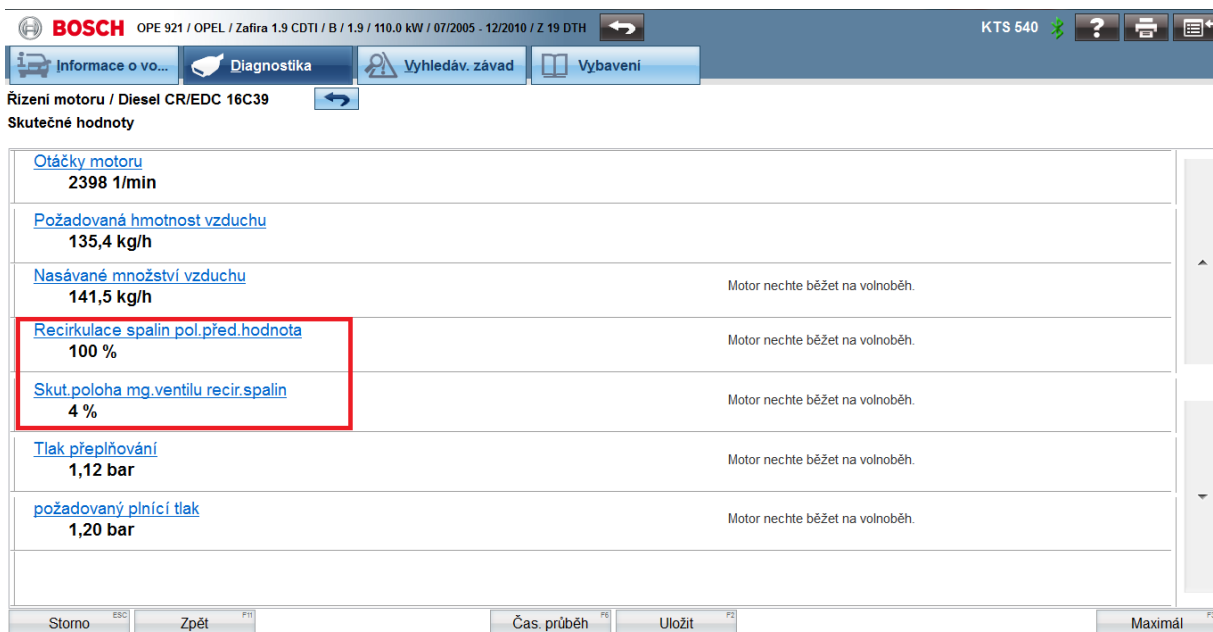
Obrázek 69: Vyčítané hodnoty sériovou diag. při měření el. ovládaného EGR ventilu[Autor]



Obrázek 70: Vyčítané hodnoty sériovou diag. při měření el. ovládaného EGR ventilu - graf[Autor]

Některé diagnostiky jsou schopny přepočítat z napětového signálu polohy skutečnou polohu v %. Pokud mají v sobě zapsanou hodnotu o předepsané poloze, je možno nechat si zobrazit tyto hodnoty - vyhodnocení je jednodušší.

