

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

DIAGNOSTIKA POHONNÝCH JEDNOTEK
ENGINE DIAGNOSTIC

AUTOR PRÁCE — Bc. Cyril Holeš
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. David Svída, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	**Bc. Cyril Holeš**
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Automobilní a dopravní inženýrství
Vedoucí práce:	**Ing. David Svída, Ph.D.**
Akademický rok:	2015/16

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

Diagnostika pohonných jednotek

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte metodiku pro diagnostiku spalovacího motoru pomocí aktuálních hodnot získaných z elektronické řídicí jednotky spalovacího motoru.

Cíle diplomové práce:

1. Pro vybraný spalovací motor proveďte základní přehled funkce elektronické řídicí jednotky, stručně popište použité řídicí strategie.
2. Pro vybraný spalovací motor navrhněte metodiku pro jeho diagnostiku pomocí aktuálních hodnot získaných z jeho elektronické řídicí jednotky.
3. Aplikujte Vámi navrženou metodiku na reálný spalovací motor.

Seznam literatury:

Kraftfahrzeug - Kurbelwellen: Konstruktion, Berechnung, Herstellung. 2001. Auflage. Landsberg/Lech Verlag Moderne Industrie 2001. 70 s. ISBN 3-478-93243-2.

Heisler, H. Advanced Engine Technology. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2002. 794 s. ISBN 1-56091-734-2.

Stotsky, A.: Automotive Engines: Control, Estimation, Statistical Detection. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. 209 s. ISBN 978-3-642-00163-5.

Hiereth, H., Prenninger, P.: Charging the Internal Combustion Engine. Springer-Verlag, Wien, 2007. 260 s. ISBN 978-3-211-33033-3.

Macek, J.: Spalovací motory I. ČVUT, První vydání, Praha, 2007. ISBN 978-80-01-03618-1.

Pavelek, M.: Termomechanika: Termodynamika proudění, http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/termo/11_Proudeni.pdf, 2015.

Štětina, J.: Podzvukové a nadzvukové proudění, http://ottp.fme.vutbr.cz/vyuka/sat/SeminatAT-09.pdf, 2015.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práca je zameraná na stanovenie metodiky diagnostiky pohonných jednotiek u vozidiel so systémom vysokotlakového vstrekovania paliva common rail. V prvej časti je popísaná komunikácia diagnostických zariadení s riadiacimi jednotkami a common rail systém vznetových motorov. V ďalšej časti je stanovený postup získavania, spracovania a analýzy dát pomocou vybraného diagnostického zariadenia a programovacieho prostredia. Následne je z výsledkov definovaný ekvivalent elektronickej regulácie množstva vstrekovaného paliva slúžiaci na výskumné, či servisné účely a ďalšie doplnkové pozorovania.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

Diagnostika, CAN, OBD, common rail, riadiaca jednotka, meranie, dáta, palivové mapy

ABSTRACT

The thesis is focused on determining the methodology of engine diagnostics for vehicles with common rail direct fuel injection. The first section describes the communication between the diagnostic tools and control units, and the common rail system for diesel engines. The next section specifies the procedure for the acquisition, processing and analysis of data using selective diagnostic tools along with software in a numerical computing environment. Subsequently, from the results, the equivalent electronic control of the fuel injection quantity is established for the purpose of research, vehicle servicing. The results may also allow for additional observations to be made.

KEYWORDS

Diagnostics, CAN, OBD, common rail, electronic control unit, measurement, data, fuel maps

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

HOLEŠ, C. *Diagnostika pohonných jednotiek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 99 s. Vedúci diplomové práce Ing. David Svída, Ph.D..

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som diplomovú prácu na tému Diagnostika pohonných jednotiek vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených na zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

V Brne dňa 26. mája 2016 ……..……..……..

Cyril Holeš

POĎAKOVANIE

Týmto ďakujem Ing. Davidu Svídovi, Ph.D. za ochotu, čas a odborné vedenie pri vypracovaní diplomovej práce.

OBSAH

Úvod 10
1 Vývoj diagnostiky vozidiel 11
1.1 História a príčiny zavedenia diagnostiky vozidiel 11
1.2 OBD diagnostika 12
1.2.1 OBD I 12
1.2.2 OBD II 12
1.2.3 Chybové kódy 14
1.3 Komunikácia medzi diagnostickým zariadením a vozidlom 14
1.3.1 Štandardizované pid parametre 14
2 Prehľad jednotlivých druhov diagnostík 18
2.1 Špecializované zariadenia 18
2.2 Univerzálne zariadenia 19
2.2.1 ELM327 19
2.3 Zariadenia pre autorizované servisy (OEM) 20
2.4 Zariadenia na komerčné účely (voľne predajné) 20
2.5 Ďalšie diagnostické zariadenia 22
2.5.1 Osciloskop 22
2.5.2 Multimeter 23
2.5.3 Ostatné zariadenia 23
3 Vznetové spaľovacie motory a systém common rail 25
3.1 Palivá vznetových motorov 25
3.2 Emisie vznetových motorov 26
3.3 Prvky systému vstrekovania common rail 27
3.3.1 Konštrukcia systému 28
3.3.2 Nízkotlaková časť 29
3.3.3 Vysokotlaková časť 30
3.3.4 Kontrolné a komunikačné prvky common rail systému 40
3.3.5 Možné poruchy common rail systému 45
3.4 Elektronická regulácia vznetových motorov so systémom common rail 46
3.4.1 Komunikačná sieť can 47
3.4.2 Komunikácia systému cez sériový prenos dát can 48
4 Metodika diagnostiky vozidla so vstrekovacím systémom common rail 50
4.1 Stanovenie cieľov merania a analýza vozidla 50
4.2 Výber diagnostického zariadenia 51
4.2.1 ELM 327 diagnostické zariadenie 51

4.2.2 Vývojové diagnostické zariadenie 52
4.2.3 Delphi ds150e 54
4.3 Stanovenie optimálnych podmienok merania 56
4.4 Spracovanie a analýza dát 57
5 Aplikácia navrhnutej metodiky na vozidlo Kia Cee'd sw 1.6 CRDi 62
5.1 Popis vozidla 63
5.2 Voľba meraných dát 63
5.3 Test vozidla 64
5.4 Spracovanie a analýza získaných dát 65
5.4.1 Výpočet množstva vstrekovaného paliva pri štarte 66
5.4.2 Výpočet vstrekovanej dávky na voľnobehu 67
5.4.3 Výpočet dávky vstrekovaného paliva pri režime jazdy 69
5.4.4 Výpočtový model v programe matlab 87
5.5 Vyhodnotenie merania 87
6 Doplnkové merania 89
6.1 Porovnanie európskeho jazdného cyklu s nameraným 89
Záver 93
Zoznam použitých skratiek a symbolov 98

ÚVOD

S vývojom spaľovacích motorov sa súčasne vyvíjalo aj ich riadenie s cieľom dosiahnuť optimálne výkonové parametre, avšak v súčasnej dobe zároveň aj spĺňať neustále sa zvyšujúce nároky emisných limitov pre ochranu životného prostredia. Od jednoduchých riadení založených na mechanických a fyzikálnych princípoch sa s vývojom elektroniky postupne prešlo na plne elektronicky riadený chod motora, ktorého hlavou je riadiaca jednotka spracúvajúca množstvo elektronických signálov od rôznych senzorov a komponentov, ktorých následným vyhodnotením a odosielaním príkazov akčným členom motora zabezpečuje splnenie spomínaných požiadaviek.

Z tohto dôvodu sa stáva sériová diagnostika pohonných jednotiek cez štandardizovaný vstup prostredníctvom diagnostických zariadení, ale aj paralelná diagnostika pomocou iných elektronických meracích prístrojov (osciloskop, multimeter a ďalšie), nevyhnutnou súčasťou nielen kontroly stavu vozidla a emisií, ale aj pri vývoji nových komponentov a modelov vozidiel.

Náplňou tejto diplomovej práce je využitie diagnostického zariadenia v praxi a to konkrétne návrhom metodiky diagnostiky vozidla s vysokotlakovým vstrekovacím systémov common rail, ktorý nadobudol dominantné postavenie u novo-vyrábaných vozidiel so vznetovými motormi pre jeho mnohé výhody akými sú napríklad vyššia účinnosť motora, vyšší výkon, nižšia spotreba, nižšie emisie a ďalšie.

1 VÝVOJ DIAGNOSTIKY VOZIDIEL

1.1 HISTÓRIA A PRÍČINY ZAVEDENIA DIAGNOSTIKY VOZIDIEL

Vývoj prvej diagnostiky začal v Spojených štátoch amerických a to konkrétne v Kalifornii, kde už v 30-tych rokoch minulého storočia jazdilo 2 milióny áut. Vtedajšie autá mali obrovské emisie výfukových plynov. Nad veľkými mestami ako Los Angeles sa vznášal pozorovateľný smog, čo malo veľmi negatívny dopad na ľudské zdravie. Počet áut neustále rástol a spolu s ním aj znečistenie ovzdušia.

V 60-tych rokoch štát Kalifornia začal robiť prvé opatrenia. Založil agentúru pre ochranu životného prostredia EPA. Organizácia v roku 1961 prišla so súčiastkou s názvom PCV (positive crankcase ventilation), montovanú na kľukovú skriňu, ktorá recirkulovala časť výfukových plynov, unikajúcich zo spaľovacieho priestoru do kľukovej skrine, späť do ďalšieho cyklu. Táto súčiastka zároveň predlžovala životnosť oleja a tým nepriamo aj životnosť motora.

Koncom 60-tych rokov, kedy počet áut v Kalifornii dosiahol číslo 12 miliónov, začali s vývinom legislatívy na kontrolu emisií. V 70-tych rokoch nasledoval vznik prvých katalyzátorov výfukových plynov, ktorého úlohou bolo čo najviac redukovať škodlivé zložky na jeho výstupe. Katalyzátory sa stali povinnými pre vozidlá predávajúce sa v Kalifornii. Bol to prvý krok k výraznému zníženiu emisií.



Obrázok 1-1 Príklad vývoja elektroniky vo vozidle mercedes triedy E [8]

Koniec 80-tych rokov bol poznačený vývojom mikroelektroniky. Autá prechádzali na elektronicky ovládané vstrekovanie paliva, montujú sa senzory na rôzne merania (lambda sondy atď.). Senzorov v aute pribúdalo a bolo potrebné ich monitorovanie. V roku 1988 preto vznikajú prvé diagnostiky komunikujúce s týmito senzormi. Diagnostiky mali mať rovnakú úlohu ako je tomu aj dnes a to kontrolovať množstvo škodlivých plynov a upozorniť šoféra v prípade zlej funkčnosti systému alebo niektorého z jeho súčiastok. V roku 1991 zavádza CARB (The California Air Resources Board) v spolupráci so SAE (Society of Automotive Engineers) tzv. OBD I normu (on-board diagnostics), ktorá ešte nemá jednotne definovaný vstup pre všetky autá. V roku 1994 už ale definuje pozíciu a vstup diagnostiky pre všetky autá

jazdiace v Kalifornii a vzniká jednotná OBD II norma a diagnostika. Tá sa v roku 1996 stáva povinnou pre všetky autá predávané v USA. Podobné kroky nastávajú aj v Európe, kde sa v roku 2001 stáva povinnou pre všetky benzínové vozidlá vyrobené po tomto roku norma EOBD (European On Board Diagnostics), ktorá je ekvivalentom OBD II. Pre dieselové motory je povinnou od roku 2004. S napredovaním vývoja elektroniky (obr. 1-1) sa ukázalo zavedenie diagnostiky ako nevyhnutný prostriedok monitorovania stavu vozidla. [1][2][3][4]

1.2 OBD DIAGNOSTIKA

OBD – on board diagnostic, je termín, voľne preložený ako palubná diagnostika. V podstate môžeme hovoriť o množine prostriedkov (komunikačné normy, typ konektora, signály, zariadenie čítajúce informácie, softvér atď.), vďaka ktorým získavame informácie o vozidle v prevádzke. Táto komunikácia s riadiacou jednotkou vozidla je zabezpečená štandardizovanou normou OBD. [5]

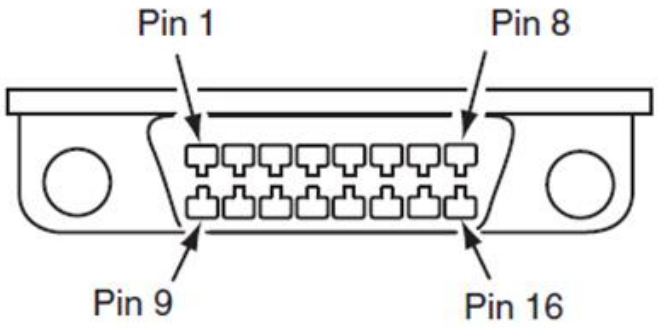
1.2.1 OBD I

Prvou generáciou tejto normy bola OBD I. Bola krátka a určovala v podstate iba povinnosť monitoru palubného počítača upozorniť na chybu komponenty vozidla, súvisiacej s emisiami. Získavané informácie neboli štandardizované a komunikácia bola u výrobcov vozidiel rôzna. OBD I bola z tohto dôvodu veľmi neefektívna v získavaní informácií pri kontrole emisií. Preto krátko nato vzniká norma OBD II, ktorá zjednocuje systém emisnej diagnostiky všetkých výrobcov. [6]

1.2.2 OBD II

Normu OBD II teda môžeme označiť za vylepšenie OBD I. Norma je omnoho širšia a definuje typ diagnostického konektora a jeho kolíky konektora (piny), elektrické signály, kódovanie a čítanie informácií. Je to emisná diagnostika, ktorá je schopná komunikovať s riadiacou jednotkou všetkých značiek automobilov, ktoré sa predávajú v krajinách, kde platí táto norma. Zmyslom vytvorenia takejto diagnostiky je hlavne zjednodušenie práce pre technikov a mechanikov, ktorí pracujú so širokou škálou značiek. Tí môžu oveľa efektívnejšie kontrolovať výkon motora, využívanie vstrekovaného paliva a emisné hodnoty bez nutnosti meniť diagnostické zariadenie v závislosti na značke automobilu a hlavne kontrolovať výrobcov v dodržiavaní maximálneho množstva emisných plynov.

Na obrázku 1-2 je konektor definovaný normou OBD II. Treba však upozorniť, že niektoré vozidlá mali rovnaký konektor ako definuje norma OBD II, no normu nepodporovalo a tým pádom nebolo možné komunikovať s riadiacou jednotkou. Napríklad Škoda Felicia má rovnaký typ konektora ako je definovaný normou OBD II, ale normu nepodporuje. [1][5]



Obr. 1-2 OBD II konektor (samica) [5]

Tabuľka 1-1 Popis jednotlivých pinov konektora

PIN 1	Ponechané na výrobcovi	PIN 9	Ponechané na výrobcovi
PIN 2	J8150 bus pozitívny	PIN 10	J8150 bus negatívny
PIN 3	Ponechané na výrobcovi	PIN 11	Ponechané na výrobcovi
PIN 4	Uzemnenie na kostre	PIN 12	Ponechané na výrobcovi
PIN 5	Komunikačná kostra	PIN 13	Ponechané na výrobcovi
PIN 6	Can Bus H	PIN 14	Can Bus L
PIN 7	ISO 9141-2 "K" linka	PIN 15	ISO 9141-2 "L" linka
PIN 8	Ponechané na výrobcovi	PIN 16	Batéria 12V

Ako môžeme vidieť v tabuľke 1-1, OBD II nedefinuje všetkých 16 pinov konektora, ale niektoré necháva voľné pre automobilových výrobcov, ktorí cez nich môžu odosielať dáta do diagnostických zariadení podľa ich uváženia a vyrábať svoje diagnostické zariadenia a komunikačné protokoly na čítanie týchto pinov.

Norma OBD II nehovorí len o štandardizovanom vstupe, ale aj o špecifickom kódovaní popísanom v normách. Organizácia SAE a ISO vytvorila komunikačné protokoly aby jednoznačne určila komunikáciu riadiacej jednotky s automobilom. Momentálne ich je 5 a to SAE J1850 PWM, SAE J1850 VPW, ISO9141-2, ISO14230-4 (KWP2000) a od roku 2003 aj ISO 15765-4/SAE J2480. Tieto protokoly majú špecifickú formu komunikácie. Napríklad rôzne napätie, rýchlosť a iné. OBD testery podporujú všetky spomínané protokoly. Okrem týchto protokolov existujú aj mnohé ďalšie, ktoré nie sú definované OBD normou a dokážu cez nich komunikovať s automobilom iba špeciálne diagnostické zariadenia popísané v kapitole 2.

- **ISO 9141-2**

Je to najrozšírenejší protokol pre európske autá pred CAN. Sieť je tvorená 2 linkami (signálmi) a to K-linkou a L-linkou a rýchlosť prenosu informácií je 9600b/s. K-linka je dôležitejšia komunikuje obojsmerne (získava údaje z meračov a dokáže posielať signály aj spätne do meračov). L-linka je len jednosmerná a preto ju niektoré vozidlá nevyužívajú. Pin 7 a Pin 15 sú určené pre tento protokol.

- **SAE J1850 PWM**

Tento protokol využívajú hlavne vozidlá FORD. PWM je spôsob komunikácie. Znamená to Impulzová šírková modulácia. Šírka impulzu sa mení v závislosti na vstupe, za cieľom prenosu informácie. Linka je symetrická a komunikuje so signálmi BUS pozitívny a BUS negatívny (obr. 1-2 PIN 2 a PIN 10)

- **SAE J1850 VPW**

Protokol používaný vo vozidlách firmy General Motors. Podobný ako SAE J1850 PWM, ale využíva len jeden komunikačný signál BUS pozitívny.

- **ISO 15765-4 CAN a SAE J2248 CAN**

Najnovšie protokoly komunikujúce na princípe CAN (CAN – Controller Area Netwok). Majú vysokú rýchlosť a sú odolné proti rušeniu. Keďže káblov vo vozidlách pribúdalo, bol vyvinutý práve tento nový spôsob komunikácie po jednom páre káblov. Komunikujú cez Can High a Can low (PIN 6 a 14, obr. 1-2). Tento spôsob komunikácie dokáže ušetriť značnú dĺžku káblov a celkovej hmotnosti vozidla. Can-Bus technológia sa stala povinnou pre vozidlá vyrobené po roku 2008 v Amerike aj v Európe. Viac v časti 3.4. [5]

1.2.3 CHYBOVÉ KÓDY

Merače odosielajú do diagnostického zariadenia kódované správy (DTC), tie majú normou definovaný 5-miestny alfanumerický tvar. Prvý znak definuje systém (B – karoséria, C – podvozok, P – pohon, U – sieť), druhý znak typ kódu (0 – všeobecný, 1 – špecifický), tretí znak definuje subsystém (napr. 1 – palivo/vzduch/lambda sonda, 9 – automatická prevodovka) a štvrtý a piaty znak označujú konštrukčný diel, ktorý je chybný. [7]

1.3 KOMUNIKÁCIA MEDZI DIAGNOSTICKÝM ZARIADENÍM A VOZIDLOM

Palubné diagnostiky komunikujú s riadiacimi jednotkami pomocou PID parametrov – kódov, ktoré od nich vyžadujú potrebné dáta na základe daného módu a príslušného PID paramatru. PID môžu byť definované všeobecnou normou OBD II (SAE J/1979) platiacou pre všetkých výrobcov vozidiel v danej oblasti alebo zvyšné, špecifické, definované výrobcami vozidiel (určené pre OEM diagnostické zariadenia). Postup pri komunikácii začína pripojením diagnostického zariadenie do OBD zásuvky. Ďalej užívateľ vloží požadovanú žiadosť na informáciu, ktorú pomocou PID parametra odošle zariadenie do riadiacej jednotky, komunikujúcej cez CAN-bus, VPW, PWM, ISO alebo KWP (autá vyrobené po roku 2008 už len CAN). Riadiaca jednotka odpovie na požiadavku. Túto odpoveď potom zo zbernice dát prečíta diagnostické zariadenie a zobrazí ju užívateľovi cez softvérový program.

1.3.1 ŠTANDARDIZOVANÉ PID PARAMETRE

Požiadavka od diagnostického zariadenia môže mať 10 rôznych módov (tab. 1-2), pričom každý výrobca môže definovať ďalšie módy mimo 10 módov definovaných normou. Ďalej si tieto správy budeme prevádzať z binárnej sústavy do hexadecimálnej, pre jej lepšiu prehľadnosť.

Tabuľka 1-2 Módy požiadaviek [9]

Mód [hex]	Popis	Mód [hex]	Popis
01	Aktuálne dáta	06	výsledky testov, monitorovanie ostatných komponentov (u CAN senzoru kyslíka)
02	Uložené dáta (freeze-frame)	07	DTC nájdené počas aktuálneho alebo posledného testu
03	Uložené chyby (DTC)	08	Kontrola OBD systému
04	Vymazanie uložených chýb	09	Žiadanie informácií o vozidle
05	Výsledky testov, monitorovanie senzoru kyslíka (neplatí pre CAN)	0A	Permanentné chybové kódy (aktuálne aj vymazané)

Keďže existuje veľké množstvo požadovaných dát, v ďalšej časti si ukážeme príklady fungovania komunikácie medzi zariadením a riadiacou jednotkou pre správne pochopenie systému komunikácie. Komunikácia sa u jednotlivých protokolov mierne líši a to najmä medzi CAN systémom a ostatnými systémami, avšak princíp zostáva pomerne rovnaký.

V tabuľke 1-3 vidíme schematické zobrazenie dát poslaných z riadiacej jednotky na základe PID žiadosti. Správa môže mať rôznu dĺžku. Táto konkrétna má 4 B, ale dĺžka správy môže byť rôzna. Bit 7 je najdôležitejší, bit 0 najmenej.

Tabuľka 1-3 Schéma 4 B informácie

A								B								C								D							
7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0

V tabuľke 1-4 môžeme vidieť vybrané PID žiadosti módu 1 na ktoré riadiaca jednotka odpovedá príslušnou informáciou. PID parameter má binárny tvar, avšak pre jeho jasnejšie a zrozumiteľnejšie znázornenie použijeme hexadecimálny tvar. Mód 1 a 2 sú prakticky rovnaké až na PID 01_{hex} (hexadecimálna sústava), ktorý je iba v móde 1 a PID 02_{hex}, ktorý je iba v móde 2 a v prípade, že odpoveď na PID 02_{hex} je 0, nie sú uložené žiadne dáta z ďalších PID žiadostí. Veľkosť dátovej odpovedi nám okrem iného zobrazuje aj presnosť dát. Napríklad informácia o teplote nasávaného vzduchu má 1 B, čo predstavuje 8 b, čo je $2^8 = 256$ rôznych kombinácií, čo predstavuje presnosť merania nula desatinných miest v rozsahu od -40 ˚C do 215 ˚C.

Tabuľka 1-4 Vybrané PID parametre v móde 01_{hex} [10]

PID [hex]	Dátová odpoveď [B]	Popis	Min. hodnota	Max. hodnota	Jednotka
00	4	Počet PID podporovaných [0 -20]			
0F	1	Teplota nasávaného vzduchu	-40	215	˚C
0D	1	Rýchlosť vozidla	0	255	Km/h
14	2	Napätie na lambda sonde 1	0	1.275	V
74	5	Otáčky turbodúchadla			1/min

Na obrázku 1-3 vidíme dátovú odpoveď na požiadavku PID 01_{hex} v móde 01_{hex}, ktorý ma do diagnostického zariadenia odoslať informáciu o podporovaných PID od 1 do 20 (01_{hex} až $1F_{hex}$), čo nám v podstate ukazuje, ktoré z informácií sme schopný vyčítať z riadiacej jednotky.

Hexadecimal	B				E				1				F				A				8				1				3			
Binary	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
Supported?	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	No	No	No	No	No	No	Yes	No	No	Yes	Yes
PID number	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F	20

Obrázok 1-3 Dátová odpoveď na Mód 01 PID 01 [9]

Odpoveď $BE1FA813_{hex}$ resp. jej binárny ekvivalent nám ukazuje ktoré z PID parametrov sú podporované. Napríklad napätie na lambda sonde 1, nie je v tomto móde zobrazované

Zaujímavou je aj žiadosť PID $1C_{hex}$ v móde 1, kedy je do diagnostického zariadenia odoslaná 1 B správa, pre ktorú normu je riadiaca jednotka navrhnutá (OBD II EPA, EOBD, JOBD, India OBD II atď.). [9][10]

ŠTANDARDIZOVANÉ PID PARAMETRE U VOZIDIEL S CAN ZBERNICOU

Žiadosť a odpoveď ECU u áut s CAN zbernicou využíva funkčné adresovanie správ. Diagnostické zariadenie iniciuje žiadosť (štandardizovaná žiadosť OBD II normou) CAN identifikátorom $7DF_{hex}$ a následne prijíma všetky odpovede iniciované od identifikátormi od $7E8_{hex}$ do $7EF_{hex}$, čo znamená 8 rôznych identifikátorov, a teda že zariadenie vie prijímať odpovede až od 8 rôznych riadiacich jednotiek. Diagnostické zariadenie nemusí odoslať žiadosť všetkým riadiacim jednotkám začínajúcu identifikátorom $7DF_{hex}$ ale adresovať ju priamo konkrétnej riadiacej jednotke a to pridaním identifikátora od $7E0_{hex}$ to $7E7_{hex}$ (odpoveďou od konkrétnej ECU je identifikátor zmenení pričítaním čísla 8 a to napríklad žiadosť $7E5_{hex}$ dostane odpoveď $7ED_{hex}$).

Tabuľka 1-5 a 1-6 nám ukazuje formát žiadosti z diagnostického zariadenia (štandardizovaná aj neštandardizovaná správa) a formát odpovedi ECU.

Tabuľka 1-5 Formát dátovej časti žiadosti diagnostického zariadenia (štandardizovaná a neštandardizovaná správa) [9]

	Bajt							
Adresát žiadosti	0	1	2	3	4	5	6	7
definované OBD II norma (napr. $7DF_{hex}$)	Počet nasledovných použitých bajtov - 2	Číslo Módu (01_{hex} až 09_{hex})	PID parameter	Nepoužité				
Neštandardizované, dané výrobcom	Počet nasledovných použitých bajtov - 3	Mód (viac ako 09_{hex})	PID parameter	nepoužité				

Tabuľka 1-6 Formát dátovej časti odpovede na žiadosť diagnostického zariadenia u CAN vozidiel (štandardizovaná, neštandardizovaná správa a odpoveď na chybnú správu) [9]

	Bajt							
Adresa ECU	0	1	2	3	4	5	6	7
OBD II norma ($7E8_{hex}$ až $\$7EF_{hex}$)	Počet nasledovných použitých bajtov – 3 až 6	40 + číslo módu v žiadosti	PID parameter	Požadovaná informácia (napr. rýchlosť) 1 až 4 B				
Neštandardizované dané výrobcom	Počet nasledovných použitých bajtov – 4 až 7	40 + číslo módu v žiadosti	PID parameter	Požadovaná informácia 1 až 4B				

Napríklad OBD žiadosť od diagnostického zariadenia môže vyzerať nasledovne:

7DF 02 01 0D 00 00 00 00 00_{hex}

$7DF_{hex}$ znamená, že žiadosť je adresovaná všetkým riadiacim jednotkám podliehajúcim OBD II norme, 02_{hex} je počet nasledujúcich signifikantných bajtov, 01_{hex} je PID mód a $0D_{hex}$ je PID parameter požadujúci informáciu o rýchlosti vozidla.

Odpoveď by mohla vyzerať

7E8 04 41 0D 01 FD 00 00 00_{hex}

Kde $7E8_{hex}$ je adresa konkrétnej odpovedajúcej ECU, 04_{hex} je počet nasledujúcich signifikantných bajtov, 41_{hex} (40 + 1) je PID mód, $0D_{hex}$ PID parameter a keďže počet nasledných signifikantných bajtov bol 4, na informáciu o rýchlosti vozidla nám zostáva 1 B, kde FD_{hex} je v prevode do decimálnej sústavy 253, čo je rýchlosť vozidla v km/h. [9][10][11]

NEŠTANDARDIZOVANÉ PARAMETRE PID PARAMETRE

Väčšina PID parametrov určených na komunikáciu cez OBD II zásuvku vo vozidle nie sú štandardizované a existuje omnoho viac informácií monitorujúcich vozidlo, ktoré je možné získať cez diagnostické zariadenie. Tieto parametre a kódovanie správ nie sú verejne dostupné a je možné ich získať za licenčný poplatok. Neštandardizované PID je možné získať od rôznych organizácií (napríklad členstvom v ETI, ktoré stojí ročne 5 000 $ až 10 000 $), avšak tieto organizácie nedisponujú kompletnou dokumentáciu neštandardných PID. Z tohto dôvodu je lepšie pre získanie plnej dokumentácie uzavretie kontraktu priamo s výrobcom áut (licencia pre prácu so zariadeniami pre autorizované servisy sa pohybuje v rôznej cenovej hladine, napríklad BMW v USA účtuje 25 500 $ + 2 000 $ ročná aktualizácia, Honda 5 000 $ alebo General Motors až 50 000$). [12]

2 PREHĽAD JEDNOTLIVÝCH DRUHOV DIAGNOSTÍK

Ako sme sa už zmienili, diagnostické komunikačné zariadenia prevádzajú informácie z auta do užívateľskej formy a príkazy užívateľa do dátovej formy, ktorú vie prečítať riadiaca jednotka. Existuje množstvo diagnostických zariadení, ktoré sa líšia funkciami, veľkosťou a cenou. Preto je veľmi dôležité pred kúpou diagnostického zariadenia vedieť, načo ju chceme využívať (čítanie chýb, meranie dát, práca s dátami, nastavovanie komfortu vozidla, zmena výkonu motora atď.)

Diagnostiky všeobecne delíme na:

- špecializované zariadenia,
- univerzálne zariadenia.

Ďalej môžeme zariadenia rozdeliť aj na :

- zariadenia pre autorizované servisy (OEM),
- zariadenia na komerčné účely (voľne predajné).

2.1 ŠPECIALIZOVANÉ ZARIADENIA

Špecializované zariadenia sú vyrobené spolu s konkrétnym softvérom a nespolupracujú so žiadnymi inými softvérmi. Väčšinou sú určené pre jeden koncern automobilov. Napríklad Volkswagen/Audi/škoda/Seat, JEEP/Dodge/Chrysler, Fiat/Alfa Romeo/Lancia, BMW/Mini a ďalšie. Okrem protokol patriacich pod OBD II normu komunikujú aj cez neštandardizované protokoly výrobcov automobilom a preto vedia z riadiacej jednotky vyčítať aj viac informácií. [5]

Pre slovenský a český trh je najzaujímavejší koncern Volkswagen group a k nemu najviac predávaná diagnostika VCDS (program) resp. v minulosti označovaná VAG-COM s kabelážou HEX-CAN. Nie je voľne predajná podobne ako je tomu u koncernových diagnostík, no je možné kúpiť jej pomerne dobre fungujúcu napodobeninu. Okrem bežných protokolov OBD II normy je určená na komunikáciu aj s protokolmi koncernu VW. Spolu s redukciou vie komunikovať aj so staršími modelmi ako sú napríklad Škoda Favorit. V porovnaní so všeobecnou OBD II normou, vie získavať informácie napríklad aj od ABS senzorov, konfigurovať systém pre väčší komfort (nastaviť denné svietenie, automatické uzamykanie dverí a ďalšie). VCDS softvér má množstvo ďalších funkcií ako osciloskopické zobrazenie, automatický test vozidla, kedy postupne skontroluje všetky elektronické zariadenia vozidla a vie čítať aj normu OBD u ostatných značiek automobilov.

Medzi ďalšie špecializované zariadenia avšak voľne dostupné na trhu patria diagnostické zariadenia napríklad od firmy Bosch alebo Delphi, ktoré podobne ako zariadenia pre autorizované diagnostické servisy dokážu komunikovať s neštandardizovanými protokolmi výrobcom automobilov, avšak u niektorých výrobcov môže byť táto komunikácia oproti nim značne obmedzená . [13]

Tabuľka 2-1 Výhody a nevýhody špecializovaných zariadení

Výhody	Nevýhody
Rýchla a rozsiahla komunikácia s riadiacou jednotkou	Komunikácia s malým množstvom značiek (u zariadeniach pre autorizované servisy)
Široká škála funkcií a nastavení	Vyššia cena
Kvalitný softvér	
Spoľahlivosť	

2.2 UNIVERZÁLNE ZARIADENIA

Univerzálne diagnostiky sú schopné spolupracovať s viacerými softvérmi a sú určené pre širokú škálu vozidiel. Ich ceny sú veľmi rozličné. Dostupné sú zariadenia za ceny od približne 30 € (čínske napodobeniny dokonca od 5 €) a v princípe komunikujú len s OBD II protokolmi.

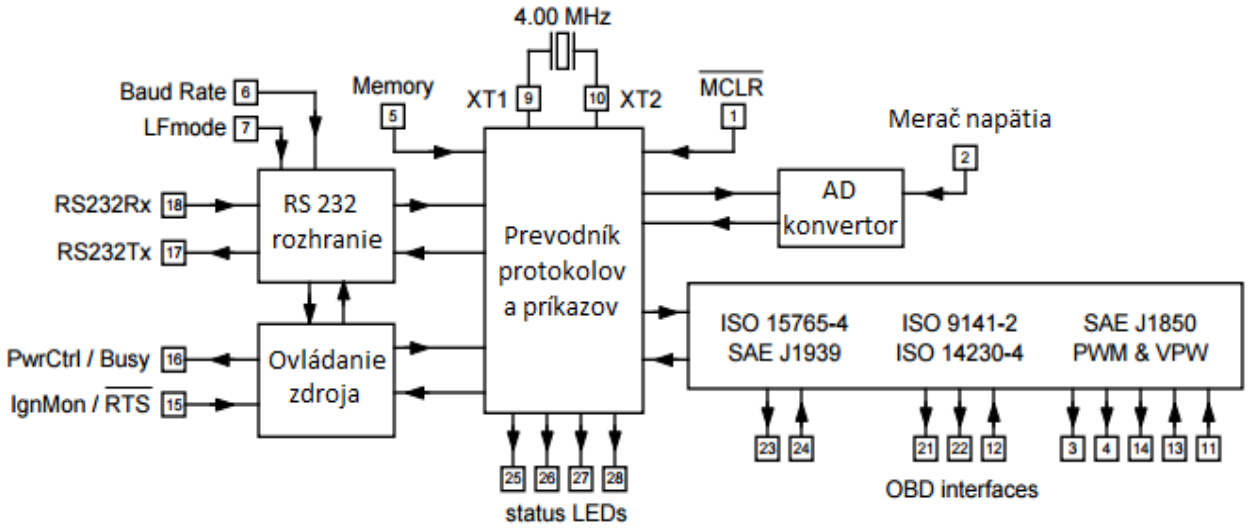
Univerzálne diagnostiky ešte môžeme ďalej rozdeliť podľa čipu na prevodníky KKL a ELM. KKL je prevodník normy ISO 9141-2 a 14230 s komunikačnými linkami K a L. Je to staršia technológia a dnes už nie je príliš využívaná. ELM prevodník so súčasnou verziou mikroprocesora ELM 327, sú súčasťou emisných diagnostík OBD II. Využívajú jednoduché tzv. AT príkazy (známe aj ako Hayesove príkazy, kombinujúce krátke textové reťazce) a preto pre nich existuje množstvo softvérov. Mnoho z nich sú dostupné zadarmo. [13][5]

Tabuľka 2-2 Výhody a nevýhody univerzálnych zariadení

Výhody	Nevýhody
Komunikácia s veľkým množstvom značiek	Častý problém vybrať si z ponuky tú najvhodnejšiu
Rozličné softvéry, možnosť vybrať si najviac vyhovujúci	Menšia škála funkcií (nie je pravidlom)

2.2.1 ELM327

Prenos dát z riadiacej jednotky automobilu je odlišný od spôsobu prenosu dát v počítačoch. Mikroprocesor ELM327, vyvinutý firmou Elm electronics, slúži ako prevodník OBD II protokolov (aj vrátane SAE J1939 protokolu, ktorý definuje komunikáciu u nákladných automobilov a autobusov) na RS232 štandard, ktorý definuje asynchrónnu sériovú komunikáciu pre prenos dát. Vďaka tomuto definovanému prevádzaniu dát, je možné pre diagnostické zariadenie obsahujúce EML 327 mikroprocesor vybrať medzi množstvom softvérov pre počítač, čo je ich veľkou výhodou.



Obrázok 2-1Blokový diagram ELM327 [10]

Na obrázku 2-1 vidíme blokový diagram ELM327 mikroprocesora. Pin 1 slúži na reštartovanie mikroprocesora. Pin 2 je vstup na merač napätia od 0 V do 5 V. Pin 11 je vstup pre pre J1850 VPW dátový signál, Pin 12 pre ISO 9141 a iso 14230 privedené K linkou (PIN 7 v OBD zásuvke, viď kapitola 1.2.2), pin 13 J1850 PWM, Pin 17 a 18 sú výstup a vstup pre RS232 dátové správy a pin 23 a pin 24 slúžia na komunikaciu cez CAN rozhranie. [10]

2.3 ZARIADENIA PRE AUTORIZOVANÉ SERVISY (OEM)

Sú to zariadenia určené len pre autorizované servisy výrobcov automobilov. Je prakticky nemožné ich kúpiť, resp. musíte byť majiteľom licencie na autorizovaný servis danej značky. OEM (original equipment manufacturers) zariadenia majú jedinečnú funkčnosť a sú vyrábané s cieľom znemožniť servis ich áut v neautorizovanom servise. Na trhu možno nájsť aj ich repliky, ktoré nie vždy fungujú správne. [14][5]

Tabuľka 2-3 Výhody a nevýhody OEM zariadení

Výhody	Nevýhody
Presnosť merania	Nedostupnosť na trhu resp. drahá licencia a náklady na autorizovaný servis
Kompletná komunikácia s riadiacimi jednotkami	Určené len pre autá od daného koncernu

2.4 ZARIADENIA NA KOMERČNÉ ÚČELY (VOĽNE PREDAJNÉ)

Komerčné zariadenia sú bežne dostupné na trhu. V tom je ich hlavný rozdiel oproti zariadeniam pre autorizované servisy. Niektoré z nich môžu byť menej kvalitné, ale na trhu sú už aj veľmi známe a spoľahlivé diagnostiky značky BOSCH so svojou radou KTS, Delphi (skupina Wurth) alebo francúzsky výrobca ACTIA. Sú vhodné pre servisy zameriavajúce sa na prácu s rozličnými výrobcami automobilov.

Tabuľka 2-4 Výhody a nevýhody komerčných zariadení

Výhody	Nevýhody
Dostupnosť na trhu	Nemusia prečítať všetky informácie z riadiacej jednotky
Široká ponuka zariadení	Komunikácia s niektorými značkami automobilov môže byť značne obmedzená
Komunikácia s množstvom neštandardizovaných protokolov od rôznych značiek	

Značka Bosch, s obratom 47 miliárd €, je najväčším dodávateľom automobilových dielov na svete. Keďže pripravuje riadiace jednotky pre veľké množstvo automobilov, je logické, že vyrába veľmi kvalitné diagnostické zariadenia rady KTS (obr. 2-2).



Obrázok 2-2 Bosch KTS 340 [15]

Diagnostiky rady KTS sú najpredávanejšou diagnostikou pre servisy na svete. Sú veľmi kvalitné a výkonne. Ich cena je však vysoká (približne 4000 € a viac), preto sú nevhodné pre bežného nadšenca diagnostiky. Ich použitie je najmä v autoservisoch.

Firma Bosch ponúka v rámci auto diagnostiky radu prístrojov. Okrem diagnostík elektronických systémov KTS, sú to ďalšie diagnostické prístroje na:

- test motoru a jeho príslušenstva FSA na meranie jednotlivých komponentov vozidla (podobné ako osciloskop),

- meranie emisií BEA, určené na emisné kontroly vozidiel,
- skúšanie systémov vznetových motorov EPS pre opravu a testovanie vstrekovacích trysiek,
- testery akumulátorov,
- meranie geometrie náprav,
- analýzu systému bŕzd.

Z rady KTS momentálne firma BOSCH ponúka modely: KTS 200 – rýchly servis a údržba, KTS 340 – rýchly servis a kompletné opravy, KTS 515 – jednoduchá a rýchla diagnostika podľa normy OBD, KTS rada 5 – modely pre spojenie s PC väčšinou aj s dvojkanálovým osciloskopom, KTS 840 – Jednoduchá a spoľahlivá diagnostika ECU, KTS 870 – Diagnostika ECU s prvotriednou technológiou merania, KTS 890 – Rýchla a flexibilní analýza vozidla. Čím väčšie číslo modelu KTS tým vyššia cena a rozmerovo väčšia diagnostika. Diagnostiky KTS pracujúce s PC a sú dodávané taktiež so softvérom ESItronic. [15]

Wurth je taktiež nemecká firma s veľmi širokým zameraním. Nemá síce takú širokú ponuku ako Bosch, ale taktiež sa radí medzi veľmi dobre predávaných výrobcov diagnostiky značky WOW!. V ponuke má momentálne modely iQ330, iQ150 a iQ4bike pre motocykle spolu s príslušným softvérom WSD.

Výrobca ACTIA zasa vyrába nie len originálne OEM zariadenia pre značky Renault, Dacia, Peugeot Citroen, ale aj komerčnú diagnostiku Multidiag vhodnú pre všetky druhy vozidiel (nákladné vozidlá, autobusy a ďalšie).

Pre potreby mojej diplomovej práce som pracoval práve s univerzálnym, komerčným diagnostickým zariadením Delphi DS150e VCI, ktoré je možné použiť aj u nákladných automobiloch. Má veľkú databázu vozidiel a prácu s ňou si ukážeme v praktickej časti. [16][5][17]

2.5 ĎALŠIE DIAGNOSTICKÉ ZARIADENIA

So všeobecným technologickým vývojom a hlavne vývojom počítačovej technológie a elektroniky prešli autá od ich vzniku obrovskou zmenou. Prvé auto s výbušným motorom bolo vyrobené v roku 1836. Prvý vznetový motor bol patentovaný v roku 1892. Vozidiel pribúdalo a napriek tomu, že boli omnoho jednoduchšie ako dnešné vozidlá, bol potrebný ich servis a opravy. S tým priamo súviseli rôzne merania, ktoré boli v niektorých prípadoch prácnejšie, keďže diagnostické zariadenia ako máme dnes, vôbec neexistovali. V prípade, že auto vykazovalo neobvyklé správanie, bolo nutné zistiť kde je chyba. Na kontrolu využívali rôzne merače ako napríklad multimeter, tlakomer, otáčkomerom, osciloskop a ďalšie.

2.5.1 OSCILOSKOP

Osciloskop je elektronické zariadenie, ktoré meria a zobrazuje na displeji časový priebeh napäťového signálu a z neho prevedených veličín (prúd a ďalšie). Jeho najväčšou prednosťou je univerzálnosť. Prakticky s ním môžeme kontrolovať všetky elektronické súčiastky automobilu. Niektoré osciloskopy majú viac kanálov, čo umožňuje zobrazenie viacerých signálov naraz.

Zapojenie osciloskopu je pomerne jednoduché. Osciloskop má dva vodiče na 1 kanál. Negatívny kábel uzemníme a pozitívny umiestnime na meranú súčiastku. Ďalej nastavíme osciloskop. Niektoré osciloskopy majú funkciu automatické nastavenie, iné treba nastaviť

jednotlivo a to nastavením typu napätia (AC/DC), pozíciu vlny a škálu. Tá je u áut obvykle 500 mV/div a 200 ms/div.

Na oscilograme ďalej pozorujeme amplitúdu, čas a tvar vlny. Spôsob posielania informácií medzi riadiacou jednotkou a súčiastkou funguje na princípe zmeny napätia, preto z pozorovania môžeme posúdiť správnu funkčnosť súčiastky. V niektorých prípadoch pozorujeme na osciloskope aj prúd (hlavne u elektromagneticky zaťažených komponentov) za pomoci prúdovej sondy. Sonda nemeria priamo prúd ale magnetické pole okolo vodiča, ktoré je priamo úmerné prúdu. Škála sa nastavuje na mV/A, najčastejšie 100 mV/A.

Osciloskop je teda veľmi efektívny nástroj na kontrolu funkčnosti súčiastok. V časoch pred zavedením OBD normy bol najpoužívanejším diagnostickým zariadením. Pre jeho univerzálnosť a presnosť je využívaný dodnes. [5]

2.5.2 MULTIMETER

Multimeter je multifunkčný prístroj medzi ktorého základné funkcie patrí meranie prúdu, napätia, odporu ale aj kapacity, frekvencie, vodivosti a teploty. Multimeter môže byť malé prenosné zariadenie vhodné do terénu, ale aj stolné zariadenie s veľkou presnosťou. V minulosti sa viac používali analógové multimetre, dnes už sú to skôr digitálne.

Multimeter bol a aj stále je výborným zariadením na testovanie elektronických súčiastok auta. V minulosti sa hlavne zvykol využívať na kontrolu napätia batérie a meranie uhlu zopnutia kontaktov (uhol pootočenia vačky prerušovača, počas ktorého sú kontakty prerušovača zopnuté).

Pri teste napätia negatívnu linku uzemníme a pozitívnu priložíme ku káblu testovaného zariadenia. Napätie môžeme merať napríklad pri hľadaní kábla štartéra, ktorý chceme spojiť s bezpečnostným systémom.

Ďalej sa často testuje prúd. Meranie prúdu môžeme využiť napríklad pri spájaní, resp. predlžovaní káblov za cieľom overiť správnosť spojenia.

Meranie odporu vykonávame pri vypnutom prúde v obvode. Jedným z prípadov kedy meriame odpor je, ak reproduktor nefunguje správne. A to ak odpor nedosahuje požadované hodnoty (4 Ω alebo 8 Ω). [15]

2.5.3 OSTATNÉ ZARIADENIA

Na prácu s automobilmi sa využíva mnoho ďalších zariadení medzi ktoré patria napríklad:

- **Skúšačka**

Skúšačka je jednoduchý merač, s ktorým zisťujeme prítomnosť elektrických signálov. Jej výhodou je rýchlosť a jednoduchosť. Lacnejšie skúšačky signalizujú prítomnosť elektrických signálov rozsvietením svetielka, drahšie majú displej a ukazujú konkrétnu hodnotu napätia a môžu mať aj ďalšie funkcie ako napríklad meranie odporu a ďalšie.

- **Otáčkomer**

Nie všetky autá mali v minulosti otáčkomery, preto pri nepravidelnom chode motora bolo treba skontrolovať otáčky. Zväčša mal analógový displej a signál na meranie získaval z indukčnej cievky.

- **Prístroj na skúšanie žeraviacich sviečok naftových motorov**

Skúšobné káble tohto prístroja sa napoja na žeraviacu sviečku bez jej demontáže. Ak je funkčná rozsvieti sa zelené svetlo, ak nie červené. Prístroj funguje na základe merania odporu. [5]

- **Prietokomer**

Meriame napríklad množstvo spotrebovaného paliva na výstupe z nádrže, pričom musíme vziať v úvahu aj množstvo vráteného paliva späť do nádrže. Meriame prietokomerom. Ešte presnejšie je hmotnostné meranie, ale je aj komplikovanejšie a používa sa iba ak sú požiadavky na presnosť vysoké. Spotrebu potom prepočítavame na mernú spotrebu v $g.kW^{-1}.h^{-1}$, ktorá berie do úvahy aj výkon.

- **Dynamometer**

Meranie na valcovej brzde. Vozidlo je umiestnené na valcoch a výkon je odoberaný cez hnacie kolesá. Pre výpočet výkonu je využitý jednoduchý vzťah (1).

$$P = M * \omega \tag{1}$$

- **Teplomer**

S pracovnou teplotou súvisí vývin tepla. Technický stav a zaťaženie častíc majú vplyv na teplotu. Teplota súvisí aj s mazaním. Meraním teploty môžeme zistiť stav klzných alebo valivých ložísk, termostatu, chladiaceho obehu a ďalšie.