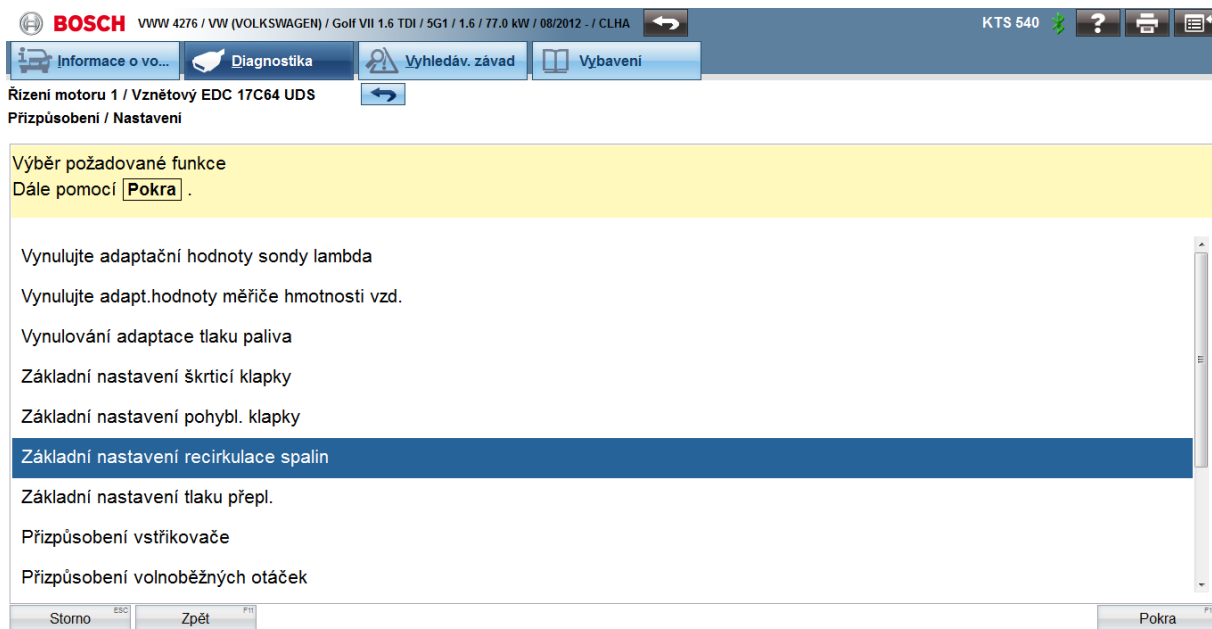
Není však dobré se jen na tuto hodnotu spoléhat. Níže je obrázek, na kterém je zkoušené jiné vozidlo, kde EGR systém funguje správně (viz otáčky a hodnoty z měřiče hmotnosti vzduchu) a přitom předepsaná a skutečná poloha EGR ventilu se výrazně liší. Jedná se tedy o chybu v diagnostice.



Obrázek 71: Chyba v diagnostice[Autor]

Poznámka

Po výměně nebo čištění EGR ventilu je nutné provést základní nastavení EGR ventilu, což umožňuje sériová diagnostika v menu Nastavení nebo Speciální funkce. Řídící jednotka si tímto krokem určí krajní polohy EGR ventilu, se kterými bude pracovat. Tento krok je nezbytný pro správnou funkci ventilu.



Obrázek 72: Základní nastavení recirkulace spalin[Autor]

5.6 Test filtru pevných částic

Pro tento test není příliš vhodné použít diagnostiku paralelní. Výhodnější volbou je diagnostika sériová, která je schopna zobrazit příslušné aktuální hodnoty. Test je založen na vyhodnocení hodnoty o diferenčním tlaku filtru pevných částic. Před a za filtrem je umístěný vývod k snímači, který měří tlaky výfukových spalin a spočítá rozdíl mezi nimi (odpor filtru pevných částic).

Na základě odporu, který vyvozuje DPF protékajícím spalinám, se určuje míra zaplnění filtru. Odpor filtru vůči průtoku spalin závisí na zaplnění filtru sazemí a na objemovém průtoku spalin. Řídící jednotka zná tuto závislost a pomocí ní dokáže vyhodnotit míru zaplnění filtru sazemí. Na základě této hodnoty spouští regeneraci filtru.

Samotný filtr není nikdy zdrojem závady. Pokud je vozidlo v pořádku, umí si spalitelné saze vypálit vždy samo. Potřebuje k tomu jen vysokou teplotu ve výfuku (600 °C). Tuto teplotu dosáhne pouze s funkčním oxidačním katalyzátorem. Ten při styku s nespálenou naftou začne oxidovat tyto nespálené uhlovodíky a zvýší teplotu o 200 - 300 °C. Vysokou teplotou se spálí uložené saze[23].

Je tedy třeba při závadě DPF hledat původce závady, což může být právě zmíněný oxidační katalyzátor nebo jiná vadná součást motoru, která stojí za nadměrnou kouřivostí motoru (měřič hmotnosti vzduchu, vstřikovače, EGR ventil atd.)

Výjimka však nastává, pokud vozidlo jezdí krátké trasy, zvláště po městě. V tu chvíli nejsou dosaženy podmínky regenerace a ta nemůže být spuštěna.

Nejjednodušší kontrolou filtru pevných částic bez patřičného vybavení je pouhý pohled do výfuku. Ten se správně pracujícím filtrem musí být čistý - bez sazí. I v případě, že vozidlo v minulosti prodělalo některou ze závad, která znečistila výfuk (např. poškození turbodmychadla), se výfuk při správně fungujícím DPF znovu vyčistí.



Obrázek 73: Výfuk správně fungujícího DPF[Autor]



Obrázek 74: Výfuk špatně fungujícího DPF[Autor]

Nejčastější příčiny potíží se zaplňováním filtru částic:

- Nevhodné používání vozidla na krátké trasy.
- Opatřebovaný oxidační katalyzátor.
- Vadné snímače diferenčního tlaku nebo teploty ve výfuku.
- Příliš kouřící motor.