- **Tlakomer**

Dosiahnutie predpísaných tlakov je signálom, že jednotlivé súčiastky sú v dobrom technickom stave. Ak nie je nameraná predpísaná hodnota, je to signál, že môže byť napríklad zlé tesnenie alebo ak nie je nameraný vhodný kompresný pomer je to signál, že nie je v poriadku skupina piestov alebo ventilov. Kompresný tlak je najčastejšie meraný tlak v spaľovacom motore. Na meranie používame kompresometer s vhodným nástavcom podľa typu motora a s tlakomerom, ktorý ukazuje hodnoty tlaku. Kompresometer je vtlačený na miesto sviečky (zážihový motor) alebo na miesto trysky (vznetový motor). [3]

3 VZNETOVÉ SPAĽOVACIE MOTORY A SYSTÉM COMMON RAIL

Pochopenie systému vstrekovania ale aj fungovania celého systému skúmaného vozidla je nevyhnutné pre vyhodnocovanie meraných dát. V tejto časti sa zameriame na fungovanie moderných vznetových motorov vybavených vysokotlakovým vstrekovacím systémom common rail, ktorý pre svoju efektivitu v spaľovaní, dobrou reguláciou a schopnosťou dodržiavať spolu s ďalšími komponentami náročné emisné normy, využívajú vo svojich vozidlách všetci popredný výrobcovia automobilov.

3.1 PALIVÁ VZNETOVÝCH MOTOROV

Z hľadiska správnej diagnostiky vozidla je dôležité poznať vplyv paliva na jeho chod. Nevhodné palivo môže spôsobiť napríklad upchatie filtrov palivovej sústavy, chybné štartovanie, nízky výkon a ďalšie. Najmä dnešné motory pracujúce s vysokými tlakmi sú veľmi citlivé na kvalitu nafty.

Od palív používaných vo vznetových motoroch všeobecne očakávame ich najnižšiu možnú spotrebu, najvyšší výkon, priaznivé zloženie výfukových plynov, priaznivý vplyv na životnosť motora a bezpečný štart v každom ročnom období. Tieto požiadavky ovplyvňuje kvalita a vhodnosť použitého paliva.

Pre správny chod vznetového motora je dôležitý prieťah vznietenia, ktorý značí čas medzi vstreknutím prvých častíc paliva do spaľovacieho priestoru a začiatkom horenia. Prieťah vznietenia ovplyvňuje cetánové číslo paliva. Čím je vyššie tým je kratší prieťah vznietenia. Príliš nízke cetánové číslo spôsobuje, že čiastočne odparené palivo sa vznieti a tlak rastie veľmi prudko, chod motora je tvrdý a je zhoršuje emisné hodnoty. Pri vysokom cetánovom čísle sa palivo nestihne dobre rozprášiť a horenie prebieha blízko trysky, palivo sa nepremieša dobre so vzduchom čo opäť spôsobuje zhoršené emisie a vznik sadzí.

Naftové motory sú schopné spaľovať širokú škálu palív. Medzi základné druhy patria motorová nafta z ropy, syntetická nafta a bio nafta (FAME – metylestery mastných kyselín vyrábané z rastlinných olejov a tukov). V súčasnosti sa používa motorová nafta s pridaním FAME (maximum 7%).

Palivá vznetových motorov sa v našich klimatických podmienkach vyrábajú v 3 triedach, ktoré sa odlišujú medznou teplotnou filtrovateľnosťou. Jednotlivé druhy sa predávajú v závislosti na ročnom období. Kvalita motorových náft pre bežný predaj je normovaná normou ČSN EN 590, resp. STN EN 590 pre Slovensko a určuje limitné hodnoty najdôležitejších parametrov. Niektoré z limitných hodnôt najdôležitejších parametrov motorovej nafty môžeme vidieť v tabuľke 3-1. V tabuľke 3-2 môžeme vidieť požiadavky závislé od klimatických podmienok. Kvalita paliva závisí aj od použitých aditív (zvyšovač cetánového čísla, antikorózne prísady, prísada na zníženie penivosti paliva a ďalšie).

Tabuľka 3-1 Vybrané limitné hodnoty motorovej nafty [19]

Vlastnosť	Jednotka	Minimum	Maximum
Cetánové číslo		51	-
Obsah síry	mg/kg	-	10
Bod vzplanutia	°C	nad 55	
Obsah vody	mg/kg	-	200
Obsah FAME	%	-	7

Tabuľka 3-2 Požiadavky na motorovú naftu závislé od klimatických podmienok (leto od 15.4. do 30.9., zima od 16.11. do 28.2., prechodné obdobie od 1.3. do 14.4. a od 1.10 do 15.11) [19]

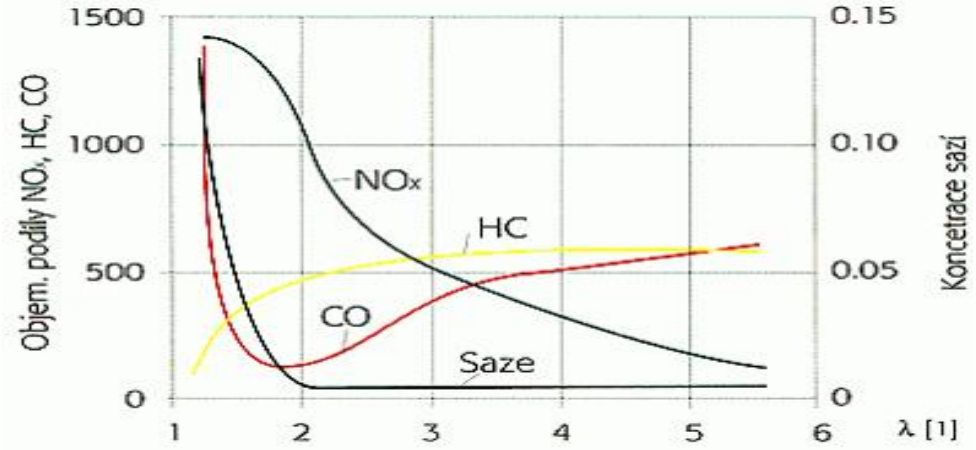
Vlastnosť	Jednotka	Leto	zima	prechodné	Arktické pásmo
MTF (filtrovateľnosť)	°C	0	-20	-10	-32
Hustota pri 15°C	kg/m3	820 - 845			800 – 840
95% objemu predestiluje do	°C	360			-

V roku 2013 bolo v európskej únii predaných 243,516 miliárd litrov nafty oproti 106 miliárd litrov benzínu. V Českej republike to v danom roku bolo 4,983 miliárd litrov nafty a na Slovensku 1,317 miliárd litrov nafty. Až 99% predanej nafty je typu B7 (motorová nafta s obsahom bio nafty do 7%). [19][20][21]

3.2 EMISIE VZNETOVÝCH MOTOROV

Jedným z dôvodov vývinu common rail systému bola aj optimalizácia emisií, čo zaisťuje viac násobné, kontrolované vstrekovanie pod vysokým tlakom. U predchádzajúcich systémoch, kedy tlak paliva závisel na otáčkach motora, sa pri nízkych otáčkach, kedy bol tlak paliva pred vstreknutím nižší, horším rozprášením a tvorením zmesi paliva a vzduchu vo výfukových plynoch produkovalo zvýšené množstvo HC a pevných častíc čo u common rail systému bolo eliminované.

Európske štandardy v dnešnej dobe kladú na výrobcov automobilov vysoké nároky na dodržiavanie emisných limitov. V tabuľke 3-3 môžeme vidieť postupné sprísňovanie. Od normy EURO 1, ktorá prikazovala použitie katalyzátoru došlo u niektorých emisných plynov k redukcii až 96%.



Obrázok 3-1 Tvorba emisií u vznetových motorov v závislosti na stechiometrickom pomere λ [23]

Normy definujú limity škodlivých plynov NO_x, CO, HC a PM (pevné častice). Od vyhlásenia normy po jej platnosť majú výrobcovia 1 rok na vývoj áut splňujúcich dané normy.

Tabuľka 3-3 Európske emisné štandardy [22]

Norma	Platnosť	Palivo	NO_x [g/km]	HC [g/km]	CO [g/km]	PM [g/km]
EURO 1	1.1.1993	Benzín	0,97		2,72	-
		Diesel	0,97		2,72	0,14
EURO 2	1.1.1997	Benzín	0,5		2,2	-
		Diesel	0,7		1,0	0,08
EURO 3	1.1.2001	Benzín	0,15	0,2	2,3	-
		Diesel	0,5	0,56	0,64	0,05
EURO 4	1.1.2006	Benzín	0,08	0,1	1,0	-
		Diesel	0,25	0,3	0,5	0,025
EURO 5	1.1.2011	Benzín	0,06	0,1	1,0	0,005 (DI)
		Diesel	0,23		0,5	0,005
EURO 6	1.9.2015	Benzín	0,06	0,1	1,0	0,005 (DI)
		Diesel	0,17		0,5	0,005

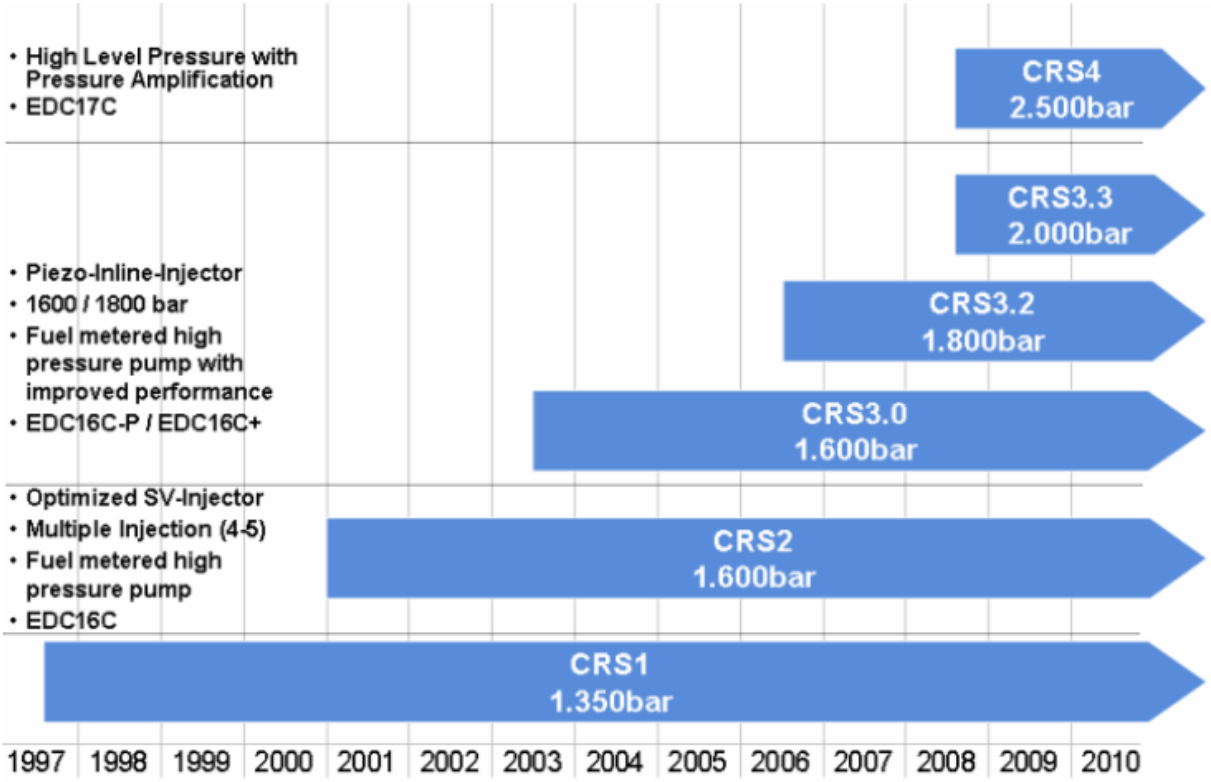
Komponenty znižujúce obsah škodlivých látok vo výfukových plynoch môžu taktiež pri ich nesprávnom fungovaní negatívne ovplyvniť chod automobilu. Pri komplexnej diagnostike automobilu treba chápať princíp fungovania súčiastok ako katalyzátor, EGR ventil, škrtiaca klapka alebo filter pevných častíc. [22][23]

3.3 PRVKY SYSTÉMU VSTREKOVANIA COMMON RAIL

Prvý prototyp common rail systému bol vyvinutý koncom 60-tych rokov vo Švajčiarsku. V praxi bol prvý krát použitý na začiatku 90-tych rokov v Japonsku firmou Denso, v nákladnom vozidle Hino Ranger uvedenom v roku 1995. Systém bol v 90-tych rokoch vyvíjaný aj v Európe. Na vývoji spolupracovali Magneti Marelli, Centro Ricerche Fiat a Elasis. Patenty od Fiat Group odkúpila v roku 1993 firma Bosch, čo je považované za jednu z veľkých chýb firmy Fiat Group, ktorá v danom období nemala dostatok financií na vývoj tohto neskôr veľmi profitujúceho systému. Bosch vývoj dokončila a v roku 1997 sa systém objavil v prvom

osobnom vozidle Alfa Romeo 156 2.4 JTD. Okrem Bosch sa výrobou podobných systémov zaoberajú aj firmy Denso a Delphi.

Common rail systém je teda vstrekovací systém s tlakovým zásobníkom paliva, zásobujúci všetky valce, oproti bežnému vstrekovaciemu systému vznetových motorov, kde tlak paliva musí byť vytváraný samostatne pre každý vstrekovač. U common rail systému je palivo dostupné v požadovanom tlaku pre všetky vstrekovače. Základ systému tvorí vstrekovač, zásobník rail, vysokotlakové čerpadlo a riadiaca jednotka. Systém ako celok zlepšuje výkon motora a znižuje emisie a hluk. Systém delíme na 4 generácie, ktoré sa odlišujú najmä maximálnym tlakom v zásobníku a typom vstrekovača (obrázok 3-2).

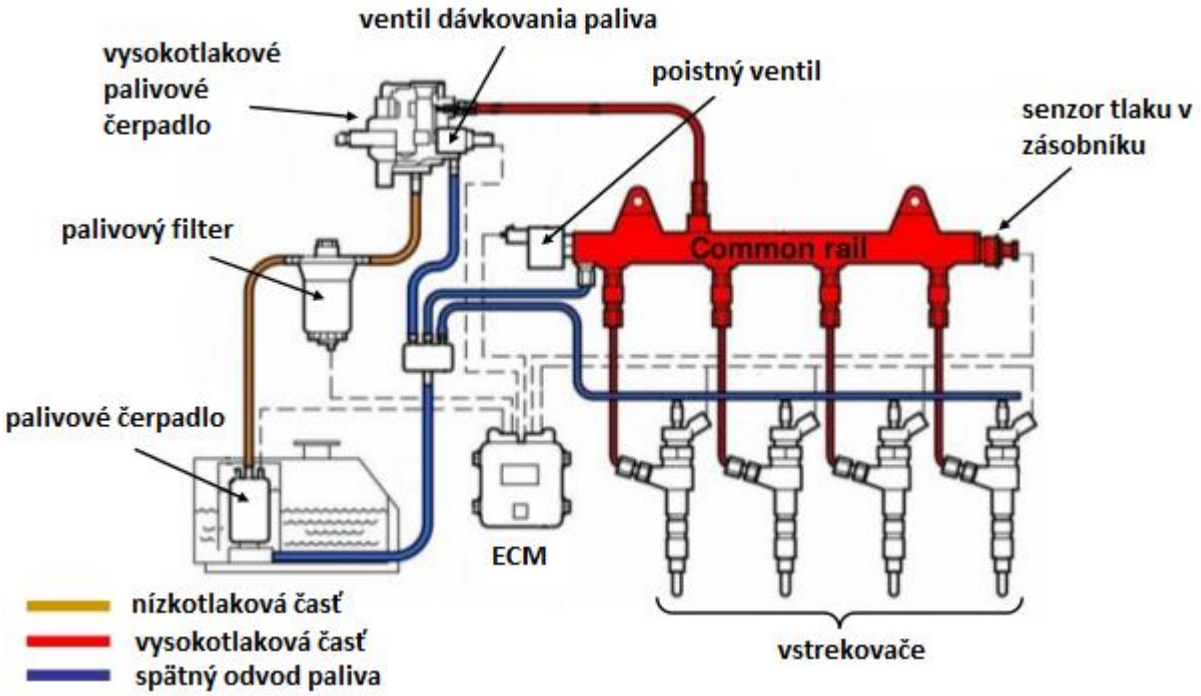


Obrázok 3-2 Generácie Common rail systému [24]

Ako vidíme od prvej generácie stúpol za 10 rokov maximálny tlak v zásobníku takmer na 2-násobok na 2500 barov. V prvých generáciách sa používali elektromagnetické vstrekovače, neskôr rýchlejšie piezoelektrické, avšak výrobcovia sa dnes pre vyššiu spoľahlivosť vracajú k elektromagnetickým vstrekovačom. [24]

3.3.1 KONŠTRUKCIA SYSTÉMU

Základná konštrukcia systému sa skladá z 3 častí a to z nízkotlakovej časti, vysokotlakovej časti a spätného obvodu paliva (obrázok 3-3).



Obrázok 3-3 Základné časti common rail systému [25]

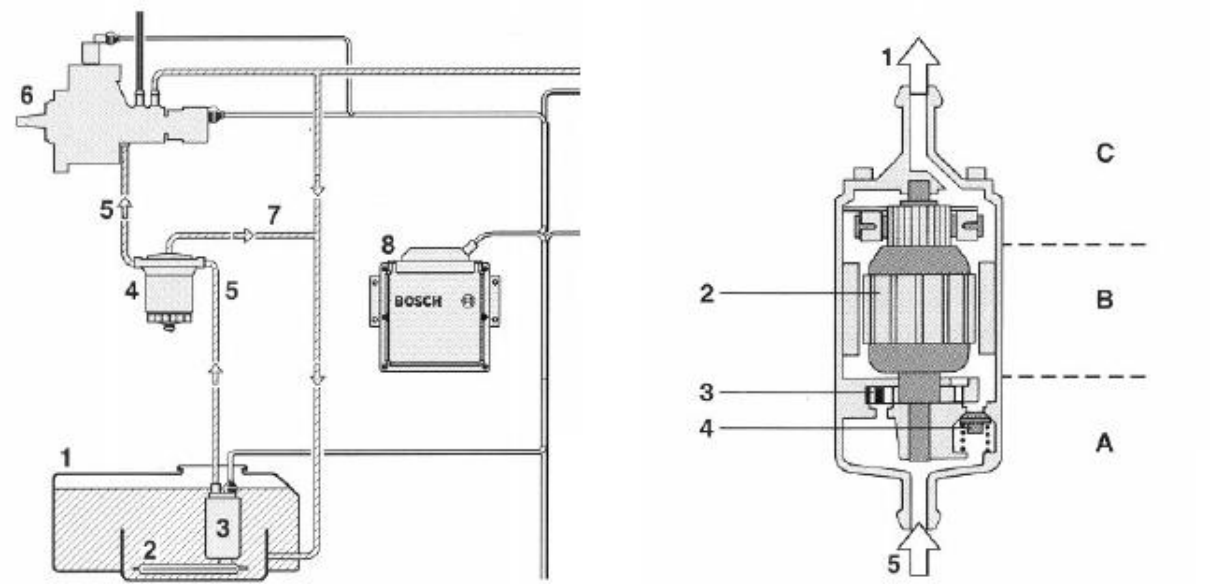
3.3.2 NÍZKOTLAKOVÁ ČASŤ

Nízkotlaková časť (obr. 3-4) je tvorená palivovou nádržou (1), podávacím čerpadlom (3) s predčističom (2), palivovým filtrom (4), nízkotlakovým okruhom vysokotlakového čerpadla a spätným palivovým potrubím a jej úlohou je dodávanie paliva do vysokotlakovej časti.

Podávacie palivové čerpadlo musí zásobovať vysokotlakové palivové čerpadlo dostatkom paliva s potrebným tlakom. Čerpadlo sa najčastejšie používa mechanicky poháňané zubové čerpadlo alebo elektrické palivové čerpadlo (valčekové lamelové čerpadlo). Elektrické čerpadlá sa používajú u osobných vozidiel a ich pohon nezávisí na otáčkach motora. Môžu byť umiestnené priamo v nádrži alebo v palivovom potrubí. Mechanické čerpadlo je obvykle poháňané spojkou, remeňom alebo ozubeným kolesom.

Nečistoty v palive môžu poškodiť čerpadlo, tlakové ventily a vstrekovacie trysky. Na čistenie paliva preto slúži palivový filter, ktorý okrem nečistôt zachytáva aj vodu, ktorá sa zbiera v zbernej nádobe a u modernejších vozidiel je jej naplnenie kontrolované elektronicky a v prípade zaplnenia by mala byť voda vypustená alebo filter vymenený.

Vedenie paliva v nízkotlakovej časti môže byť vyrobené z kovu ale aj pružných látok, odolných proti chemickému pôsobeniu a teplu. [26]

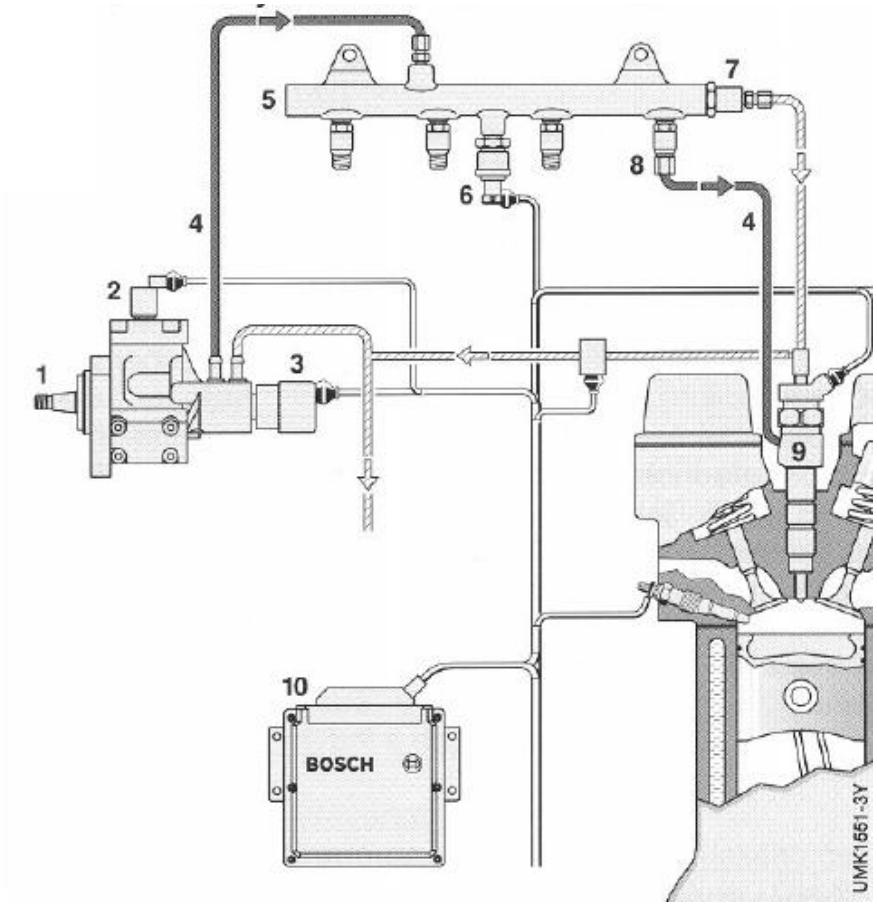


Obrázok 3-4 Nízkotlaková časť (vľavo): 1 – palivová nádrž, 2 – predčistič, 3 – podávacie čerpadlo, 4 – palivový filter, 5 – nízkotlakové palivové potrubie, 6 – nízkotlakový okruh vysokotlakového čerpadla, 7 – spätné palivové potrubie, 8 – riadiaca jednotka.

Elektrické podávacie čerpadlo (vpravo): 1 – výtlak, 2 – kotva motora, 3 – valčekové lamelové čerpadlo, 4- redukčný ventil, 5 – sanie. [26]

3.3.3 VYSOKOTLAKOVÁ ČASŤ

Vysokotlaková časť je tvorená (obr. 3-5) je tvorená vysokotlakovým čerpadlom (1) a podľa jeho typu s odpojovacím elementom (2) a regulačným ventilom (3), vysokotlakovým zásobníkom rail (5), snímačom tlaku v raile (6), poistným ventilom (7), obmedzovačom prietoku (8) a vstrekovačmi (9).



Obrázok 3-5 Vysokotlaková časť systému [26]

VYSOKO TLAKOVÉ PALIVOVÉ ČERPADLO

Hlavnou úlohou vysokotlakového palivového čerpadla je za každých prevádzkových podmienok dodávať dostatočné množstvo paliva pod vysokým tlakom do zásobníka – railu oproti bežnému vstrekovaniu, kde je palivo stlačované pre každý vstrek zvlášť. Čerpadlá sú poháňané od motora cez spojku, remeň, reťaz alebo ozubené koleso maximálne 3000 otáčok za minútu. U osobných automobilov je čerpadlo najčastejšie trojpiestikové radiálne a u nákladných vozidiel dvojpiestikové, radové. Ich mazanie a chladenie je najčastejšie zabezpečované samotným palivom. Pri nákladných vozidlách sa používajú aj čerpadlá mazané olejom. [26]

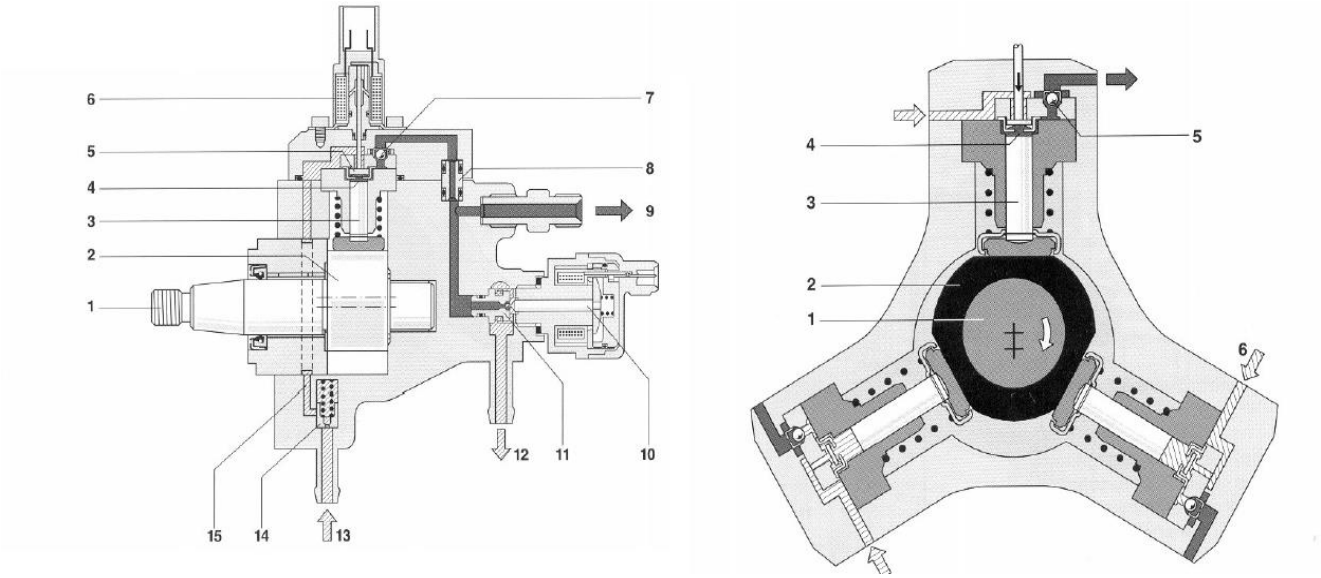
Bosch CP1/CP1H

Bosch CP1 (obrázok 3-6) je radiálne piestové čerpadlo, tvorené troma piestové jednotkami, umiestnené radiálne k hriadeli a vzájomne pootočené o 120°. Hnací hriadeľ je umiestnený centrálne v čerpadle. Excentrická vačka na hriadeli spôsobuje pohyb jednotlivých piestov čerpadla. S tromi dopravnými zdvihmi na otáčku vychádza menší špičkový hnací moment a rovnomernejšie zaťaženie pohonu.

Palivo je z nízkotlakovej časti dopravené k poistnému ventilu nastavenému na tlak (0,5 až 1,5 bar). Ten sa skladá z pružiny a piestika v ktorom je malý redukčný otvor, cez ktorý je palivo tlačené do mazacieho a chladiaceho okruhu čerpadla. Po prekročení dopravného tlaku paliva začne palivo prúdiť do mazacieho a chladiaceho okruhu čerpadla a následne vstupuje palivo

cez sací ventil do piestikovej jednotky kde je piest v pohybe nadol. Smerom nahor sa uzavrie sací ventil a palivo je uzavreté v piestovej jednotke čerpadla. Po dosiahnutí tlaku v raili je otvorený výtlačný ventil a palivo odchádza do vysokotlakového okruhu a to do raili. Čerpadlo CP1 je schopné vytvoriť tlak 1350 bar, u CP1H až 1600 barov.

Výtlačný tlak čerpadla je nastavovaný pomocou elektronicky ovládaného regulátora v závislosti na aktuálnych podmienkach motora. Pri voľnobehu alebo malom zaťažení odteká prebytočné palivo cez regulačný ventil späť do palivovej nádrže. Čerpadlo je dimenzované na vysoké dopravné množstvo a veľa energie sa teda pri nízkom zaťažení stráca, palivo sa ohrieva a klesá celková účinnosť. U čerpadla CP1H je možné odpojením jednej piestovej jednotky znížiť množstvo dopravovaného paliva čerpadlom. A to aktivovaním odpojovacieho ventilu, ktorý magneticky drží sací ventil jednej piestovej jednotky otvorený čím sa palivo nestláča, čo zvyšuje účinnosť oproti modelu CP1. [27]



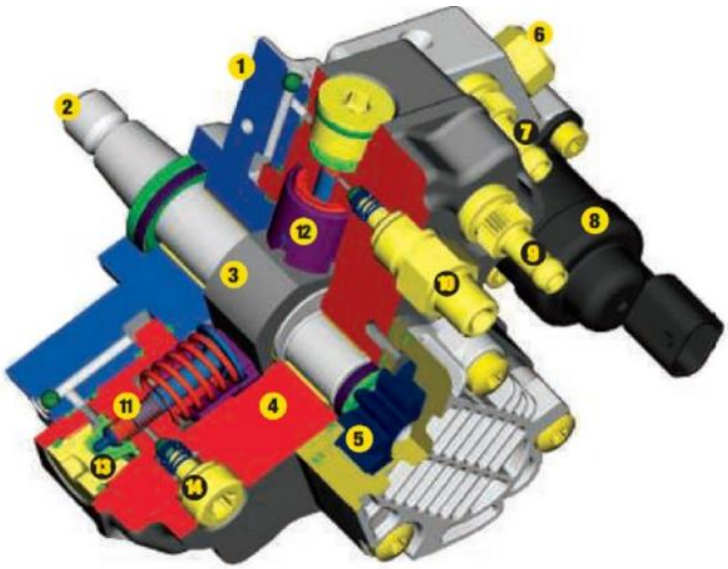
Obrázok 3-6 Vysokotlakové čerpadlo CP1 – 1 – hnací hriadeľ, 2 – excentrická vačka, 3 – čerpadlový element s piestom, 4 – priestor valca (vľavo) a sací ventil (vpravo), 5 – sací ventil (vľavo) a výtlačný ventil (vpravo), 6 – odpojovací ventil elementu, 7 – výtlačný ventil, 8 – tesniaca vložka, 9 – vysokotlaková prípojka k railu, 10 – regulačný ventil tlaku, 11 – guľôčkový ventil, 12 – spätný odvod paliva, 13 – prívod paliva, 14 – poistný ventil so škrtiacim otvorom, 15 – nízkotlakový kanál k čerpaciemu elementu [26]

Bosch CP2

Radové čerpadlo CP2 sa používa hlavne u nákladných automobilov. CP2 má radiálnu konštrukciu na rozdiel od CP1. Tlak paliva sa vytvára pomocou dvoch piestov usporiadaných do radu poháňaných od vačkového hriadeľa. Čerpadlo je mazané olejom a podávacie zubové čerpadlo je súčasťou celku s vysokotlakovým čerpadlom. V hornej časti čerpadla je umiestnená dávkovacia jednotka. Palivo je do piestových jednotiek čerpadla privádzané prostredníctvom jednotného vstupného/výstupného ventilu. [27]

Bosch CP3

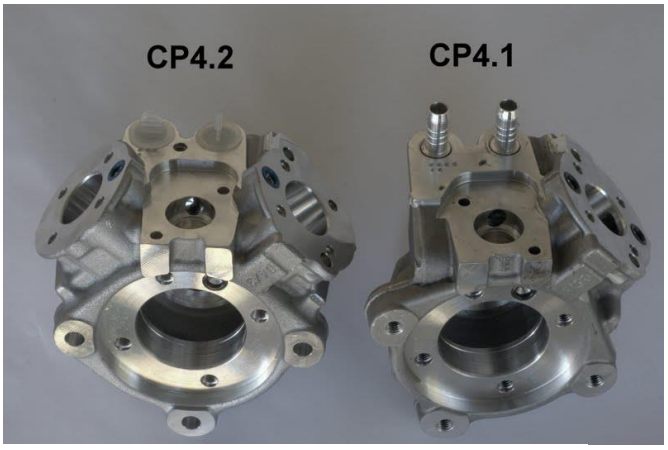
Radiálne vysokotlakové čerpadlo CP3 (obr. 3-7) pracuje na takmer rovnakom princípe ako CP1, odlišuje sa reguláciou tlaku paliva na výstupe. Tú vykonáva meracia jednotka na strane nízkotlakovej časti, kde elektromagnetický ventil reguluje dodávku paliva do čerpadla. Toto riešenie eliminuje kompresné straty čím zvyšuje účinnosť čerpadla. Pre prenos síl od vačky sú použité tanierové zdvíhadlá. Pre zníženie množstva tesnených miest je použitá jedno bloková konštrukcia ktorej súčasťou je aj zubové podávacie čerpadlo. Tým je umožnené dosiahnutie vyšších tlakov (1800 až 2000 barov). [27][28]



Obrázok 3-7 Bosch CP3 čerpadlo - 5 - zubové čerpadlo, 8 - meracia jednotka [28]

Bosch CP4

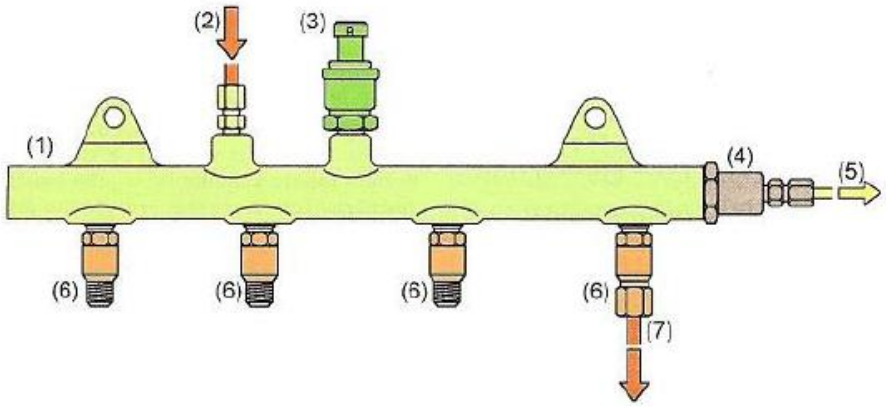
Posledná 4.generácia vysokotlakového čerpadla Bosch CP4 (obr. 3-8) umožňuje vytvárať tlak prekračujúce 2000 bar. Zmenou je použitie dvojitej vačky, kedy na jednu otáčku sú až dva podávacie zdvihy, čím sa zredukoval počet piestových jednotiek. Konštrukčne je menšie a účinnosťou ešte vyššie ako jeho predchodcovia. Čerpadlo CP4 je dostupné v dvoch



Obrázok 3-8 Bosch CP4.2 a CP4.1 [30]

konštrukčných prevedeniach – CP4.1 s jednou vysokotlakovou hlavou valca a CP4.2 s dvoma hlavami pre vyššie objemové motory. [27]

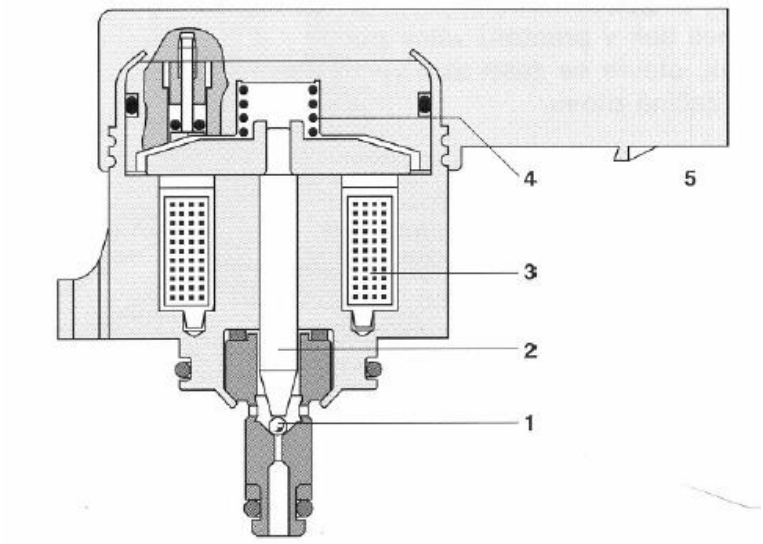
VYSOKOTLAKOVÝ ZÁSOBNÍK RAIL



Obrázok 3-9 Vysokotlakový zásobník rail – 1 – rail, 2 – prívod od vysokotlakového čerpadla, 3 – snímač tlaku paliva, 4 – poistný tlakový ventil, 5 – spätný odvod paliva, 6 – obmedzovač prietoku, 7 – potrubie k vstrekovačom [29]

Úlohou railu je akumulovanie paliva pod vysokým tlakom. Jeho objem má tlmiť kmitanie tlaku spôsobene dopravou paliva čerpadlom alebo odberom vstrekovačmi. Tlak má byť teda pri otvorení vstrekovača konštantný. Objem však nesmie byť príliš veľký aby bolo možné vytvoriť dostatočný tlak aj pri štarte. Rail môže byť tvarovaný rôzne podľa potreby zástavby motora. Konštrukcia a hlavné prvky railu sú zobrazené na obrázku 3-9. [29]

Regulačný ventil tlaku



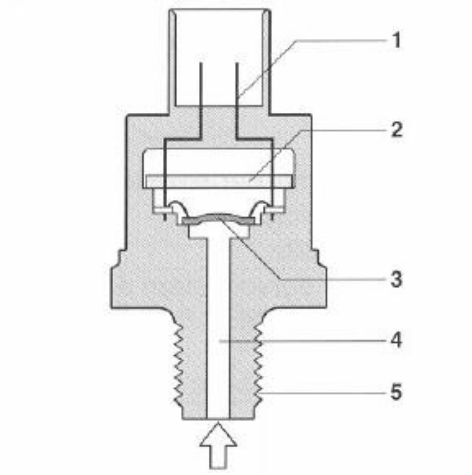
Obrázok 3-10 Regulačný ventil tlaku – 1 – guľôčkový ventil, 2 - kotva, 3 - elektromagnet, 4 – pružina, 5 – elektrické pripojenie [26]

Úlohou regulačného ventilu tlaku je udržovať tlak na požadovanej hodnote pre dané zaťaženie motora. Pri vysokom tlaku sa ventil otvorí a časť paliva prúdi späť do nádrže, pri nízkom tlaku sa uzatvára a utesňuje vysokotlakovú časť pred nízkotlakovou.

Ventil má upevňovaciu prírubu pre uchytenie na zásobníku alebo vysokotlakovom čerpadle. Kotva tlačí guličku proti sedlu aby utesnila vysokotlakovú časť. Kotvu tlačí dole pružina a naviac aj sila elektromagnetu. Pre mazanie je celá kotva obtekaná palivom.

Ventil je riadený dvoma regulačnými okruhmi. Mechanicko-hydraulickým (vyrovnáva vysokofrekvenčné tlakové kmitanie) a elektrický pre nastavenie premennej hodnoty stredného tlaku v raile. V prípade potreby vyššieho tlaku je aktivovaný elektromagnet, ktorý pomáha pružine udržať ventil uzavretý. [26]

Snímač tlaku v zásobníku

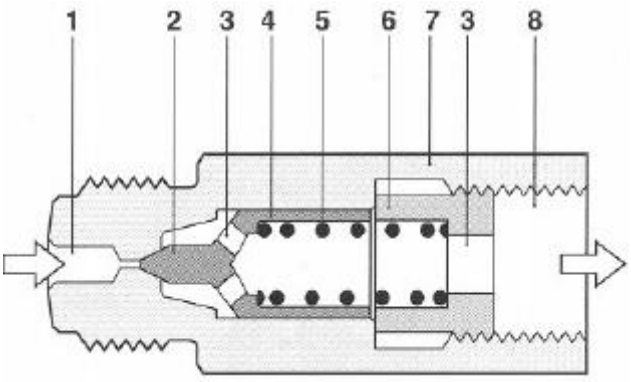


Obrázok 3-11 Snímač tlaku v zásobníku – 1 – elektrická prípojka, 2 – vyhodnocovací element, 3 – membrána so snímacím elementom, 4 – vysokotlakové pripojenie, 5 – upevňovací závit [26]

Tlakový snímač odosiela do riadiacej jednotky informáciu o aktuálnom tlaku paliva v zásobníku. Najdôležitejšou časťou snímača je membrána, na ktorú tlačí privádzané palivo. Na membráne je umiestnený polovodičový prvok ako snímací člen. Polovodičový prvok premieňa deformáciu (približne 1mm na 1500 bar) na elektrický signál, zasielaný do riadiacej jednotky na vyhodnotenie, kde elektrický signál prepočíta na tlak paliva. Ten je v prípade odchýlky upravovaný regulačným tlakovým ventilom. V prípade zlyhania snímača funguje regulačný tlakový ventil núdzovo na základe prednastavených hodnôt. [26]

Poistný tlakový ventil

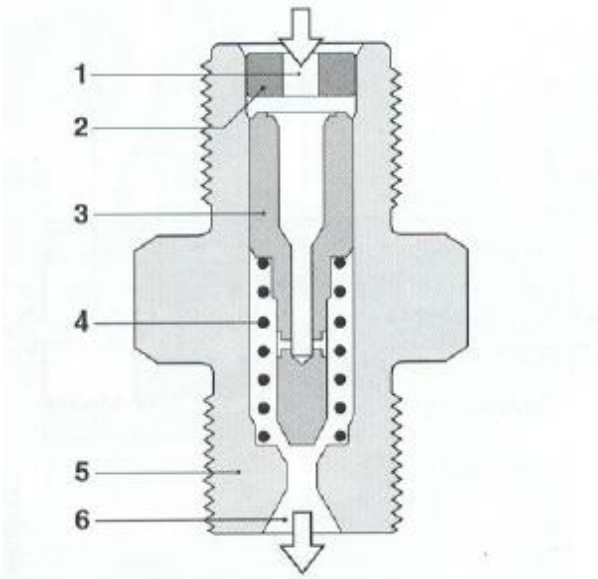
Poistný tlakový ventil je v podstate pretlakový ventil, ktorý obmedzuje tlak na maximálnu povolenú hodnotu, aby nedošlo k mechanickej poruche systému dôsledkom vysokého tlaku a pracuje čisto na mechanickom princípe. Pri prekročení tlaku je prekonaná sila pružinu a palivo odteká späť do palivovej nádrže. [26]



Obrázok 3-12 Poistný tlakový ventil – 1 vysokotlaková prípojka, 2 – ventil, 3 – prietokové otvory, 4 – piest, 5 – tlačná pružina, 7 – doraz, 8 – spätný odvod [26]

Obmedzovač prietoku

Úlohou obmedzovača prietoku je zabrániť úniku paliva pri poruche vstrekovača. Má kovové púzdro a 2 vonkajšie závity. Jeden na namontovanie na rail a druhý na namontovanie potrubia k vstrekovačom. Vo vnútri sa nachádza piest a pružina, ktorá ho tlačí smerom k railu. Priemer vývrtu piestu je na konci zúžený a pôsobí ako tryska s presne definovaným prietokom. V prípade poruchy tlak v zásobníku vytlačí piest zo svojej bežnej polohy smerom k tesniacemu sedlu, čím uzavrie prietok k vstrekovaču. [26]



Obrázok 3-13 Obmedzovač prietoku – 1 – pripojenie k railu, 2 – uzatváracia vložka, 3 – piest, 4 – tlačná pružina, 5 – púzdro, 6 – pripojenie k vstrekovaču [26]

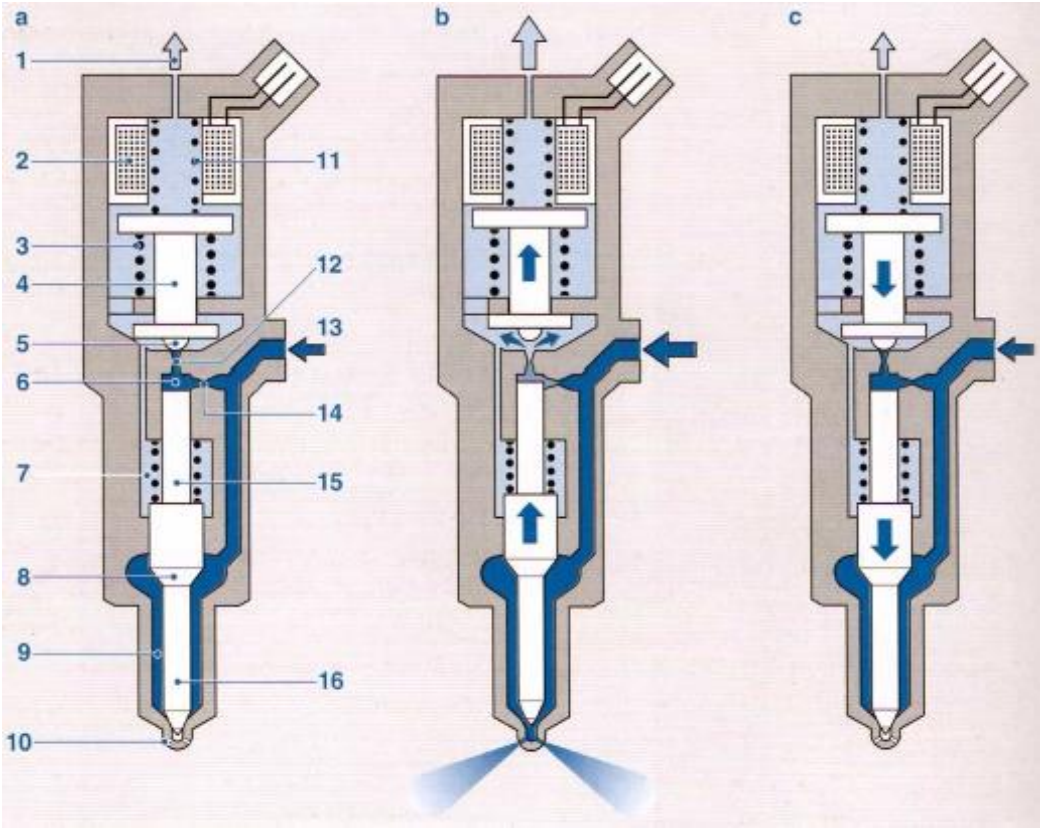
VSTREKOVAČE

Vstrekovače sú spojené s railom krátkym vysokotlakovým potrubím a sú pripevnené k hlave valcov v priamej alebo šikmej polohe.

Keďže vytváranie tlaku nezáleží na otáčkach motora a množstve vstrekovaného paliva, počiatok vstreku a jeho dĺžka je ovládaná elektronicky.

Vstrekovače delíme na dva základné druhy a to na elektromagnetické a piezoelektrické.