Při jakých příznacích test provádět?

- Vozidlo nemá výkon.
- Přibývá motorový olej (ředění naftou) - značí velké množství neúspěšných pokusů o regeneraci.
- Zvýšená spotřeba paliva.
- V paměti závad jsou závady spojené s filtrem pevných částic.

Podmínky testu

- Oxidační katalyzátor před DPF je v pořádku - pozná se testem, kdy se spustí servisní regenerace a teplota spalin musí za oxidačním katalyzátorem stoupnout minimálně o 150 °C.
- Filtr není prasklý nebo odstraněný - v tom případě by filtr nevytvářel protitlak a zkreslil by měření.

Princip testu

- Sledování diferenčního tlaku v různých režimech motoru.

Vyhodnocení testu

- Dle následující tabulky.

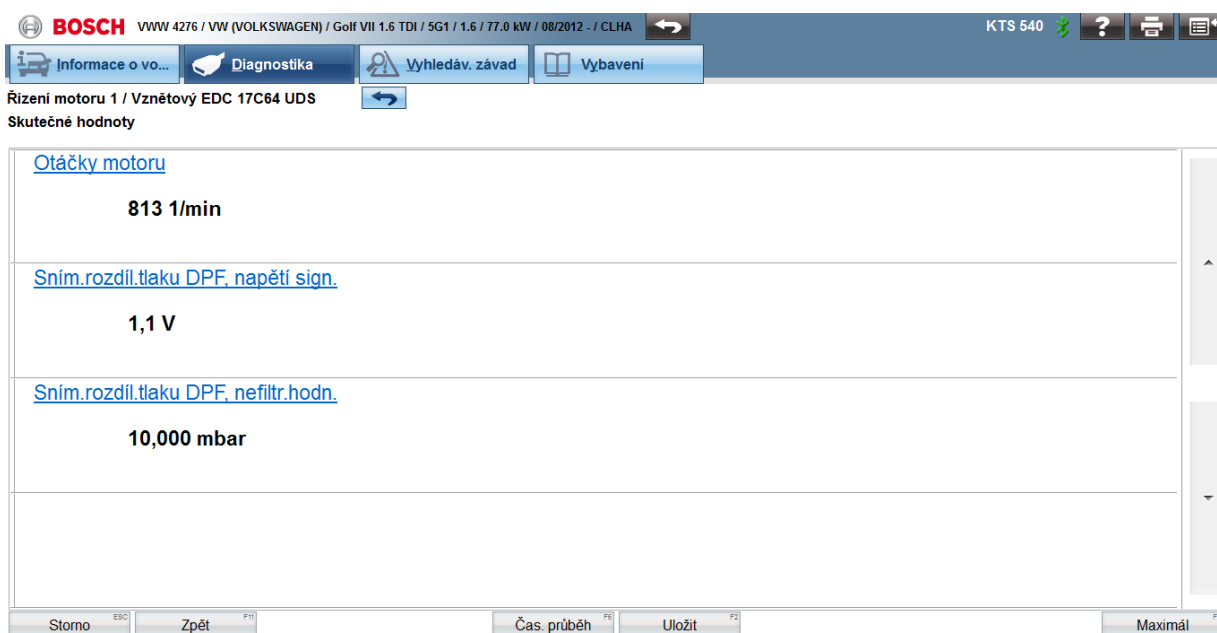
Tabulka 4: Hodnoty diferenčního tlaku částicového filtru v různých režimech motoru

Režim motoru	Prázdný filtr nebo zaplněný do 15 %	Zaplněný filtr nad 50%
Zapnuté zapalování, motor stojí	0 – 3 mBar	0 – 3 mBar
Volnoběh (motor teplý, EGR aktivní)	0 – 10 mBar	nad 10 – 20 mBar
1500 1/min	5 – 20 mBar	více než 50 – 80 mBar
2000 1/min	15 – 35 mBar	více než 150 mBar