Elektromagnetické vstrekovače



Obrázok 3-14 Elektromagnetický vstrekovač (a) pokojová poloha, b) vstrekovač sa otvára, c) vstrekovač sa zatvára – 1 - spätné palivové potrubie, 2 – cievka elektromagnetu, 3 – pružina prebehu, 4 – kotva, 5 – guľôčkový ventil, 6 – riadiaci priestor ventilu, 7 – pružina trysky, 8 – tlačené medzikružie ihly trysky, 9 – pracovný objem ihly, 10 – vstrekovací otvor,11 – pružina elektromagnetického ventilu, 12 – škrtenie odpadového kanálika, 13 – vysokotlaková prípojka, 14 – škrtenie na prívodnom kanáliku, 15 – piest ventilu, 16 – ihla trysky [29]

Elektromagnetické vstrekovače (obrázok 3-14) sa skladajú z troch hlavných častí:

- hydraulický ovládací systém,
- vstrekovacia tryska,
- elektromagnetický ventil.

Chod vstrekovača možno rozdeliť do 4 častí, kedy je nastavené rozdelenie paliva do jednotlivých konštrukčných dielov vstrekovača:

- Vstrekovač je uzavretý

Vstrekovač je uzavretý a tlak v ovládacom priestore nad tryskou je rovnaký ako tlak v komore trysky. Tlak pružiny na trysku spolu s tlakom nad tryskou drží trysku v jej sedle a nedochádza k vstrekovaniu.

- Vstrekovač sa otvára

Do ovládacieho elektromagnetu je privedený prúd. Elektromagnet pritiahne kotvu s guľôčkovým ventilom, čím sa otvorí škrtenie na odpadovom kanáliku, čím dôjde k zníženiu tlaku v ovládacom priestore, ktorý je spôsobený menším priemerom prívodnej škrtiacej trysky (14) ako je priemer odtokovej škrtiacej trysky (12). Menší tlak v ovládacom priestore vyvolá menšiu silu na vrchnú plochu piestu ventilu, ktorá spolu so silou pružiny nie je taká veľká ako sila z tlaku paliva v pracovnom objeme ihly na tlačené medzikružie a ventil sa otvára. Počiatočný prúd približne 20 A sa zmení na udržiavací približne 12 A

- Vstrekovač je otvorený

Keď piest trysky dosiahne hornej polohy vstrekovač je naplno otvorený. Tečúce palivo v ovládacom priestore udržuje doraz piestu. Počas tohto stavu prúdi palivo do valcov pod tlakom takmer rovným ako je v tlakovom zásobníku rail. Napätie na elektromagnetickom ventile je udržiavacie približne 12 A.

- Vstrekovač sa zatvára

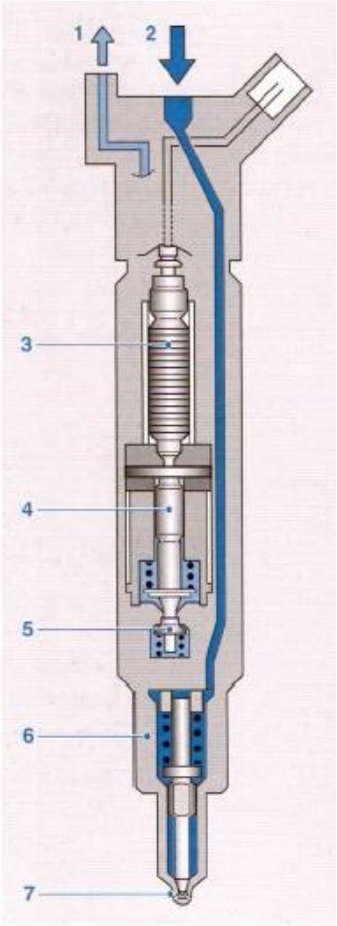
Vstrekovanie končí prerušením dodávky prúdu do elektromagnetického ventilu. Vtedy pružina dotlačí guľôčkový ventil s kotvou do sedla, čím dôjde k nárastu tlaku v ovládacom priestore a tlak sa rýchlo vyrovná tlaku v pracovnom objeme ihly, čím sa spolu s vďaka pôsobením pružiny tryska opäť uzavrie.

Ďalej podľa konštrukcie kotvy rozdeľujeme vstrekovače na:

- vstrekovače s jednodielnou kotvou (jednopružinový systém),
- vstrekovače s dvojdielnou kotvou (dvojpružinový systém).

Pre dosiahnutie čo najkratších intervalov medzi jednotlivými vstrekmi je potrebné, aby sa kotva pri zatváraní dostala čo najrýchlejšie do pokojovej polohy, to je možné dosiahnuť s lepšími výsledkami u vstrekovačov s dvojdielnou kotvou. [26][29]

Piezoelektrické vstrekovače



Obrázok 3-15 Piezoelektrický inline vstrekovač – 1 – spätné palivové potrubie, 2 – vysokotlaková prípojka, 3 - piezoelektrický vstrekovací modul, 4 – hydraulický väzobný člen, 5 – riadiaci ventil(servoventil) 6 – modul trysky s ihlou trysky, 7 – vstrekovací otvor [29]

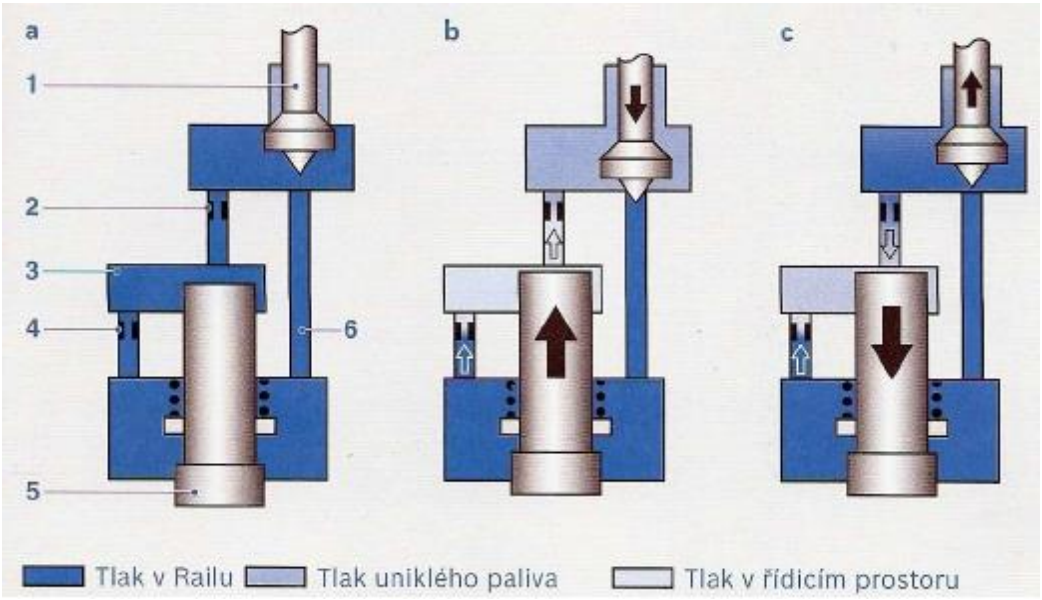
Piezoelektrický inline vstrekovač sa skladá zo štyroch základných konštrukčných prvkov:

- modul akčného člena,
- hydraulický väzobný člen alebo prevodník,
- riadiaci ventil (servoventil),
- modul trysky.

Piezoelektrický vstrekovač pracuje na princípe piezoelektrického javu. A to ak sa privedie na kryštál elektrické napätie, dochádza k jeho rýchlej deformácii, ktorú využívame na otváranie trysky vstrekovača. Piezoelektrický člen je vyrobený z niekoľkých stoviek veľmi tenkých keramických fólií, spojených do valca s výškou približne 25 až 30 mm. Po privedení napätia na vstrekovač v rozsahu od 110 do 150 V dôjde k deformácii piezoelektrického členu a to predĺžením o 0,04 mm, ktorý cez piesty a pružinky dvihne ihlu o 0,08 až 0,1 mm.

Veľkou výhodou piezoelektrických vstrekovačov je reakčná doba deformácie piezo elementu a zdvihnutie ihly ktorá trvá iba 150 ms. To umožňuje 5 až 7 vstrekov za jeden spaľovací cyklus. To má priaznivý vplyv na zníženie tvrdosti chodu motora, mechanického zaťaženia a tiež emisií

výfukových plynov. Vďaka približne až 4 krát rýchlejšej reakčnej dobe ako u elektromagnetického vstrekovača je možné vstrekovať palivo s väčšou presnosťou a aj s menším objemom. Piezoelektrický vstrekovač má aj menšie rozmery a hmotnosť.



Obrázok 3-16 Riadiaci ventil – a) pokojová poloha, b) tryska sa otvára c) tryska sa zatvára

1 – riadiaci ventil, 2 – škrtenie na odpadovom kanáliku, 3 – riadiaci priestor, 4 – škrtenie na prívodovom kanáliku, 5 – ihla trysky, 6 – obtok [29]

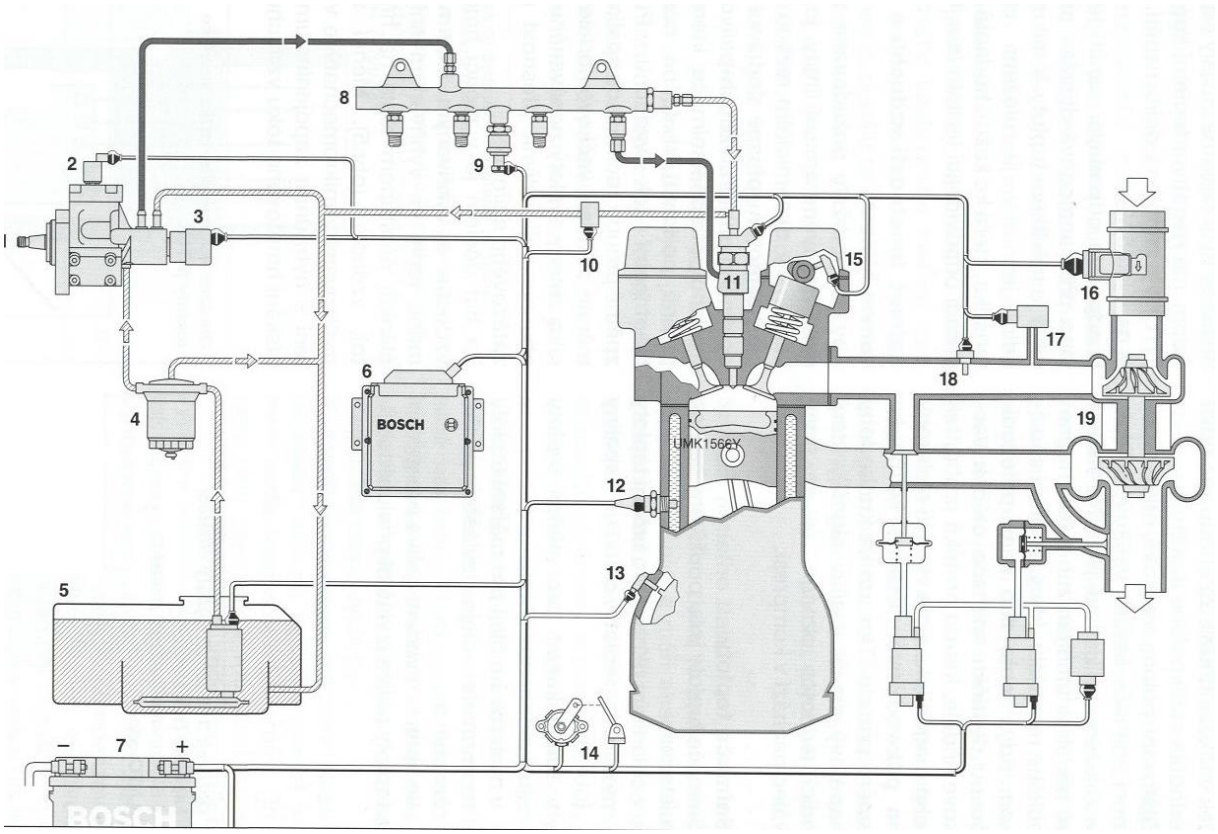
Piezoelektrický vstrekovač je ovládaný podobne ako elektromagnetické vstrekovače riadiacou jednotkou. Nárast napätia je úmerný zdvihu piezoelektrického akčného člena. Riadiaci ventil (obr. 3-16) v pokojovej polohe rozdeľuje vysokotlakovú a nízkotlakovú časť. Otvorenie ihly nastane aktiváciou piezoelektrického člena. Riadiaci ventil je deformáciou člena otvorený a zároveň uzavrie obtok. Objem paliva v riadiacom priestore odtečie do nízkotlakovej časti a klesne v ňom tlak. Rozdiel tlakov pôsobiacich na ihlu spôsobí jej otvorenie. Po poklesu napätia sa piezoelektrický člen zmenší, riadiaci ventil sa vráti späť, otvorí sa obtok, vyrovnajú sa tlaky a ihla trysky sa vráti späť. [29]

3.3.4 KONTROLNÉ A KOMUNIKAČNÉ PRVKY COMMON RAIL SYSTÉMU

Elektronickú reguláciu systému common rail, možno rozdeliť na 3 bloky a to na snímače a čidlá na monitorovanie prevádzkových podmienok odosielajúce informácie do riadiacej jednotky, riadiacu jednotku, ktorá na základe spracovaných informácií podľa určených matematických postupov odosiela elektrické signály a ovládacie členy prevádzajúce elektrické signály na mechanické veličiny.

SNÍMAČE

Na obrázku 3-17 môžeme vidieť snímače priamo ovplyvňujúce chod vstrekovacieho systému.



Obrázok 3-17 Snímače common rail systému spolu s rôznymi systémovými komponentami – 1 – vysokotlakové čerpadlo, 2 – odpojovací ventil elementu, 3 – regulačný ventil tlaku, 4 – palivový filter, 5 – palivová nádrž s podávacím čerpadlom, 6 – riadiaca jednotka, 7 – zdroj, 8 – rail, 9 – snímač tlaku v railu, 10 – snímač teploty paliva, 11 – vstrekovač, 12 – snímač teploty chladiacej kvapaliny, 13 – snímač otáčok kľukového hriadeľa, 14 – snímač polohy pedálu, 15 – snímač otáčok vačkového hriadeľa, 16 – snímač hmotnosti vzduchu, 17 – snímač plniaceho tlaku, 18 – snímač teploty nasávaného vzduchu [26]

Snímač otáčok kľukového hriadeľa

Je to indukčný snímač, ktorý sníma zuby feromagnetického kolesa namontovaného na hriadeli. Na kolese býva zväčša 60 zubov a 2 zuby vynechané , definujúce polohu prvého valca. V snímači sa mení na základe otáčok a vynechaných zubov magnetický tok a je produkované striedavé napätie, ktorého amplitúda narastá s otáčkami. Napríklad u 4-valca je interval medzi zážihmi 180°, takže snímač musí načítať 30 zubov.

Snímač otáčok vačkového hriadeľa

Vačkový hriadeľ sa otáča s polovičnými otáčkami ako kľukový a určuje či zdvih valca je kompresný alebo výfukový, čo je dôležité pri štarte kedy riadiaca jednotka nedokáže zistiť túto informáciu zo snímača otáčok kľukového hriadeľa.

Snímače teploty

Pomocou snímačov meriame teploty chladiacej kvapaliny, nasávaného vzduchu (v sacom kanáli), motorového oleja a paliva (v spätnom vedení). Snímače majú teplotne závislý odpor, z ktorého cez analógovo-digitálny prevodník získavame teplotu.

Snímač hmotnosti vzduchu s vyhrievaným filtrom

Najmä z hľadiska emisií ale aj správneho chodu paliva je treba dodržiavať požadovaného pomeru, palivo vzduch. Množstvo vzduchu prúdiaceho do valcov je preto potrebné monitorovať snímačom, ktorého presnosť by nemali ovplyvňovať pulzácie, spätný prúd, recirkulácia spalín a premenné časovanie ventilov (silné napäťové pulzácie spôsobuje spätný prúd). Mikromechanický element je umiestnený v prúdovom kanále. Veľkosť meracej rúry závisí na množstve maximálneho toku vzduchu do motora. Teplotne závislý odpor (napríklad vyhrievaný drôtik) je ochladzovaný tokom vzduchu, ktorý mení napätie na odporovom článku. Zmenu napätia vyhodnocuje riadiaca jednotka a prepočítava ho na hmotnostný tok vzduchu (na rozdiel od objemového merania, ktoré závisí na tlaku a teplote).

Snímač polohy plynového pedálu

Na plynovom pedále je nainštalovaný potenciometer. V závislosti na polohe pedálu sa mení napätie na potenciometri ktoré prepočítava riadiaca jednotka na skutočnú polohu.

Snímač plniaceho tlaku

Snímač plniaceho tlaku meria absolútny tlak v sacom potrubí (0,5 až 3 bar). Snímač je tvorený tlakovým článkom s dvomi snímacími elementami a priestorom pre vyhodnocovací obvod nachádzajúce sa na spoločnej keramickej doske. Snímací článok je tvorený silnou zvonovitou membránou, ktorá uzatvára objem so stanoveným tlakom. Na membráne sú piezo-rezistívne odpory zapojené do mostíka, ktorých vodivosť sa mení podla mechanického napätia, zmenou membrány sa mení tvar mostíka a tým i napätie, ktoré je prepočitavané na tlak.

RIADIACA JEDNOTKA

Riadiaca jednotka vyhodnocuje signály zo snímačov a obmedzuje prístupnú úroveň napätia v raile. Naprogramované mikroprocesory vypočítavajú z týchto vstupných dát a uložených dátových polí, dobu a okamžik vstreku a odosielajú elektronické signály, čo vyžaduje vysokú výpočtovú rýchlosť. Priblížiť sa algoritmom výpočtov riadiacej jednotky u konkrétneho vozidla sa budeme venovať v praktickej časti.

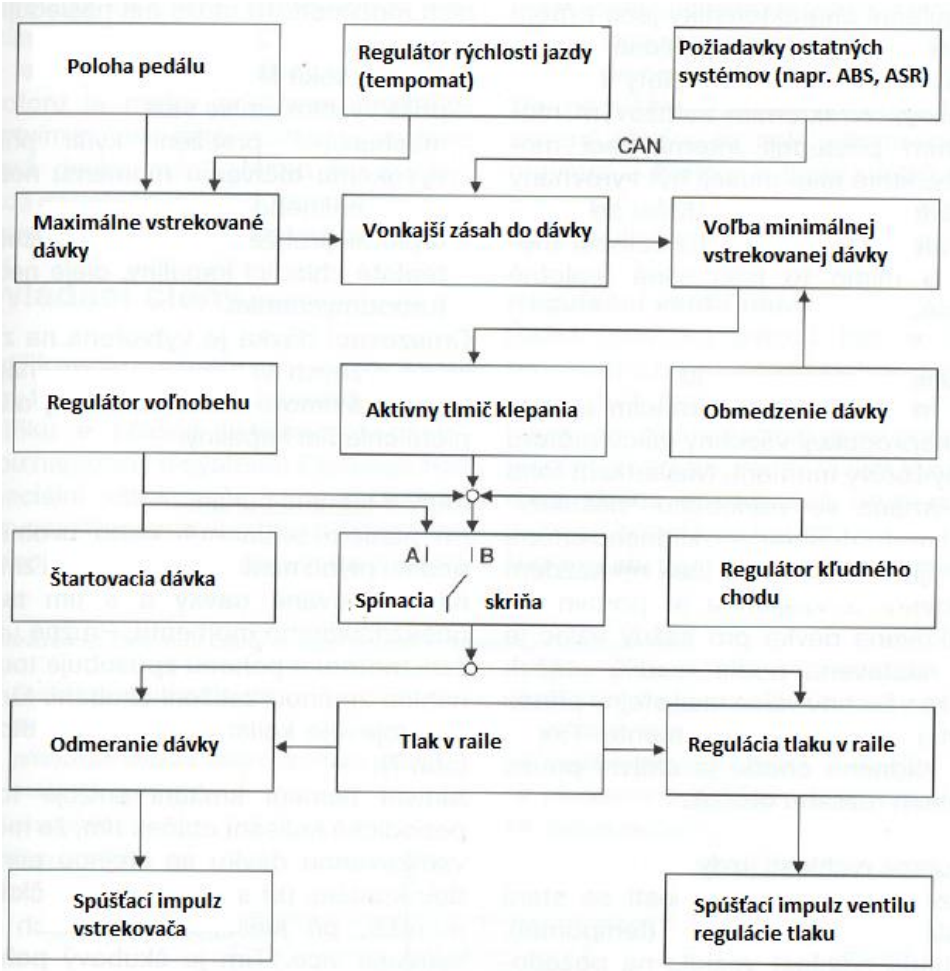
Na riadiacu jednotku sú kladené vysoké nároky, práca vo veľkej škále teplôt, odolávanie vlhku, mechanickému namáhaniu a obmedzenie vyžarovania vysokofrekvenčných rušivých signálov. Riadiaca jednotka sa preto nachádza v kovovom puzdre (kvôli odvodu tepla), snímače a ovládacie členy sú pripojené viacpólovým konektorom.

Regulácia systému

Na obrázku 3-18 vidíme schému pre výpočet vstrekovanej dávky v riadiacej jednotke. Štartovacia dávka je dodávaná od zapnutia spínacej skrinky (spínač v polohe A) po dosiahnutie minimálnych otáčok, pričom vodič nemá na výpočet žiaden vplyv.

V normálnom režime je vstrekovaná dávka vypočítaná na základe polohy pedálu a otáčkach motora podľa charakteristiky pre jazdné pomery.

Pre naregulovanie požadovaných voľnobežných otáčiek obmeňuje regulátor vstrekovanú dávku tak dlho až sú vstrekované otáčky rovnaké s požadovanými. Regulačná charakteristika je ovplyvnená zaradenou rýchlosťou, teplotou motora a rôznymi spotrebičmi.



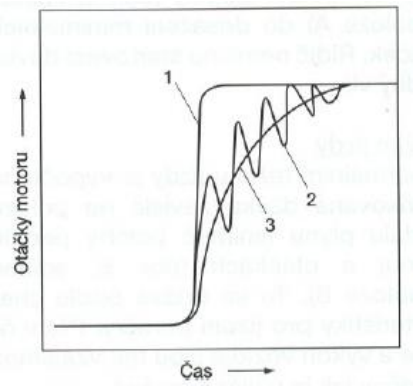
Obrázok 3-18 Výpočet vstrekovacej dávky v riadiacej jednotke (A - štart, B - jazda) [26]

Vďaka mechanickým toleranciám a opotrebovaniu motora neprodukujú všetky valce rovnaký točivý moment. Regulácia kľudného chodu zaznamenáva zmenu otáčiek po každom spaľovaní a vzájomne ich porovnáva. Vstrekovaná dávka je potom pre každý valec nastavená tak aby prispieval rovnakým dielom na tvorbu točivého momentu. Regulácia je však aktívna iba v dolnej škále otáčok.

Regulácia obmedzenia dávky zasa slúži na upravenie vstrekovanej dávky v momentoch kedy by požiadavka vodiča mohla zapríčiniť príliš vysoké škodlivé emisie, príliš vysokú tvorbu sadzí, vysoké mechanické preťaženie alebo vysoké teplotné preťaženie. Obmedzovacia dávka je tvorená na základe údajov z viacerých snímačov napr. pre meranie hmotnosti vzduchu, otáčky, teplota chladiacej kvapaliny atď.

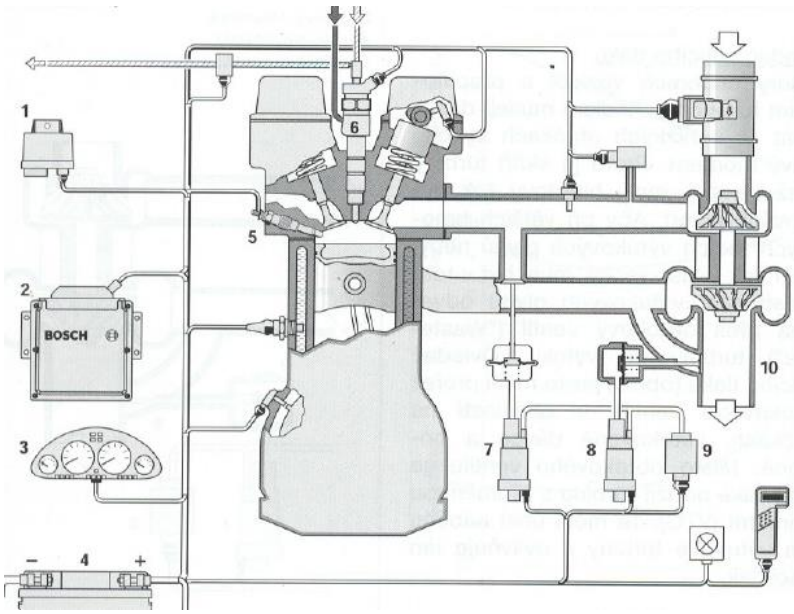
Aktívne tlmenie klepania (obr. 3-19) zasa slúži na zmenu dávky pri náhlych zošliapnutiach alebo uvoľneniach plynového pedálu.