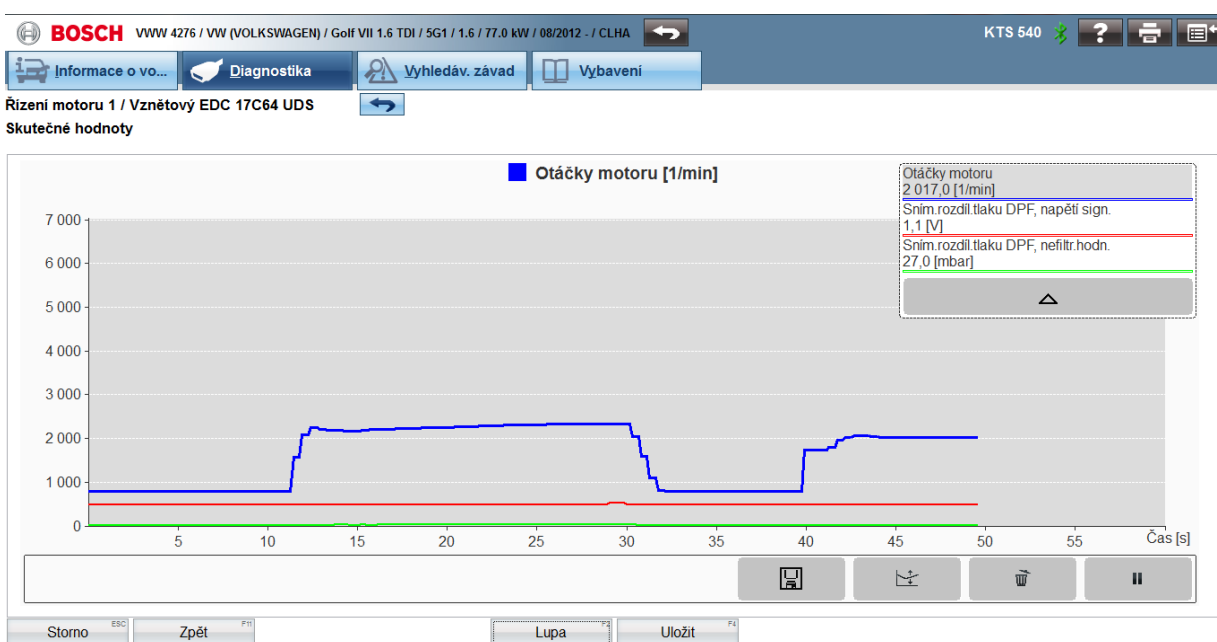
[23]

Vlastní test

Při testu si tedy necháme zobrazit sériovou diagnostikou hodnotu o diferenčním tlaku částicového filtru spolu s otáčkami motoru.

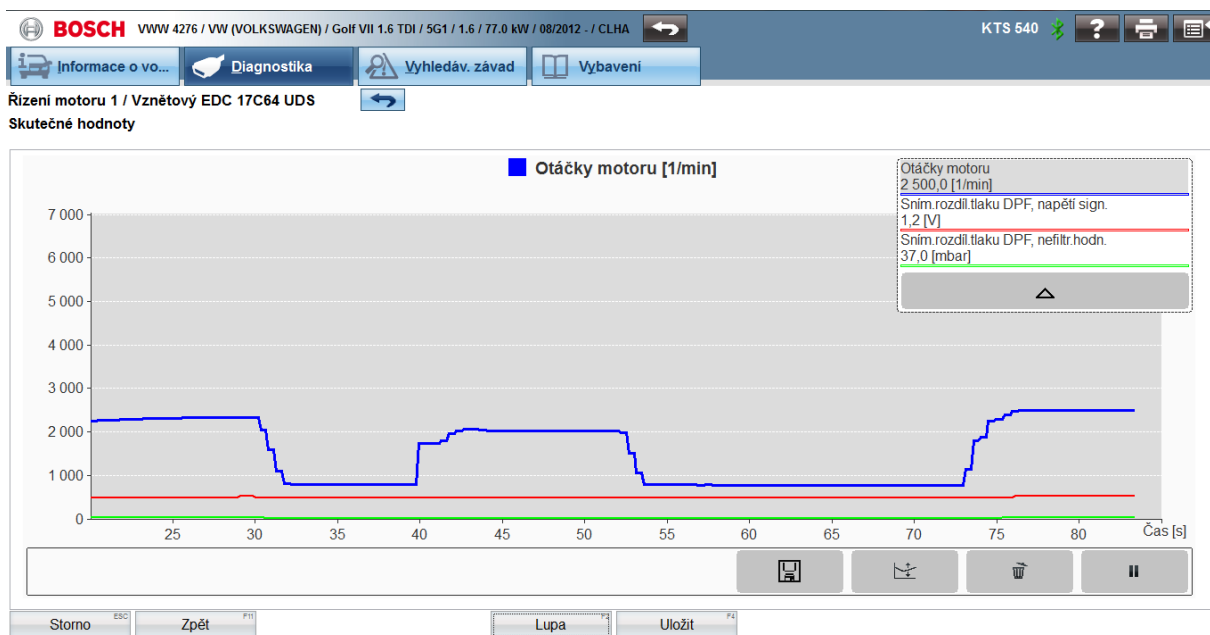


Obrázek 75: Hodnoty v sériové diagnostice při měření DPF filtru v nízkých otáčkách[Autor]



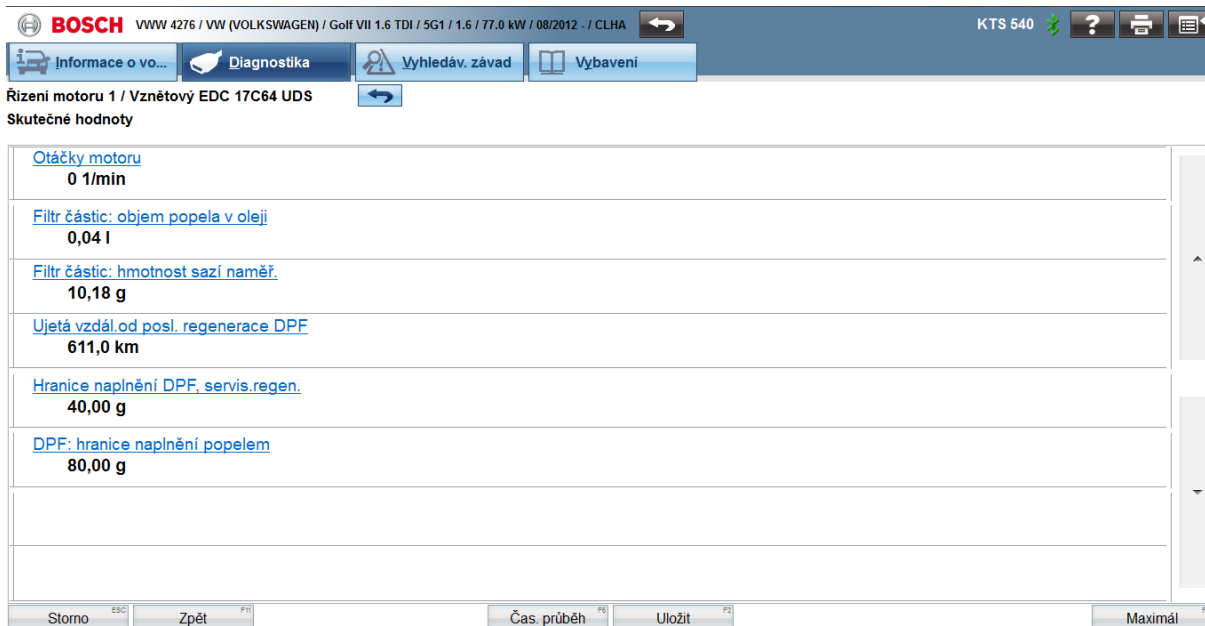
Obrázek 76: Hodnoty v sériové diagnostice při měření DPF filtru v nízkých otáčkách - graf[Autor]

V případě problému je dobré ověřit si, zda nebylo manipulováno se stavem najetých kilometrů. Někdy je totiž právě tato změna příčinou problémů s filtrem, protože řídicí jednotka s tímto "pravdivým" údajem odpočítává životnost filtru a uzpůsobuje algoritmy pro regenerační cykly.



Obrázek 77: Hodnoty v sériové diagnostice při měření DPF filtru ve vyšších otáčkách - graf[Autor]