Odstavenie motora prebieha jednoduchým príkazom na nulovú dávku vstrekovaného paliva. [26]



Obrázok 3-19 Aktívne tlmenie klepania: 1 - prudké zošliapnutie pedálu, 2 - priebeh otáčok bez aktívneho tlmiča klepania, 3 - otáčky s aktívnym tlmičom klepania [26]

OVLÁDACIE ČLENY



Obrázok 3-20 Ovládacie členy systému – 1 – ovládacia jednotka žhavenia, 2 – ECU, 3 – prístrojová doska, 4 – akumulátor, 5 – žhaviaca sviečka, 6 – vstrekovač, 7 – ovládač EGR ventilu, 8 – nastavovač plniaceho tlaku, 9 – podtlaková čerpadlo, 10 – turbodúchadlo [26]

Vstrekovač

Elektromagnetický vstrekovač je otváraný vysokým záberovým prúdom a následne udržiavacím prúdom udržovaný otvorený

Regulačný ventil tlaku

Aktivovaný elektromagnet tlačí kotvu do sedla a uzatvára ventil, čím tesní vysokotlakovú časť od nízkotlakovej. Ventil je ovládaný impulzovou moduláciou (čím menšie impulzy tým viac otvorený ventil).

Ovládacia jednotka žhavenia

Žhavenie slúži na zlepšenie štartovacích podmienok a zahrievacej fáze. Doba žhavenia záleží na teplote chladiacej kvapaliny a je vykonávaná pomocou relé žhavenia.

Elektropneumatický prevodník

Motory s preplňovaním musia dosahovať vysoký krútiaci moment už pri nízkych otáčkach. Preto je skriňa turbodúchadla navrhnutá pre malý hmotnostný tok výfukových plynov. Aby pri vyšších otáčkach nedochádzalo k prílišnému preplňovaniu , pridávame do systému ovládač plniaceho tlaku, ktorý mení prierez obtokového kanálu turbodúchadla alebo sa používa premenná geometria turbíny (u diagnostík známe pod skratkou VGT), kedy sa mení uhol nábehu kolesa výfukovej turbíny.

Škrtiaca klapka

Slúži na zvýšenie podielu recirkulácie znižovaním pretlaku v sacom potrubí a využíva sa v nízkych otáčkach. [26]

3.3.5 MOŽNÉ PORUCHY COMMON RAIL SYSTÉMU

Pri diagnostike common rail systému je nutné rozumieť jeho fungovaniu a v prípade poruchy systému správne odhadnúť oblasť chyby, resp. chybnú komponentu, najmä ak chyba nie je uložená v pamäti ECU a prečítaná OBD diagnostickým zariadením. V niektorých prípadoch nám riadiaca jednotka nahlási chybu a ďalej je treba kontrolovať komponenty spojené s chybou napríklad osciloskopom. Správna prvotná, ale aj celková diagnostika nám môže preto ušetriť značné množstvo času a peňazí. V tabuľke 3-4 môžeme vidieť možné chyby prvkov systému common rail a ich typický prejav.

Tabuľka 3-4 Možné poruchy common rail systému [31]

Chyba	Efekt	Možná príčina
Nízky tlak vo vysokotlakovej časti	Problémy so štartovaním, nenaštartovanie, vyššie škodlivé emisie, vynechávanie motora, prechod riadiacej jednotky do núdzového režimu, signály od snímača tlaku v raily mimo očakávaných hodnôt	Opotrebované vstrekovače s veľkým spätným tokom paliva, opotrebované alebo chybné vysokotlakové palivové čerpadlo, nízke štartovacie otáčky motora, chybný regulačný ventil tlaku, prípadne iné
Nedostatočný tlak dodávaného paliva z nádrže	Problémy so štartovaním, nenaštartovanie, vynechávanie motora, následné problémy vysokotlakovej časti	Poškodený prívod paliva z nádrže, upchatý palivový filter, chybné elektrické alebo mechanické podávacie palivové čerpadlo
Tvorba sadzí okolo vstrekovačov	Nižšie tlaky vo valci počas spaľovania	Poškodenie tesnenia medzi vstrekovačmi a hlavou valcov
Chyba v saní vzduchu	Problémy so štartovaním, nenaštartovanie, vynechávanie motora, slabý výkon pri vyššej záťaži	Nedostatočne priechodný vzduchový filter, chybný senzor hmotnosti nasávaného vzduchu, nedostatočné preplňovanie turbodúchadlom, chybný EGR ventil
Chyba výfukového systému	Problémy so štartovaním, nenaštartovanie, slabý výkon	Chyba filtra pevných častíc alebo EGR ventilu
Chyba elektroniky a elektronických komponentov	Problémy so štartovaním, nenaštartovanie, vynechávanie spaľovania	Poškodená kabeláž, spoje, nedostatočne nabitá batéria, chyba regulačného systému (riadiaca jednotka, senzory atď)

3.4 ELEKTRONICKÁ REGULÁCIA VZNETOVÝCH MOTOROV SO SYSTÉMOM COMMON RAIL

Rozumieť elektronickej regulácii systému common rail (ktoré prvky systému závisia na ktorých snímačoch a veličinách) je spolu s vhodnými diagnostickými zariadeniami základným predpokladom pre kontrolu, opravu alebo dokonca prestavovaniu algoritmov (tzv. chip tuning) vozidiel s týmto typom vstrekovacieho systému.

Komunikácia medzi riadiacou jednotkou common railu a ostatnými riadiacimi jednotkami prebieha prostredníctvom siete CAN-bus.

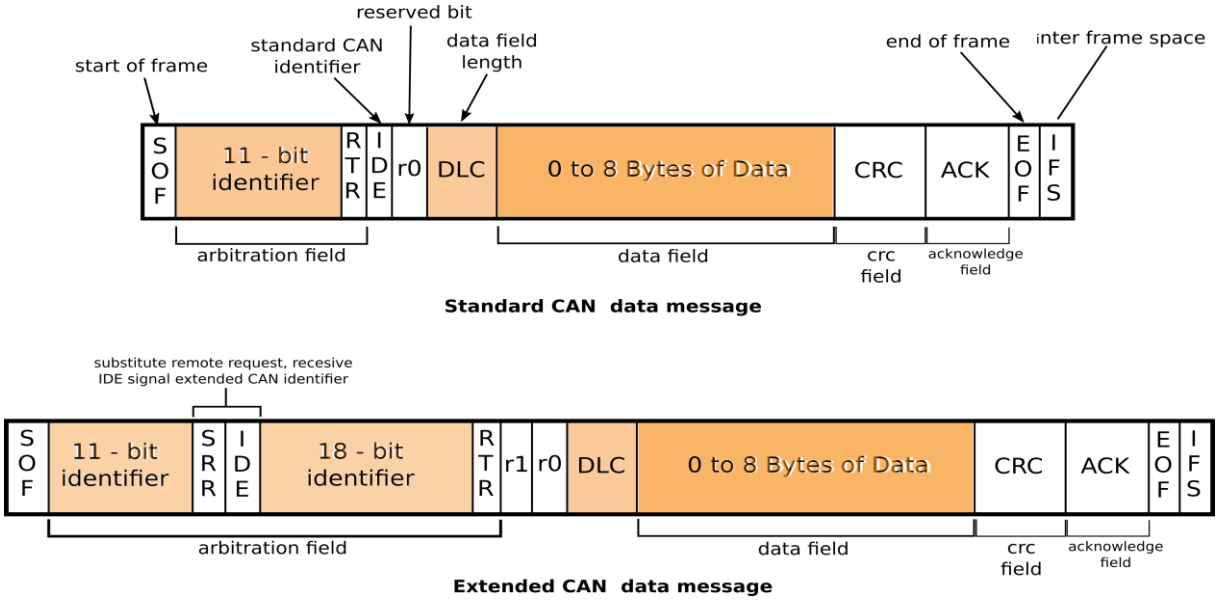
3.4.1 KOMUNIKAČNÁ SIEŤ CAN

CAN je medzinárodne definovaná komunikačná sieť senzorov a funkčných jednotiek tvorená dvoma vodičmi CAN H (odosielanie správ) a CAN L (prijímanie správ), ktorá nahrádza zložitú kabeláž v automobiloch. Je veľmi spoľahlivá, odolná voči elektrickému rušeniu, ľahšie diagnostikovateľná a opraviteľná, má nižšiu hmotnosť ako staršie komunikačné siete a dosahuje maximálnu teoretickú rýchlosť na zbernici až 1 Mb/s, na linke dlhej 40m s maximálne 30-timi uzlami. Dvojlinka je zakončená na každom konci 120 Ω rezistormi, aby nedochádzalo k pokračovaniu správ do druhej linky.

Keďže všetky komunikujúce zariadenia sú na jednej linke bolo treba predpísať určité pravidlá komunikácie. Každý uzol na sieti má určitú periódu neaktívnosti kým odošle do siete správu. V prípade, že prídu do zbernice 2 alebo viac správ v rovnaký čas, je čítaná ako prvá, správa s najvyššou prioritou. Priorita je definovaná na začiatku každej správy, ktorá začína tzv. identifikátorom, ktorý mal na začiatku 11 bitovú dĺžku, no dnes sa už používa viac 29 bitová dĺžka, ktorá ponúka až 2^{29} možných rôznych identifikátorov oproti pôvodným 2^{11} možnostiam.

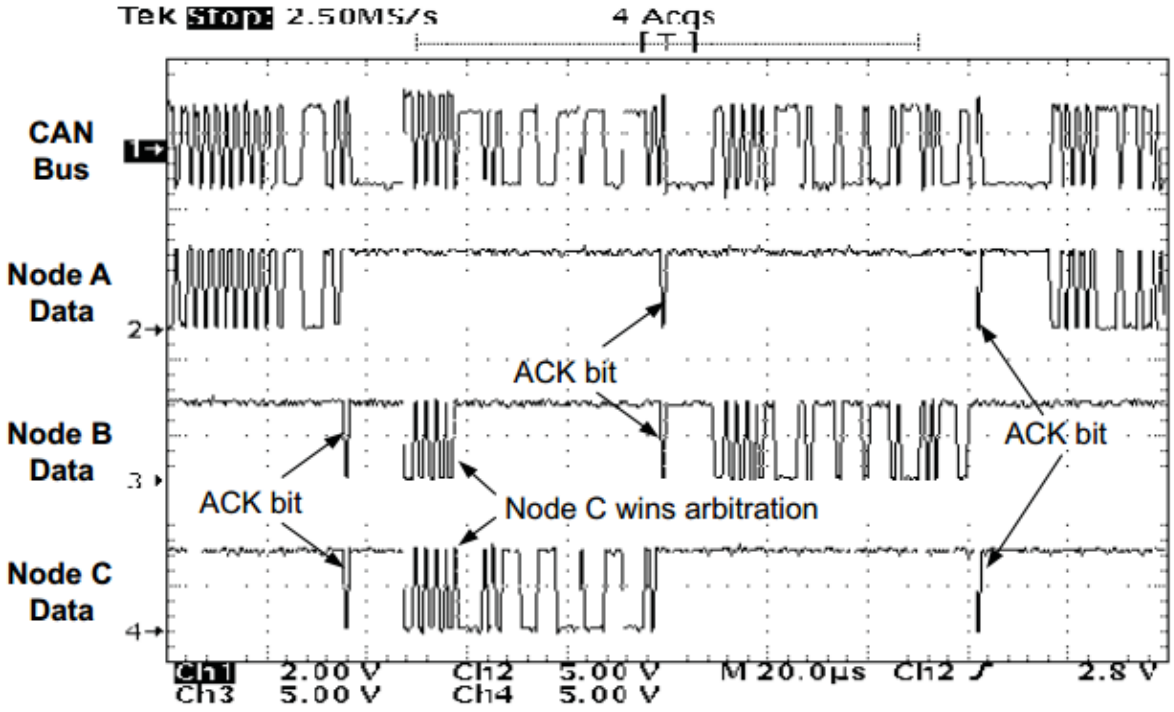
Na obrázku 3-22 môžeme pozorovať oba typy CAN správ. U kratšej CAN správy (obr. 3-21 hore) je *„SOF“* začiatok správy slúžiaci na zosynchronizovanie správ od uzlov. Ďalších 11 bitov je priorita (čím menšia bitová hodnota tým väčšia priorita), *„RTR“* časť definuje uzol ktorému je správa určená. „*IDE*“ definuje, že ide o verziu správy s 11 bitovým identifikátorom. *„r0“* sú voľné bity, ktoré môžu byť využité v budúcnosti. *„DLC“* je 4 bitová časť správy, ktorá informuje koľko bitov dátovej časti je odosielaných. Samotná dátová časť a jej tvar sú vysvetlené v *časti 1.3.1.* 16 bitové *„CRC“* sčítava predošlú bitovú dĺžku správy. V prípade, že dĺžka nie je v poriadku je hlásená chyba. *„ACK“* je 2 bitová časť správy, ktorú prijímajúci uzol prepíše z recesívnej na dominantnú, v prípade, že správu neprepíše je správa chybná. „EOF“ je 7 bitové zakončenie správy pre kontrolu (ak má inú dĺžku je vo vnútri správy viac/menej bitov ako má byť) a „IFS“ je 7 bitový údaj o čase uloženia správy do pamäte.

U správy s 29 bitovým identifikátorom *„SRR“* nahrádza *„RTR“* a poskytuje informáciu, že identifikátor nemá 11 ale 29 bitov. *„IDE“* hlási, že nasleduje dlhšia správa a *„r1“* a *„r0“* sú voľné bity.



Obrázok 3-21 CAN správa s 11 bitovým (hore) a rozšírená správa s 29 bitovým identifikátorom (dole) [32]

U CAN siete je 0 dominantný bit a 1 recesívny. Napríklad ak 2 uzly posielajú simultánne správy identifikátor s menším bitovým číslom vstupuje do zbernice (prepíše správu s vyšším identifikátorom). Na obrázku 3-22 vidíme osciloskopom meranie na uzloch a zbernici. Zmeny napätia značia dominantné bity a teda prednosť v komunikácií. Prednosť má správa z uzla A, následne z uzlu C a na záver od uzla B, ktorý má najviac recesívnych bitov. Podľa veľkosti napätia by sme vedeli ďalej zistiť, či správa ide po linke H alebo po linke L. Z dôvodu možnosti prijímania iba jednej správy sú správy z uzlov odosielané v rôznych intervaloch, tie najdôležitejšie s najvyššou prioritou a frekvenciou. Niektoré správy sa posielajú len na vyžiadanie a nie pravidelne.



Obrázok 3-22 Komunikácia medzi uzlami a zbernicou [32]

V jednej sieti na bázy zbernice CAN je možné pripojiť rôzny počet zariadený v závislosti na používanej prenosovej rýchlosti. Pri maximálnej rýchlosti je to 40 zariadení. Dôležité pri počte zariadení je aj zaťaženie zbernice. Moderný dieselový motor vysiela približne 160 správ za sekundu, ktoré tvoria celkovú rýchlosť zapisovania približne 16000 bitov/s. Zariadení pripojiteľných na CAN pribúda a zaťaženie zbernice stúpa. Preto moderné môžu mať 2 až 3 siete na báze CAN. [32][33]

3.4.2 KOMUNIKÁCIA SYSTÉMU CEZ SÉRIOVÝ PRENOS DÁT CAN

Cieľom nakonfigurovania systému je v prvom rade čo najmenšia spotreba pri súčasnom zvyšovaní výkonu poprípade krútiaceho momentu a popritom spĺňať emisné a hlukové limity. Na dosiahnutie týchto cieľov potrebujeme systém s vysokými vstrekovacími tlakmi, s variabilným a tvarovaným vstrekom, s úvodným vstrekom a dovstrekom, prispôsobivé vstrekovanie na prevádzkový stav a spĺňanie požiadaviek počas celej životnosti. Keďže chod systému závisí na množstve senzorov a akčných členov, je potrebné mať pripravené, v prípade poruchy niektorého komponentu, v riadiacej jednotke núdzové režimy a hlásenie porúch používateľovi. V týchto prípadoch je použitie diagnostiky veľmi praktické až nevyhnutné.

Snímače vytvárajú rozhranie medzi vozidlom a riadiacou jednotkou. Signály snímačov sú posielané do jednej alebo viacerých jednotiek cez ochranné zapojenia a prípadne aj cez prevodníky signálov a zosilňovačov. V systéme sa môžu vyskytnúť 3 typy signálov. Analógové vstupné signály (napríklad informácie o množstve a tlaku nasávaného vzduchu, teplote motora atď.), ktoré sú prevádzané analógovo-digitálnym prevodníkom v mikroprocesore riadiacej jednotky na digitálny signál. Ďalej digitálne vstupné signály (napríklad spínacie signály), ktoré môže riadiaca jednotka spracovávať priamo a pulzové vstupné signály (napr. otáčky motora) spracované v spínacom obvode riadiacej jednotky pre potlačenie rušivých impulzov. Vstupné signály sú obmedzené ochrannými obvodmi na maximálnu prípustnú napäťovú úroveň a pomocou filtrácie zbavené rušivých signálov.

V riadiacej jednotke je uložený program na spracovanie signálov (ROM alebo flash EPROM). Ďalej sú v nej stálo uložené dátové mapy, dáta pre imobilizér, prípadné chyby systému a ďalšie. Ďalej sa v riadiacej jednotke nachádza pamäť RAM, ktorá po vypnutí napájania stráca celý svoj obsah. [26]

4 METODIKA DIAGNOSTIKY VOZIDLA SO VSTREKOVACÍM SYSTÉMOM COMMON RAIL

V praktickej časti diplomovej práce sa budeme zaoberať diagnostikou vozidla so systémom vstrekovania common rail v praxi. V tomto prípade pod pojmom diagnostika rozumieme získavanie reálnych dát z riadiacej jednotky cez OBD konektor pomocou diagnostického zariadenia. Dáta ďalej budeme spracovávať použitím ďalších softvérov Matlab a Excel a na základe nameraných dát budeme stanovovať približné fungovanie riadiacej jednotky sledovaného vozidla, ktorého systém (snímače, akčné členy a ďalšie) je v plne funkčnom stave. Zároveň bude navrhnutý postup a výsledky slúžiť ako model pre ďalšie testovanie áut so systémom vstrekovania common rail u ktorých prípadné odlišné správanie systému od nami pozorovaného a vyhodnoteného komplexného diagnostického testu budú značiť jeho nesprávnu funkčnosť a potrebu podrobnejšej diagnostiky za cieľom nájsť poruchu v systéme.

Schému metodiky diagnostiky vozidla môžeme vidieť na schéme 4-1.



Schéma 4-1 Metodika diagnostiky vozidla sériovým diagnostickým zariadením

4.1 STANOVENIE CIEĽOV MERANIA A ANALÝZA VOZIDLA

Prvým veľmi podstatným krokom pred začatím celého procesu diagnostiky vozidla je stanovenie cieľov merania. Od nich sa bude odvíjať celý proces a to od výberu zariadenia a meraného vozidla, cez merané dáta a informácie až po vyhodnotenie diagnostického testu. V našom prípade je cieľom analýza fungovania vstrekovacieho systému common rail tzv. reverzným inžinierstvom, kedy sa pozorovaním a testovaním už fungujúceho systému budeme snažiť dopracovať k jeho základnému fungovaniu. Následne bude možno tieto výsledky a znalosti použiť ako vzor pri testovaní a kontrolovaní rovnakých systémov a zároveň bude slúžiť aj na výskumné účely.

Ako prvá pred začatím celého diagnostického procesu je potrebná analýza testovaného vozidla. Rozumieť pozorovanému systému je základom pre jeho správnu diagnostiku. Čím viac systému rozumieme tým viac stúpa pravdepodobnosť úspešnej diagnostiky vozidla ako celku. V našom prípade sa jedná o vznetové osobné vozidlo značky Kia Cee'd SW 1.6 CRDi, ktoré využíva systém vstrekovania common rail. Jeho fungovanie je popísané v kapitole 3 a analýza v kapitole 5.

Ďalej je u vozidla dôležitá jeho kompatibilita. To znamená normu, ktorú spĺňa. Takmer vo všetkých prípadoch by sa malo jednať o normu EOBD povinnú v Európe od roku 2001 u benzínových a 2004 dieselových motorov. Kompatibilné môžu byť aj vozidlá vyrobené pred týmito rokmi avšak výber diagnostického zariadenia je v tomto prípade zložitejší, keďže autá

môžu mať iný vstupný konektor alebo komunikovať neštandardizovaným kódovaním, ktoré rozpoznajú iba špecializované zariadenia. Špecializované zariadenia by mali u väčšiny výrobcov rozpoznať aj neštandardizované formy komunikáciu. Samotný rozsah neštandardizovanej komunikácie sa líši podľa samotného výrobcu.

4.2 VÝBER DIAGNOSTICKÉHO ZARIADENIA

Výber diagnostického zariadenia teda záleží na cieľoch merania. Čítanie chýb, resetovanie servisných intervalov, nastavovanie komfortných prvkov, testy rôznych systémov, meranie aktuálnych dát a mnohé ďalšie činnosti sú možné prostredníctvom diagnostických zariadení a príslušných softvérov. Avšak ponuka možností jednotlivých diagnostík sa v tomto smere môže veľmi odlišovať. Preto sa pred samotným meraním musíme rozhodnúť o akú oblasť diagnostiky sa budeme zaujímať. V našom prípade sa bude jednať najmä o získavanie aktuálnych dát počas jazdy, kedy sa na danej trase budeme snažiť zobraziť a uložiť čo najväčšie množstvo dát z riadiacej jednotky ovládajúcej vstrekovanie a chod motora.

Dnešný trh ponúka obrovské množstvo diagnostických zariadení, preto výber tej správnej nie je jednoduché a treba sa rozhodnúť podľa viacerých faktorov

1. Použitie

Treba si uvedomiť kam siahajú naše znalosti s použitím diagnostiky a s vyhodnocovaním dát. Či sme schopný rozumieť drahším a sofistikovanejším zariadeniam alebo nám stačí dostávať základné informácie z jednoduchšieho zariadenia. Ďalej je dôležité vedieť o aké konkrétne informácie sa zaujímame a či chceme riadiacu jednotku programovať, vymazávať servisné intervaly alebo len získavať dáta. V našom prípade sme zamerali na výber diagnostického zariadenia poskytujúceho čo najviac aktuálnych dát.

2. Diagnostikované vozidlo

Výber diagnostiky záleží aj na druhu a značke vozidla. U voľne predajných diagnostík sa množstvo poskytovaných informácií líši od značky automobilu a roku výroby. U nových vozidiel nemusia byť niektoré dáta pričítateľné (berúc v úvahu dáta mimo EOBD normy).

3. Rozpočet

Samozrejme aj cena je veľmi dôležitý faktor. Kvalita aj príslušenstvo závisia na cene. Drahšie zariadenia majú vlastný počítač, displej, rôzne redukcie a príslušenstvo. V prípade, že vlastníme prenosný počítač môže byť dostačujúca iba kúpa softvéru a príslušnej kabeláže.

4.2.1 ELM 327 DIAGNOSTICKÉ ZARIADENIE

Najprv sme otestovali najprístupnejšie (cenovo i dostupnosťou) diagnostické zariadenie s ELM 327 mikroprocesorom. Ako prvý sme si pre prácu s týmto diagnostickým zariadením vybrali softvér s názvom ScanMaster. Zariadenie poskytuje veľa funkcií (mazanie chýb, akceleračné testy, testy lambda sondy a ďalšie) a pomerne dostatočné množstvo možných meraných dát (snímka obrazovky obr. 4-1), avšak komunikuje iba s riadiacou jednotkou motora a nie je možné čítať také široké spektrum dát common rail systému ako je tomu u špecializovaných zariadení.