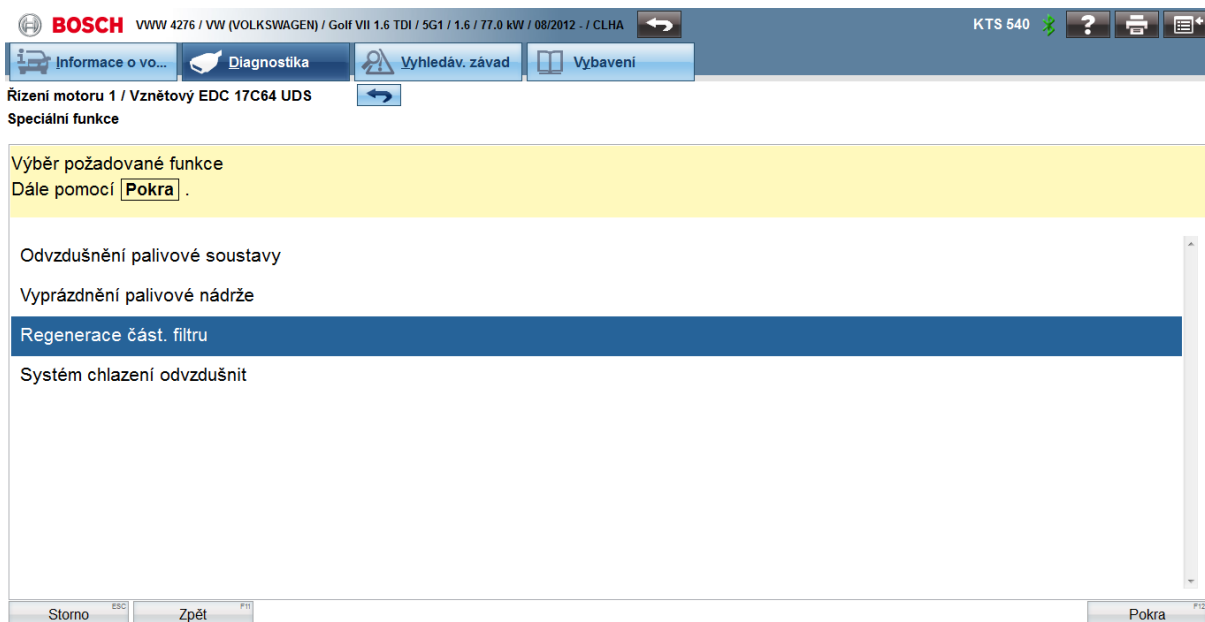
Z naměřených hodnot vidíme, že filtr není zaplněn ani na 15 % své kapacity. S ohledem na poslední regeneraci (viz níže) můžeme říci, částicový filtr funguje na testovaném vozidle správně.



Obrázek 78: Další hodnoty v sériové diagnostice spojené s DPF[Autor]

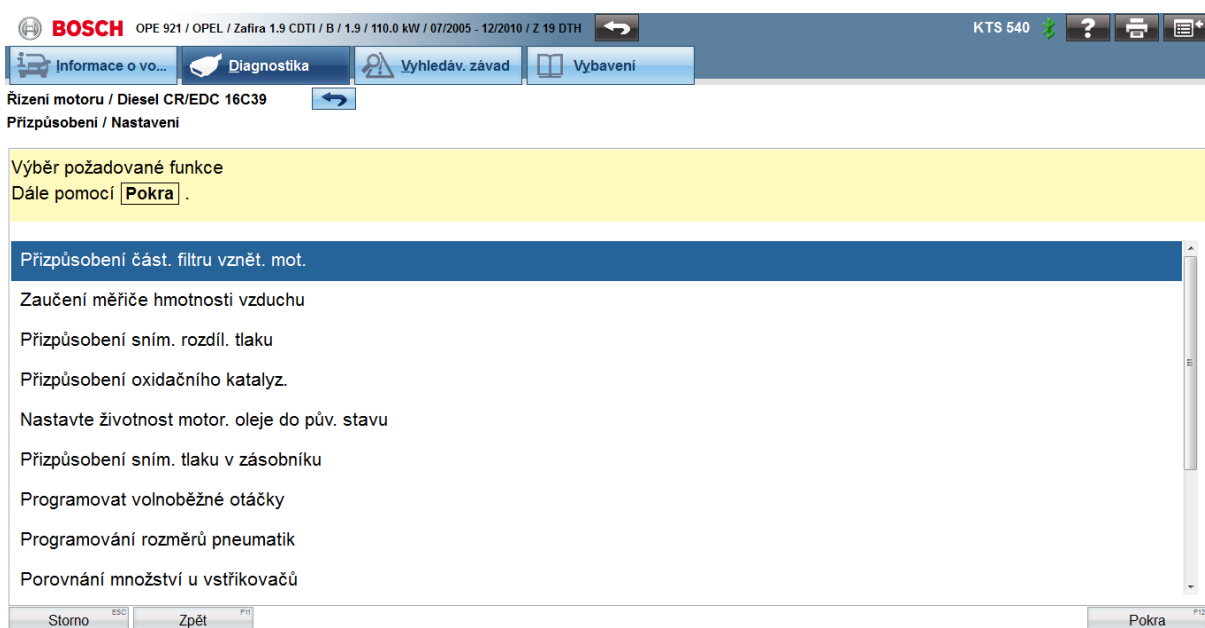
V sériové diagnostice si můžeme nechat zobrazit i další hodnoty spojené s filtrem pevných částic. V našem případě konkrétně vzdálenost od poslední regenerace, maximální hmotnost sazí pro uskutečnění regenerace a limit pro ještě použitelný částicový filtr.

Pokud bychom shledali filtr zaplněným, můžeme se pokusit o tzv. servisní regeneraci filtru, kdy se regenerace spustí pomocí sériové diagnostiky. Během servisní regenerace nesmí být z výfuku nic cítit, ani z něj nesmí vycházet kouř. Pokud ano, je oxidační katalyzátor nefunkční. Informaci o zaplnění filtru nespalitelným popílkem zjistíme tak, že porovnáme hodnotu diferenčního tlaku před a po servisní regeneraci.



Obrázek 79: Servisní regenerace částicového filtru[Autor]

V případě, že by ani tento krok nepomohl, je nutné nechat filtr odborně vyčistit nebo jej vyměnit za nový. Tak nebo tak, po tomto kroku je nutné pomocí sériové diagnostiky provést základní nastavení. Je to krok, kdy si řídicí jednotka vynuluje hodnotu o obsahu nespalitelného popílku.



Obrázek 80: Základní nastavení DPF[Autor]

Závěr

Produkce emisí u motorových vozidel je velmi obsáhlé téma, které se ale týká nás všech, neboť v dnešní době téměř každý má své vozidlo a každý tak přispívá svou trochou k znečišťování životního prostředí. Cílem úpravy spalín není emise odstranit - to je otázka alternativních paliv, jako je například vodík nebo elektřina - cílem je emise co nejvíce omezit. A právě analýza aktuálních možností eliminace emisí produkovaných dopravními prostředky je tématem bakalářské práce.

V úvodní části bakalářské práce jsem připomenul, jak a které emisní složky vznikají při provozu spalovacího motoru. Jelikož jsou některé z nich nežádoucí pro správné fungování lidského organismu potažmo pro správné fungování planety, je třeba tyto emisní složky dále redukovat.

Redukce těchto složek je dále popsána v kapitole 2, kde se věnuji technickým řešením, které aplikují výrobci vozidel do svých motorů za účelem snížení emisí. Důraz byl kladen na popis technických novinek, s kterými konstruktéři přišli v nedávné době a své uplatnění ve spalovacích motorech teprve naleznou, jako je tomu například u variabilního kompresního poměru, nebo ovládání ventilů bez vačkových hřídelů, a které by mohly pozdržet vytlačení spalovacího motoru z trhu jako takového elektromotorem.

Nicméně ani tyto technické finesy nepřinesou stoprocentní redukci emisí. V tu chvíli nastupují systémy dodatečné úpravy spalín, které jsou popsány v kapitole 4. Tyto systémy redukuje až 98 % výstupních složek a staly se tak nedílnou součástí dnešního spalovacího motoru. Opět byl kladen důraz na popis novinek, které napomáhají splnit nejnovější evropskou emisní normu EURO 6.

Avšak tyto systémy podléhají s provozem vozidla určitému opotřebení. V případě ztráty funkčnosti systému se některé zvláště neautorizované firmy uchylují k odbourávání těchto systémů z vozidla. Častým důvodem je finanční nákladnost náhradních dílů, které mohou i převýšit cenu vozidla, ve kterém jsou zamontovány.

K diagnostikování emisně relevantních komponent a k odhalení protizákonných úprav jsem sepsal kapitolu 5. Tato kapitola může sloužit jako výukový materiál pro obor Dopravní prostředky - Ochrana životního prostředí v dopravě, stejně tak jako se může stát platnou příručkou mechanika, který bude emisní systémy diagnostikovat. V kapitole je popsáno, jak a který systém diagnostikovat, jaké jsou správné výstupní hodnoty, popřípadě pro zkušenější mechaniky jsou zde ukázány elektrické signály, jež mají komponenty při správné funkci vykazovat, a jaké naopak vykazují při funkci špatné. Přináším do ní i vlastní zkušenosti z oboru, jemuž se ve volném čase aktivně věnuji.

Nesmím také opomenout kapitolu 3, ve které je popsáno, jak sám řidič vozidla může svým chováním omezit produkci emisí svého vozidla.

Z důvodu toho, že mě daná problematika velice zajímá, bylo mým cílem vytvoření celku, který může posloužit laikovi, který si bude chtít rozšířit obzory, zároveň ale bude moci posloužit člověku z oboru, který bude vyhledávat pomoc při hledání závady spojenou se systémy redukcí emisí.