Ďalej sme s týmto diagnostickým zariadením otestovali softvér pre Android telefóny nazývaný Torque Pro. Výhodou tohto softvéru v telefóne je možnosť zaznamenávať trasu cez GPS satelity, naviac je schopný zobrazovať aj prietok paliva v mililitroch za hodinu, ktorý môžeme

prepočítať aj pomocou zaznamenaných otáčok na množstvo vstrekovaného paliva do valca na cyklus.

Pre väčší počet desatinných miest pri zaznamenávaní množstva vstrekovaného paliva využijeme toto zariadenie na analýzu systému pri štarte a voľnobehu, kde môžeme merať všetky potrebné dáta (otáčky, prevádzkové teploty, prietok paliva, vypočítané zaťaženie atď.) a presnosť je u tohto režimu dôležitejšia ako u bežnej jazdy kde je škála vstrekovanej dávky omnoho širšia. Nevýhodou však je, rovnako ako u softvéru Scan Master, nemožnosť zaznamenávania niektorých údajov týkajúcich sa common rail systému.

Z tohto dôvodu som sa rozhodol hľadať iné diagnostické zariadenie. Napriek tomu treba oceniť tento typ zariadenia, ktorý môže byť na niektoré diagnostické účely, najmä svojou jednoduchosťou, kompaktnosťou (komunikácia aj cez smart phone) a cenou, dostačujúci. Výhodou tohto zariadenia je aj možnosť automatického logovania dát priamo do formátu csv, ktorý je spracovateľný viacerými štatistickými programami, čo napríklad u nami používaného zariadenia od firmy Delphi nie je možné.

04 - Vypočtená zátěž
05 - Teplota chladící kapaliny
0B - Absloutní tlak vzduch v sacím potrubí
0C - Otáčky motoru
0D - Rychlost vozidla
0F - Teplota nasávaného vzduchu
10 - Průtok vzduchu
11 - Absolutní poloha škrtící klapky
1F - Doba od startu motoru
21 - Vzdálenost ujetá s rozsvícenou kontrolkou motoru MIL
23 - Tlak paliva
24 - Bank 1 - Snímač 1 (širokopásmová lambdasonda) (Poměr lambda)
24 - Bank 1 - Snímač 1 (širokopásmová lambdasonda) (Napětí na lambda sondě)
2C - Nucené EGR
2D - Chyba EGR
30 - Počet zahřátí motoru na provozní teplotu od vymazání paměti závad
31 - Vzdálenost ujetá od vymazání paměti závad
33 - Tlak okolního vzduchu
3E - Teplota katazlyzátoru Bank 1, Snímač 2
42 - Napájení řídící jednotky
45 - Relativní poloha škrtící klapky
49 - Poloha plynového pedálu D
4A - Poloha plynového pedálu E
4C - Nucené řízení ovladače škrtící klapky
5A - Relativní poloha plynového pedálu
66 - Snímač hmotnosti nasávaného vzduchu (Snímač hmotnosti nasávaného vzduchu A)
66 - Snímač hmotnosti nasávaného vzduchu (Snímač hmotnosti nasávaného vzduchu B)

Obrázok 4-1 Možnosti merania s diagnostickým zariadením elm 327

4.2.2 VÝVOJOVÉ DIAGNOSTICKÉ ZARIADENIE

Komunikačné moduly CAN sú určené na získavanie údajov z digitálnej CAN BUS zbernice o stave vozidla a ich interpretáciu. Niektoré taktiež umožňujú zasielanie informácií na CAN BUS zbernicu. Takéto zariadenia by sme pravdepodobne nenašli v bežných autoservisoch, ale ich využitie spočíva hlavne vo vývojárskej oblasti. Ich cena je podstatne vyššia ako cena bežných diagnostík, no možnosti sú omnoho väčšie. Celé zariadenie je v podstate ako skladačka. Do skrine zapájame rôzne moduly, podľa potreby merania. Okrem modulu CAN, pre komunikáciu po tejto sieti, sú v predaji rôzne ďalšie ako napríklad modul na meranie teplôt v rôznych častiach vozidla, modul na meranie hluku na rôznych miestach interiéru s príslušnými meracími

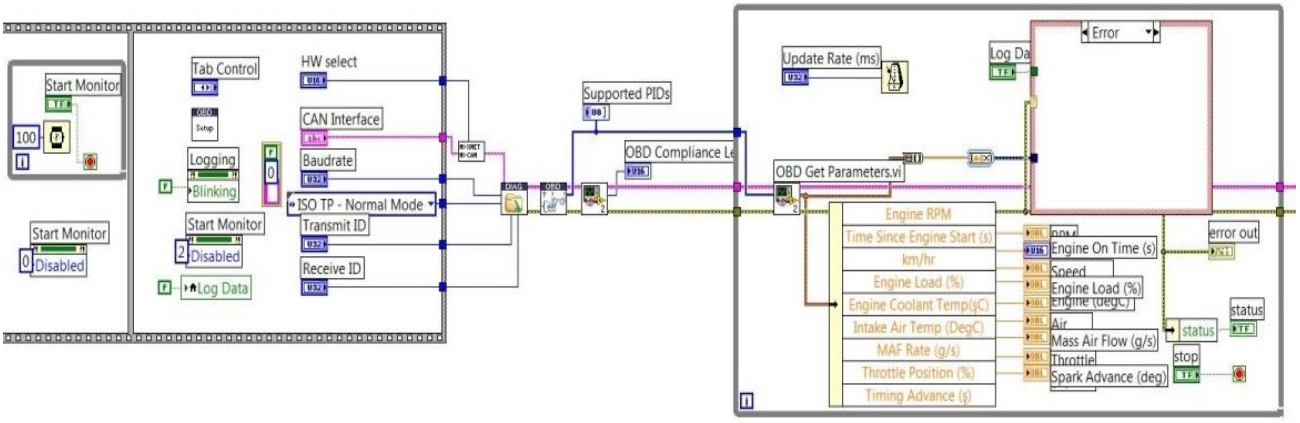
senzormi, modul na kontrolu funkcie posilňovača riadenia a mnoho ďalších. Ďalej je potreba mať potrebnú kabeláž, softvér, prípadne ďalšie príslušenstvo.

V praktickom použití sme sa zamerali na zapojenie, spustenie a jednoduchý test vozidla Volkswagen Tiguan 2.0 TSI. V teste sme využili malú časť možností merania, ktoré ponúka NI-CAN softvér a hardvér. Na obr. 4-2 vidíme časť použitého príslušenstva. Pri meraní sme použili prenosný počítač, kabeláž, skriňu pre zapojenie modulov a káblov (obr. 4-2 vľavo dole), modul CAN NI 9862 (obr. 4-2 dole v strede), konektorovú a zakončovaciu skrinku tzv. *Can breakout box* (vľavo hore), diagnosticky ovládač (komunikujúci s normami OBD II a KWP 2000 – VW group) a softvér pre komunikáciu.



Obrázok 4-2 Príslušenstvo potrebné na meranie [34]

Hardvér aj softvér (okrem počítača) bol vyrobený firmou National Instruments (ďalej NI), ktorá má na svojich stránkach širokú ponuku rôznych zariadení. Ceny skríň sa pohybujú od základných za 800 €, po najvýkonnejšie za 7000 € so zabudovaným počítačom a veľkým počtom vstupov pre moduly. Samotné moduly sa podľa druhu pohybujú v cenách od 100 € do 1500 €. *Breakout box*, poskytujúci taktiež externé ukončenie CAN siete 120 Ω, využívame v prípade zapojenia viacerých CAN modulov súčasne. Napríklad ak chceme v jeden moment prijímať aj odosielať informácie cez CAN sieť.



Obrázok 4-3 Algoritmus merania

Pred samotným meraním bolo potrebné naprogramovať grafickým programovaním LabVIEW (programovanie je možné nie len v LabVIEW, ale napríklad aj v C/C++) potrebný algoritmus merania (obr. 4-3).

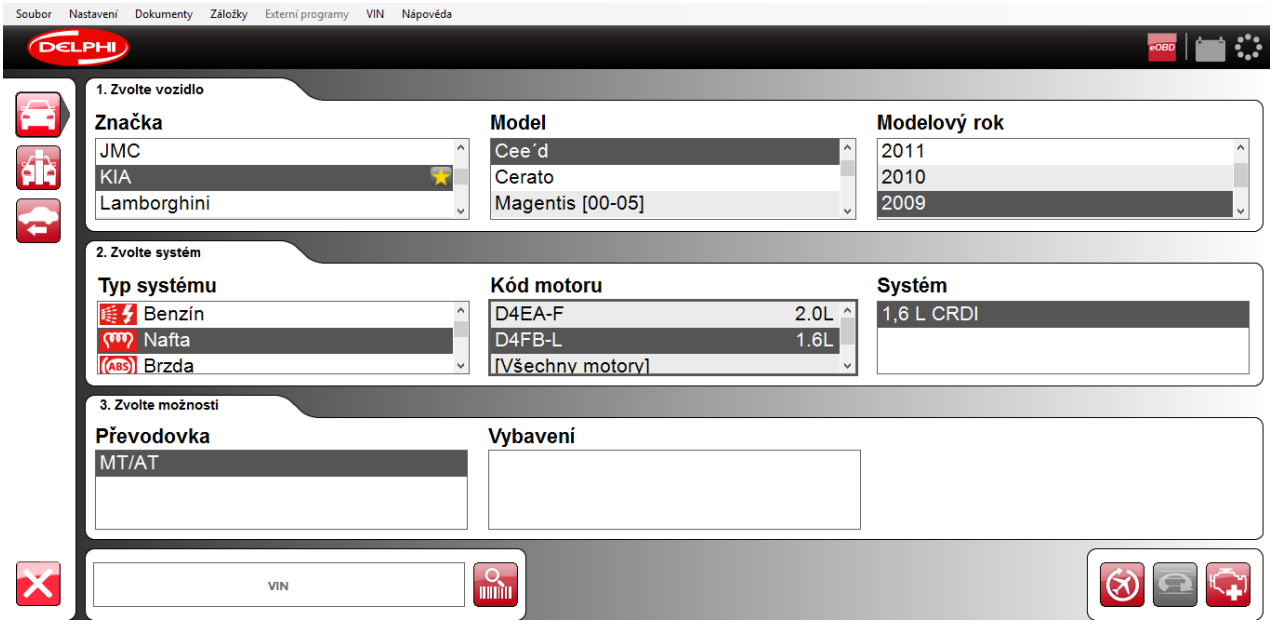
Programovaním sme nastavili, aby modul meral otáčky motora „*Engine RPM*“, zaťaženie motora „*Engine Load*“, rýchlosť „*Speed*“, teplotu motora „*Engine Temp*“, množstvo a teplotu nasávaného vzduchu „*Mass Airflow*“, polohu škrtiacej klapky „*Throttle*“ a zážih „*Spark Advance*“. Tieto dáta môžeme ďalej exportovať priamo do iných programov ako napríklad excel a pracovať so získanými dátami.

Toto vývojové diagnostické zariadenie si však pre ďalšiu prácu nevyberieme najmä z dôvodu jeho vysokej ceny, veľkého množstva hardvérových komponentov a zložitosti pri jeho zaobstarávaní.

4.2.3 DELPHI DS150E

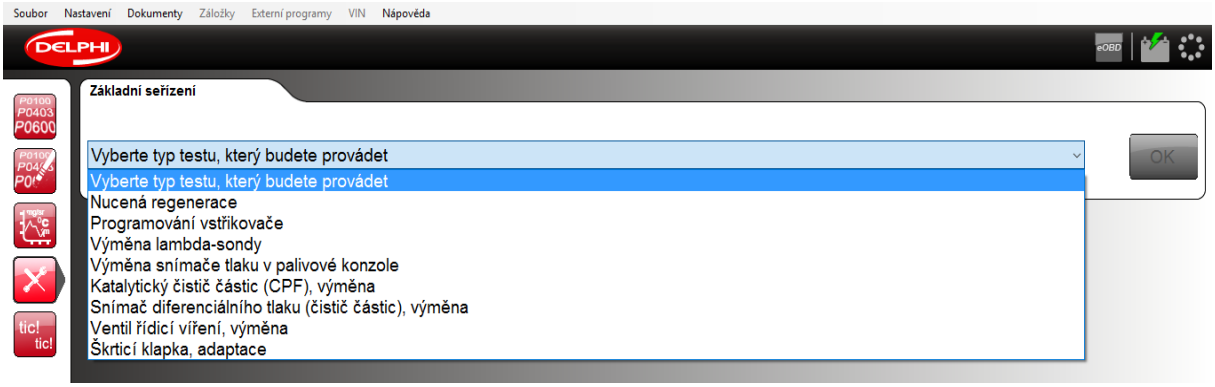
Pre potreby diplomovej práce sme sa rozhodli pre diagnostické zariadenie Delphi DS150e. Toto zariadenie poskytuje širokú ponuku funkcií a meraných dát. Naviac je veľmi praktické pre jeho všeobecné používanie, keďže je schopné komunikovať so viacerými riadiacimi jednotkami rôznych výrobcov a s normami, či už z rôznych krajín alebo aj s neštandardizovanými komunikačnými protokolmi, čo ešte viac odôvodňuje vhodnosť investície do tohto zariadenia.

Softvér ku diagnostickému zariadeniu je pomerne jednoducho ovládateľný. Po zapnutí programu vyberieme model vozidla, riadiacu jednotku vozidla, typ a kód motora a ďalej volíme, či chceme vykonávať základné OBD meranie alebo celkovú diagnostiku vybranej riadiacej jednotky spolu s možnými testami danej jednotky a systému. Úvodnú obrazovku softvéru môžeme vidieť na obrázku 4-4. Medzi možné diagnostikovateľné riadiace jednotky vozidla patria napríklad riadiaca jednotka motora, klimatizácie, prevodovky, airbagov, imobilizéru, ABS alebo sa v tejto sekcii volí aj resetovanie servisných intervalov.



Obrázok 4-4 Úvodná ponuka softvéru Delphi

Najužívateľnejšou diagnostikovateľnou riadiacou jednotkou bude u väčšiny používateľov diagnostika riadiacej jednotky motora. Po výbere diagnostiky riadiacej jednotky motora sa nám naskytne ponuka (obrázok 4-5), kde je možné ďalej voliť (ponuka od hora dole) čítanie chýb uložených v pamäti jednotky, vymazávanie uložených chýb, grafické zobrazenie dát v závislosti na čase, nastavenie vymenených komponentov motora a aktivácia/deaktivácia rôznych komponentov (napríklad vypnutie valca a ďalšie).



Obrázok 4-5 Diagnostika riadiacej jednotky motora

Za veľmi praktickú vec u tohto zariadenia môžeme považovať voľbu tzv. čiernej skrinky. Zariadenie obsahuje vstup na pamäťovú kartu na ktorú uložíme šablónu merania. Následne zariadenie zapojíme do OBD konektora zapneme ho cez fyzické tlačidlo a môžeme merať aktuálne dáta počas jazdy bez zapojenia zariadenia do prenosného počítača, čo umožňuje dlhšie testy a menej prítomného hardvéru.

Na vytvorenie vhodných podmienok na meranie dát je pred prvým použitím zariadenia vhodné prečítať si príslušný manuál alebo pokyny, ktoré sa zvyknú nachádzať priamo v softvéri.

V manuály sa môžeme dozvedieť dôležité veci ako napríklad, kde sa u konkrétneho vozidla nachádza diagnostická zásuvka na zapojenie, kedy zariadenie zapojiť a ako ho bezpečne vypojiť.

Ďalej je potrebné zariadenie vyskúšať a overiť, či je naozaj schopné komunikovať s danými riadiacimi jednotkami vozidla a to zapojením zariadenia do vozidla a spustením softvéru. Vo výnimočných prípadoch, kedy diagnostika nie je schopná komunikovať s vozidlom je potrebné nájsť diagnostické zariadenie inej značky. Ďalším prípadom potreby výmeny diagnostického zariadenia je neposkytovanie užívateľom žiadaných dát, čo sa môže stať najmä u menej používaných značiek, ktorých neštandardizovanú časť komunikácie nemá spoločnosť Delphi pre jej diagnostické zariadenia zakúpenú.

MOŽNOSTI MERANIA A VÝBER MERANÝCH DÁT

Systém common rail obsahuje oproti bežným vstrekovacím systémom omnoho viac elektronických prvkov, čo zvyšuje dôležitosť sériovej diagnostiky a prácu s elektronicky nameranými dátami.

Pre čo najlepšiu diagnostiku vozidla je vhodné zaznamenávať, respektíve mať k dispozícií čo najväčšie množstvo dát. Všeobecne (záleží na výrobcovi vozidla a komunikačných normách, ktorej podlieha riadiaca jednotka) ponúka diagnostické zariadenie delphi ds150e spolu so softvérom k diagnostike širokú ponuku zaznamenávaných dát a to z rôznych riadiacich jednotiek, nielen riadiacej jednotky motora, porovnateľne s OEM zariadeniami pre autorizované servisy.

Po výbere žiadanej riadiacej jednotky sa nám naskytnú ďalšie možnosti z ktorých si vyberieme zobrazenie aktuálnych dát, kde máme možnosť výberu zo širokej ponuky dát. V tom nastáva veľmi dôležitý moment, kedy by sa mali preukázať doposiaľ nadobudnuté znalosti o fungovaní daného motora. Dobrý diagnostik by mal vybrať pokiaľ možno všetky možné dáta od vzájomne ovplyvňujúcich sa snímačov a signálov, ktorých kontrolu z dôvodov či už zjavnej alebo skrytej poruchy alebo definovania fungovania systému potrebujeme vykonať.

Veľmi dôležité je vybrať len tie dáta, ktoré k danému meraniu potrebujeme, pretože čím viac dát zaznamenávame, tým sa nám frekvencia záznamov predlžuje čo môže zhoršovať kvalitu testovania a predlžovať ho.

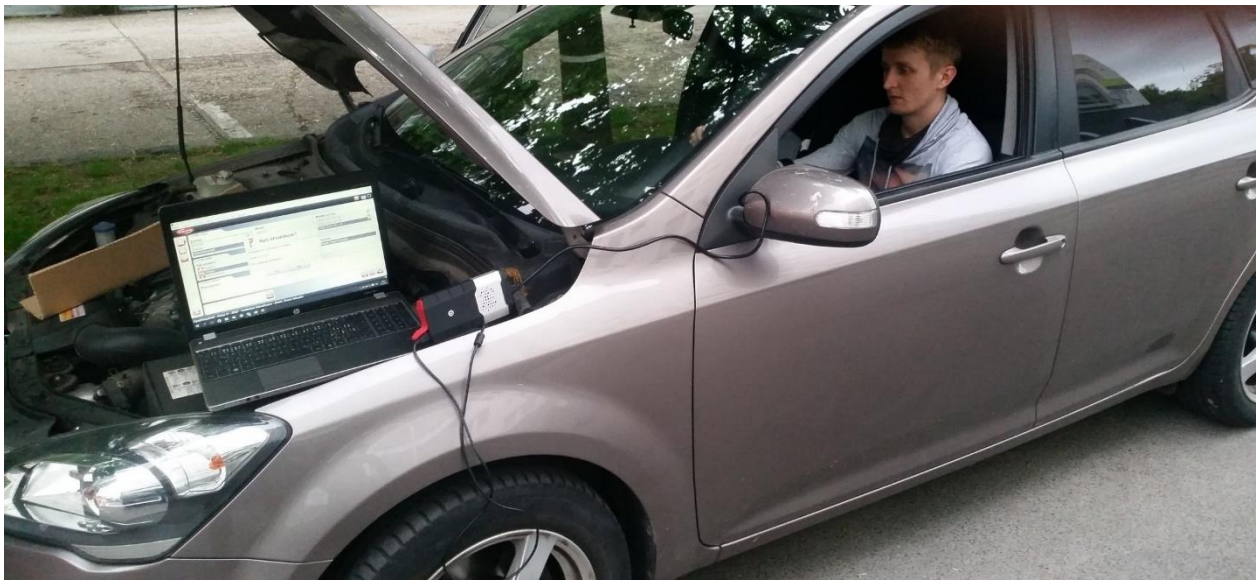
V prípade, že ponuka meraných dát nie je dostatočná pre naplnenie cieľov, je potrebné voliť iné diagnostické zariadenie.

4.3 STANOVENIE OPTIMÁLNYCH PODMIENOK MERANIA

Ako prvé sa pred meraním musíme uistiť, či máme všetky potrebné zariadenia na jeho vykonanie a to diagnostické zariadenie a počítač s dostatočne nabitou batériou alebo so zapojeným zdrojom. Ďalej by sa práca mala rozdeliť medzi dve osoby. Jedna osoba by mala riadiť vozidlo a druhá osoba by mala ovládať softvér, zaznamenávať dáta a usmerňovať šoféra, aby uspôsobil svoju jazdu pre zobrazenie žiadaných dát ako napríklad udržovaniu daných otáčok, polohy pedálu a iné. Rozdelenie testovania je potrebné najmä z bezpečnostných dôvodov, aby sa zamedzilo paralelnému ovládaniu vozidla a zároveň softvéru. Niektoré testy ako napríklad čítanie chybových kódov alebo meranie dát v neutrálnych otáčkach sú bezpečne vykonateľné aj jednou osobou.

Ďalej si treba stanoviť vhodnú trasu a čas merania. Keďže nepôjde o jazdu s konštantou rýchlosťou, ale budeme jazdiť v širokej škále otáčok, je vhodné vykonať test počas víkendu alebo v časoch nízkej úrovne premávky a to na cestách s vyššou povolenou maximálnou ako sú

napríklad diaľnice. Dôležitý je aj profil cesty. Test by mal byť vykonaný na rovinatých cestách, ale aj v kopcoch pri väčšom zaťažení.



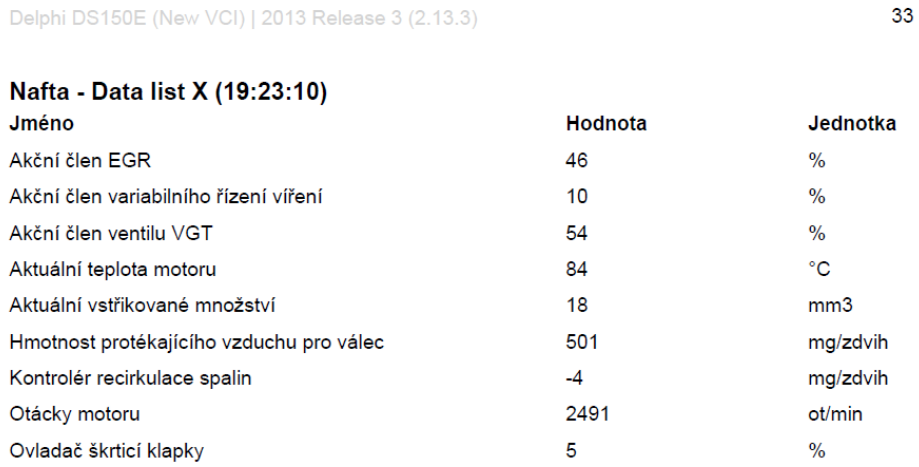
Obrázok 4-6 Priebeh merania v praxi

Pre čo najpresnejšie stanovenie fungovania riadiacej jednotky je potrebné namerať dostatok dát v čo možno najrôznejších podmienkach pre odvodenie súvisiacich korekcií napríklad na množstvo vstrekovaného paliva. Pri plánovaní testovania treba rátať s výdržou batérie počítača a taktiež je vhodné test zbytočne nepredlžovať, keďže s najazdenými kilometra samozrejme narastajú náklady na palivo a amortizácia vozidla. Testy možno opakovať na viac krát v rôznych podmienkach. Možné testy sú test so studeným štartom, test so zohriatym motorom, test v kopcovitom teréne, test zohrievania motora pri zaradenom neutrály, test pri akcelerácií alebo brzdení, štartovanie prípadne ďalšie.