Použitá literatura

- [1] *BOSCH -Automotive handbook*. 6th rev. and extended. London: Professional EngineeringPub., 2004. ISBN 1-86058-474-8.
- [2] *Princip činnosti čtyřdobého zážehového motoru* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://auto-pc.webnode.cz/automobily/zazehovy-motor-cinnost/>
- [3] JILEK, Petr a POKORNÝ, Jan. *Úvod do spalovacích motorů*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-7395-743-8.
- [4] PETRÁS, Zdeněk a Antonín RŮŽIČKA. *Spalování zážehového motoru a měření emisí*. 1997. Praha: Robert Bosch.
- [5] VLK, František. *Příslušenství vozidlových motorů*. Brno: František Vlk, 2002. ISBN 80-238-8755-6.
- [6] *Filtry pevných částic: ELIT* [online]. [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: <http://www.elit.cz/produkty/filtry-pevných-castic-dpffap.html>
- [7] PETRÁS, Zdeněk a RŮŽIČKA, Antonín. *Měření emisí*. Praha: Robert Bosch, 1997.
- [8] *Filtry pevných částic (DPF/FAP)* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://www.elit.cz/produkty/filtry-pevných-castic-dpffap.html>
- [9] *Quenchareas in the combustion chamber* [online]. [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: <http://www.grumpysperformance.com/quench1g.jpg>
- [10] BISKUP, Pavel. *Motor MCE-5 - S proměnnou kompresí* [online]. (02/10) [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: http://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/motor-mce-5-s-promennou-kompresi_39124.html
- [11] SAJDL, Jan. *TwinSpark* [online]. [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/twin-spark/>
- [12] PETRÁS, Zdeněk a Antonín RŮŽIČKA. *Spalování zážehového motoru a měření emisí*. 1997. Praha: Robert Bosch.
- [13] WADE, Steven. *FreeValve technology by Koenigsegg* [online]. [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: <http://koenigsegg.com/freevalve-technology-unveiled-at-beijing-motor-show-in-qoros-qamfree-concept-car/>
- [14] SAJDL, Jan. *Twinport* [online]. [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/twinport/>
- [15] BAUER, H. *Automotive electrics, automotive electronics*. 4th ed., completely rev. and extended /. Bury St. Edmunds: Professional Engineering, 2004. ISBN 1-86058-436-5.

- [16] *Lambda sondy s oxidem zirkoničitým: NGK* [online]. [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: <https://www.ngk.de/cz/produkty-a-technologie/lambda-sondy/technologie-lambda-sond/lambda-sondy-s-oxidem-zirkonicitym/>
- [17] GREGORA, Stanislav a Zdeněk MAŠEK. *Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2008. ISBN 978-80-7395-082-8.
- [18] SAJDL, Jan. *Lambda sonda* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/lambda-sonda/>
- [19] BAUER, H. *Gasoline-engine management*. 2nd ed., completely rev. and extended. Bury St. Edmunds: Professional Engineering, c2004. ISBN 1-86058-434-9.
- [20] SAJDL, Jan. *Katalyzátory* [online]. [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/katalyzator/>
- [21] MAŠEK, Zdeněk. *Studijní materiál - Vybrané diagnostické testy na vznětovém motoru* [online]. Pardubice [cit. 2017-03-09]
- [22] SAJDL, Jan. *SelectiveCatalyticReduction* [online]. [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/scr-selective-catalytic-reduction/>
- [23] FLEISCHHANS, Libor. *Provoz a funkce DPF*. Konference Diagnostic Con 2014.
- [24] BROŠ, Jiří a Luboš TRNKA. *Praktická dílna - Snižování emisí spalovacích motorů vozidel I a II. Autoexpert*. Praha: Autopress, 2009, (9 a 10). ISSN 1211 - 2380.
- [25] *CRT system* [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <https://www.dieselnets.com/tech/images/dpf/crt>
- [26] SAJDL, Jan. *ExhaustGasRecirculation* [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/egr-exhaust-gas-recirculation/>
- [27] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. 3. vyd. Praha: Sobotáles, 2007, 688 s. ISBN: 978-80-86706-17-7.
- [28] MAŠEK, Zdeněk. *Studijní materiál - Vybrané diagnostické testy na zážehovém motoru* [online]. Pardubice [cit. 2017-03-09]
- [29] MARTINEC, Vladimír. *Snímače v automobilech. Autoexpert: časopis profesionálů v autoopravárenství*. Praha: Autopress, 2005, (05). ISSN 1211-2380.
- [30] Kopruch, *HJS technologie emisních systémů vznětových motorů*. Konference Diagnostic Con 2012.