4.4 SPRACOVANIE A ANALÝZA DÁT

Ďalšou nemenej dôležitou fázou je spracovanie zaznamenávaných dát. Problémom u diagnostiky Delphi DS150e, s ktorým sa u zariadenia typu ELM 327 nestretneme, môže byť ukladanie dát pre následnú prácu. Zaznamenávané dáta v čase je možné exportovať zo softvéru iba do pdf (portable document format) súboru kde je ďalšia práca s dátami ako komplexné pozorovanie závislostí rôznych premenných a práca s dátami v ďalších softvéroch v podstate nemožná. U zariadenia Elm 327 je možné zaznamenávania dát priamo do tabuľkového otvoriteĺného v štatistických programoch.

Pre prácu s dátami v programe Matlab bolo potrebné vytvoriť program, ktorý exportuje z pdf súboru (obr. 4-7) potrebné dáta a prevedie ich do číselných matíc.



Delphi DS150E (New VCI) | 2013 Release 3 (2.13.3) 33

Nafta - Data list X (19:23:10)

Jméno	Hodnota	Jednotka
Akční člen EGR	46	%
Akční člen variabilního řízení víření	10	%
Akční člen ventilu VGT	54	%
Aktuální teplota motoru	84	°C
Aktuální vstřikované množství	18	mm3
Hmotnost protékajícího vzduchu pro válec	501	mg/zdvih
Kontrolér recirkulace spalin	-4	mg/zdvih
Otácky motoru	2491	ot/min
Ovladač škrticí klapky	5	%

Obrázok 4-7 Časť PDF súboru s nameranými dátami

Na prevedenie dát v pdf súbore do matíc sme využili opäť program Matlab, ktorého sila spočíva aj pri práci s textom. Pred spustením zdrojového kódu však ešte prevedieme pdf súbor s dátami do textového súboru a následne s týmto súborom pracujeme v Matlabe.

```
 6 -    text1 = fileread('test2_21_2_2016pdfcreator.txt');
 7 -    retext1 = strrep(text1, ',', '.');
 8 -    retext1 = strrep(retext1, 'mm3', 'mm_kubickych');
 9 -    retext1 = strrep(retext1, 'Pol1', 'Pol');
10 -    dlmwrite('export_test2_21_2_2016.txt',retext1,'delimiter','');
11 -    text2 = fileread('export_test2_21_2_2016.txt');
12 -    A = strread(text2, '%s', 'delimiter', sprintf('\n'));
13 -    A = A(~cellfun(@isempty,A));
14      %vymazanie nepotrebných prvých riadkov textu
15 -    for i=1:14
16 -    A(1) = [];
17 -    end
18      % vymazanie hlavičiek
19 -    Anove = A(cellfun(@(s)isempty(regexp(s,'Delphi')),A));
20 -    Anove2 = Anove(cellfun(@(s)isempty(regexp(s,'Jméno')),Anove));
```

Obrázok 4-8 Prvá časť zdrojového kódu pre získanie matice zaznamenaných dát

V prvej časti zdrojového kódu (Obrázok 4-8) načítame uložený textový súbor a následne v ňom zmeníme čiarky na bodky aby desatinné čísla mali správny tvar pre použitie v Matlabe. Ďalej sa zbavíme všetkých čísiel v texte, ktoré nie sú nameranými dátami (riadok 8,9), pretože v ďalšej časti budeme separovať čísla od textu. Zmenení text uložíme a v riadku 12 a 13 vytvoríme vektor ktorého jednotlivé pozície sú tvorené riadkami zo súboru a prázdne riadky sú vymazané. V riadkoch 14 až vymazávame nepotrebné riadky, ktoré neobsahujú dáta. Tieto opakujúce sa riadky obsahujú rovnaké slová. Tie nájdeme pomocou funkcie „regexp“ a následne ich z vektora vymažeme. Cyklus „for“ zase slúži na vymazanie úvodných popisných riadkov v súbore.

```
23 -    D = strfind(Anove2,'Nafta');
24 -    for i=1:length(Anove2)
25 -    if D{i}~='1';
26 -        cas{i,1}=Anove2{i};
27 -    end
28 -    cas(cellfun(@isempty, cas)) = [];
29 -    end
30
31      %vymazanie riadku Nafta
32 -    Anove3 = Anove2(cellfun(@(s)isempty(regexp(s,'Nafta')),Anove2));
33
34      %vyberie čísla z každeho stringu
35 -    dat = regexp(Anove3,'\d+\.?\d*|-\d+\.?\d*|\.?\d+|-\.?\d+','match');
36      %match znamena ze vrati substring namiesto pozicie hladaneho string
37      %zmením typ vektora cell na číselný vektor
38 -    for i=1:length(dat)
39 -    data(i,1) = str2double(dat{i});
40 -    end
```

Obrázok 4-9 Zdrojový kód časť 2

V druhej časti zdrojového kódu vytvoríme číselnú maticu s nameranými dátami (Obrázok 4-9). V riadkoch 23 až 29 exportujeme riadok s časom do samostatného vektora, v prípade, že by sme na analýzu potrebovali čas. Vytvoríme vektor „D“, v ktorom dostaneme na danej pozícii hodnotu 1, pokiaľ sa vo vektore nachádza na rovnakej pozícií slova „Nafta“, ktoré značí prítomnosť riadku s časom. Následne z týchto riadkov vytvoríme nový vektor „cas“. V riadku 32 vytvoríme nový vektor, v ktorom zostanú už iba riadky s dátami (Obrázok 4-10). V riadku 35 z neho vyselektujeme čísla a zmeníme typ vektora z textového cell na číselný typu double pre potreby ďalších výpočtov.

4	Aktuální teplota motoru 84 °C
5	Aktuální vstřikované množství 9 mm_kubickych
6	Hmotnost protékajícího vzduchu pro válec 282 mg/zdvih
7	Kontrolér recirkulace spalin -4 mg/zdvih
8	Otácky motoru 1810 ot/min
9	Ovladač krticí klapky 5 %
10	Požadavek na omezení točivého momentu 0 %
11	rychlost vozidla 89 km/h
12	Snímac plnicího tlaku 1125.0 mbar
13	Snímac polohy pedálu akcelerátoru 16 %
14	Snímac teploty paliva 30 °C
15	Snímač atmosférického tlaku 988 mbar

Obrázok 4-10 Časť vektora obsahujúceho dátové riadky

V záverečnej časti zdrojového kódu (Obrázok 4-11) musíme ručne vpísať vybrané merané dáta (riadok 44) za cieľom následného vytvorenia prehľadnej matice dát a exportu do programu Microsoft excel, kde môžeme taktiež pracovať s dátami. Riadok 45 je rovnaký, ale merané dáta

sú písane bez medzier pre prípad potreby exportu premenných, kde by medzera medzi slovami mohla rozdeliť jednu premennú na viaceré.

```
42      %Merané Parametre, musím vložiť!!!
43 -    parametre = {'Akční člen EGR [%]','akčný člen variabil
44 -    parametreCAGE = {'EGRpercenta','variabilneVIRENIEperce
45      %zadelenie čísel do matice
46 -    pocet_meranych_dat = length(parametre);
47 -    for i=1:pocet_meranych_dat
48 -    DATA(:,i)=data(i:pocet_meranych_dat:end);
49 -    end
50
51      % Prehladná matica dát
52 -    DATAcell = num2cell(DATA);
53 -    prehlad = [parametre;DATAcell];
54
55 -    prehladCAGE = [parametreCAGE;DATAcell];
56 -    filename = 'namerane_data.xlsx'; %export do excelu
57 -    filename2 = 'nameraneDATAcage.xlsx'; %export do excelu,
58 -    xlswrite(filename,prehlad,'Namerané dáta','A2');
59 -    xlswrite(filename2,prehladCAGE,'nameraneDATA','A2');
```

Obrázok 4-11 Záverečná časť zdrojového kódu

Po spracovaní dát do matíc je potrebné získané dáta triediť respektíve filtrovať. Napríklad ak pozorujeme správanie zahriateho motora vyfiltrujeme všetky namerané dáta v čase kedy teplota bola nižšia ako teplota zahriateho motora.

Pri meraní dát pre následnú tvorbu palivových máp riadiacej jednotky je pre presnosť dôležitý dostatočný počet dát v širokej škále otáčok motora pri meniacich sa podmienkach (teplota vzduchu, chladiacej kvapaliny, plniaci tlak a ďalšie). Zobraziť a zhodnotiť, či dané množstvo je dostatočné, môžeme intervalom početnosti.

Ďalej by sme sa mali snažiť aby mal pri štandardnom teste medián (hodnota, ktorá rozdeľuje postupnosť podľa veľkosti zoradených výsledkov na dve rovnako početné polovice) hodnotu najbežnejších otáčok motora t. j. okolo 2000 otáčiek za minútu. Taktiež rozptyl dát (resp. priamo z neho odvodená smerodajná odchýlka), ktorý vyjadruje mieru variability, by mal byť pre tvorbu máp čo najväčší, preto zaznamenávame dáta v celej škále otáčok a niekoľko-krát.

```
61      % Zakladne statistické vlastnosti
62 -    mean_x=mean(DATA); % Stredna hodnota
63 -    std_x=std(DATA); % Smerodajna odchylka
64 -    var_x=var(DATA); % Rozptyl
65 -    min_x=min(DATA); % Minimum
66 -    max_x=max(DATA); % Maximum
67 -    med_x=median(DATA); %Median
```

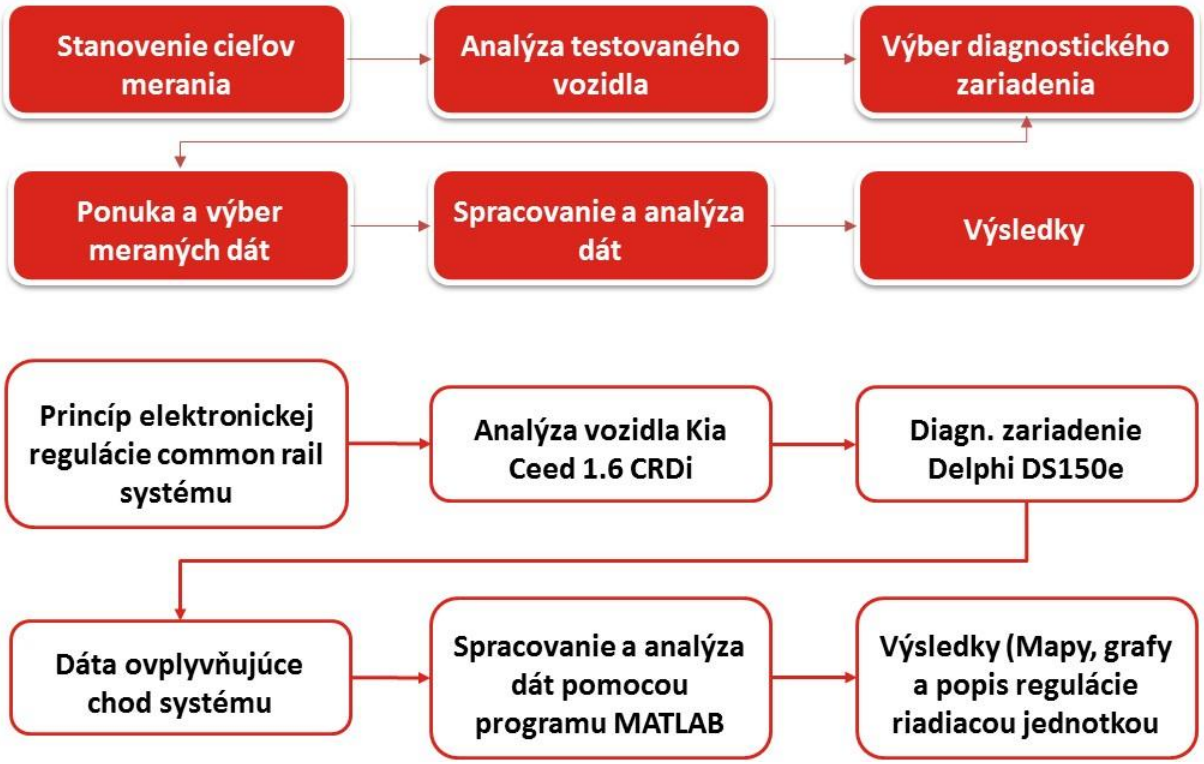
Obrázok 4-12 Základné štatistické výpočty v programe Matlab

Celý program na spracovanie v textu s popisom môžeme nájsť v prílohe P1.

Na dopočítanie chýbajúcich dát v mapách budeme využívať lineárnu interpolačnú metódu, ktorá využíva lineárny algoritmus pre multidimenzionálne interpolácie, kedy sa vykonáva lineárna interpolácia najprv v smere osy x1 a potom v smere x2 prípadne aj extrapolácia ak sa operačné body dátových polí nachádzajú mimo škály nameraných hodnôt. Treba však počítať, že pri extrapolácii môže byť chyba výpočtu omnoho vyššia. Konkrétnu prácu s nameranými dátami si ukážeme v ďalšej kapitole diplomovej práce. Všeobecne budeme vypočítavané dáta zaokrúhľovať na celé čísla keďže väčšina dát (napríklad aj množstvo vstrekovaného paliva) sú zaznamenávané v celých číslach.

5 APLIKÁCIA NAVRHNUTEJ METODIKY NA VOZIDLO KIA CEE'D SW 1.6 CRDI

V tejto kapitole aplikujeme vybranú a popísanú metodiku diagnostiky vozidla (kapitola 4) na vozidlo Kia Cee'd SW 1.6 CRDi vyrobené na Slovensku v závode Kia pri meste Žilina v roku 2010. Našim cieľom bude stanovenie ekvivalentu fungovania elektronickej regulácie common rail systému, ktoré budeme zobrazovať pomocou dátových polí - máp (tabuľky a povrchové grafy) riadiacej jednotky a rôznych ďalších závislostí. Tieto mapy, resp. ich tvar budú slúžiť ako modely máp riadiacej jednotky common rail systému v dobrej kondícii.



Obrázok 5-1 Schéma aplikácie metodiky na reálne vozidlo

5.1 POPIS VOZIDLA



Obrázok 5-2 Výber meraných prvkov common rail systému vozidla Kia Cee'd 1.6 CRDi – 1 – CP1H3 vysokotlakové čerpadlo, 2 – riadiaci člen odpojovacieho ventilu elementu čerpadla, 3 – vstrekovač CRI2-16, 4 – tlakový zásobník rail, 5 – snímač tlaku v zásobníku, 6 – škrtiaca klapka, 7 – MAF senzor (merač hmotnosti prúdiaceho vzduchu), 8 – turbodúchadlo s VGT členom, 9 – EGR ventil, 10 – MAP senzor (snímač plniaceho tlaku) a merač teploty nasávaného vzduchu, 11 – snímač polohy vačkového hriadeľa, 12 – Lambda sonda

Vozidlo Kia Cee'd teda využíva systém vstrekovania common rail od firmy Bosch. Medzi jeho hlavné súčiastky patrí vysokotlakové čerpadlo s dávkovaciou jednotkou paliva označované ako CP1H3 a elektromagnetické vstrekovače CRI2-16. Hlavou systému dosahujúceho maximálne tlaky v raily do 1600 barov je riadiaca jednotka s označením EDC16C39. Ďalšie vybrané diely, senzory a akčné členy common rail systému patriaceho do pomyselnej 2. generácia môžeme pozorovať na obrázku 5-2.

Čo sa týka vlastností auta, motor dosahuje maximálny výkon 85 kW v otáčkach 4000 min^{-1} a maximálny točivý moment 255 Nm v škále otáčok od 2000 min^{-1} do 2750 min^{-1}.

Pre správnu a kompletnú diagnostiku zahrňujúcu okrem sériového získavania dát aj napríklad meranie priamo na komponentoch (napríklad napätie na vstrekovačoch osciloskopom) nielen tohto vozidla je potrebné vedieť lokalizovať a rozumieť úlohám jednotlivých komponentov systému podobne ako na obrázku 5-2.

5.2 VOĽBA MERANÝCH DÁT

Pri diagnostike riadiacej jednotky systému common rail sme sa zamerali na spôsob výpočtu množstva vstrekovaného paliva, ktoré je ovládané kvalitatívne, to znamená, že nemeníme množstvo zmesi ako u zážihových motoroch, ale meníme množstvo vstrekovaného paliva, čím

sa dostávame širokého rozpätia pomerov palivo-vzduch. Samotné vstrekovanie záleží na viacerých parametroch ako sú žiadosť vodiča (poloha plynového pedálu), aktuálne otáčky motora, množstvo vzduchu prúdiaceho do motora (získavané vďaka *MAF* senzoru – meraču hmotnosti nasávaného vzduchu a *MAP* senzoru – snímaču plniaceho tlaku), teplota motora, teplota paliva, teplota nasávaného vzduchu, požiadavka na prudkú akceleráciu, prípadne zohrievanie katalyzátora, či u modernejších vozidiel filtra pevných častíc.

Pre potreby analýzy riadiacej jednotky vstrekovacieho systému common rail sme u testovaného vozidla vybrali z ponuky zaznamenávanie nasledujúcich údajov:

- rýchlosť vozidla,
- snímač plniaceho tlaku,
- snímač polohy pedálu akcelerátoru,
- snímač teploty paliva,
- snímač atmosférického tlaku,
- teplota nasávaného vzduchu,
- tlak paliva v zásobníku,
- vypočítané zaťaženie motora,
- akčný člen EGR,
- akčný člen ventilu VGT,
- aktuálna teplota motora,
- aktuálne vstrekované množstvo,
- hmotnosť pretekajúceho vzduchu pre valec,
- kontrolór recirkulácie spalín,
- otáčky motora,
- ovládač škrtiacej klapky,
- akčný člen variabilného vírenia.

Vybrali sme celkovo až 18 druhov zaznamenávaných dát týkajúcich sa chodu motora. I keď nie všetky budú pre momentálne ciele potrebné, uložené testy budú použiteľné aj pri analýze iných systémov ako napríklad fungovania EGR ventilu a ďalších. Treba však byť opatrný s množstvom meraných dát, pretože čím viac dát, tým menšia frekvencia zapisovania, čo môže byť pri niektorých testoch kontraproduktívne.

Z týchto získavaných dát budeme v ďalšej časti tvoriť dátové mapy riadiacej jednotky pre výpočet množstva vstrekovaného paliva, ktoré by sa mali čo najviac podobať skutočným mapám riadiacej jednotky auta Kia Cee'd 1.6 CRDi.

5.3 TEST VOZIDLA

V našom prípade, kedy sa zameriavame na fungovanie riadiacej jednotky vstrekovacieho systému common rail, si vyberieme v ponuke softvéru Delphi test riadiacej jednotky motora s kódom D4FB a zvolíme zaznamenávané vybrané dáta vypísané v časti 5.2.

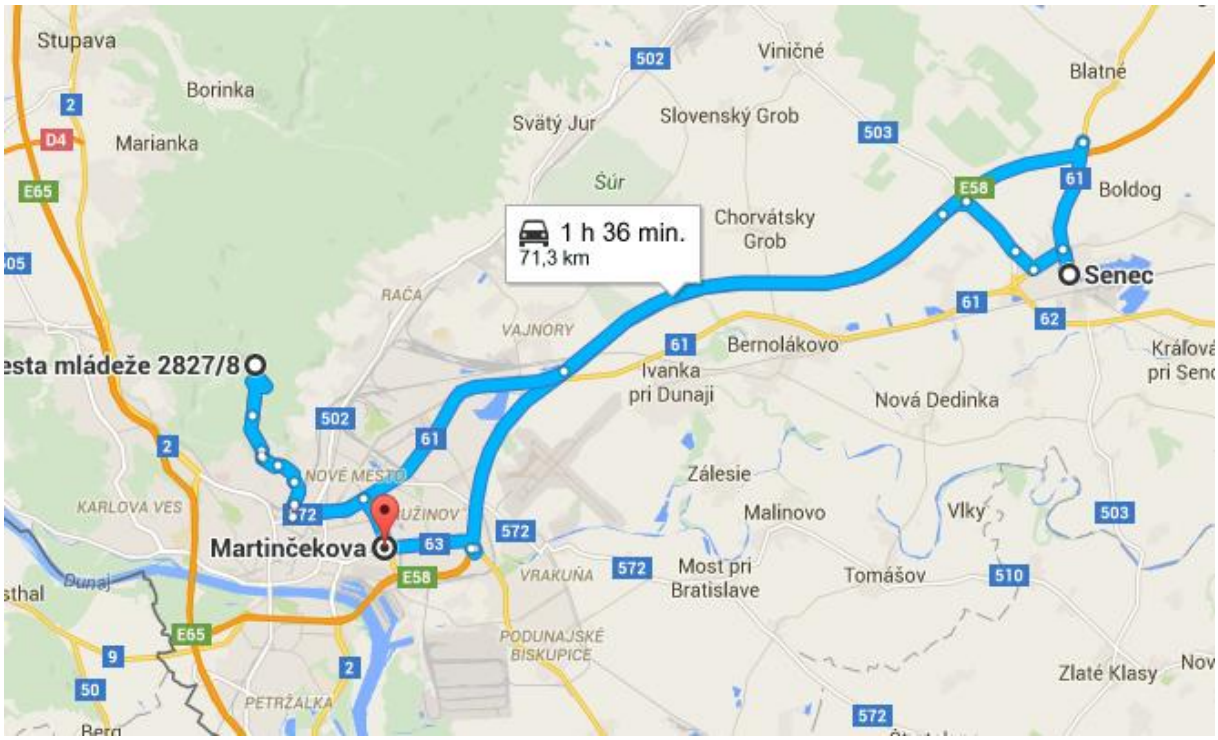
Keďže potrebujeme dáta v širokej škále otáčok v čo najrôznejších podmienkach, môžeme testovanie rozdeliť do viacerých fáz. Pre diagnostiku Kie Cee'd sme rozdelili testovanie na 5 základných fáz:

- štart motora,

- zohrievanie motora na neutrály,
- jazda vozidlom zo studeného štartu,
- jazda vozidlom pri optimálnej teplote motora,
- jazda po premenlivom profile vozovky,

Ďalej postupujeme podľa navrhnutej metodiky v kapitole 4 a zvolili sme víkendovú jazdu po diaľnici a mestskom diaľničnom obchvate, pričom sme jazdili v celej škále otáčiek a s rôznymi polohami plynového pedálu bez prudkého akcelerovania. Pre čo najlepšie vyplnenie dát v mapách sme pridali aj jazdu v kopcovitom teréne, kde sme dosahovali odlišné pomery medzi polohou plynového pedálu a otáčkami motora ako pri rovinatých úsekoch.

Na záver je dobré doplniť merania o diagnostické meranie zohrievaného motora pri zaradenom neutrály, z ktorého vyplývajú niektoré údaje ako napríklad korekcia množstva vstrekovaného paliva pri zmene teploty chladiacej kvapaliny motora a nasávaného vzduchu. Absolvovanú trasu môžeme vidieť na obrázku 5-3.



Obrázok 5-3 Trasa meraná diagnostickým zariadením - časť 1: Bratislava - Senec - Bratislava (jazda vozidlom zo studeného štartu a jazda vozidlom s optimálnou teplotou motora), časť 2: Bratislava centrum – Malé Karpaty – Bratislava centrum (jazda po premenlivom profile vozovky)

5.4 SPRACOVANIE A ANALÝZA ZÍSKANÝCH DÁT

Ako bolo spomenuté, cieľom tejto časti diplomovej práce je stanovenie ekvivalentu fungovania elektronickej regulácie common rail systému na základe nameraných dát bežne dostupným diagnostickým zariadeným a príslušnými softvérmi a to konkrétne tvorením palivových máp na výpočet množstva vstrekovaného paliva a pozorovaním závislostí údajov zo snímačov tohto systému. Tento ekvivalentný model spolu s celou metodikou diagnostiky pohonnej jednotky

systému poslúži pre výskumné účely (algoritmus pre výpočet množstva vstrekovaného paliva), ale aj pre účely servisné, kedy bude môcť užívateľ aplikovaním metodiky diagnostiky na svoje vozidlo zistiť správnosť činnosti systému na základe porovnávania s vypracovanou analýzou v tejto diplomovej práci.

Výpočet množstva vstrekovaného paliva rozdelíme na 3 časti súvisiace s chodom motora a to na:

- výpočet štartovacej dávky,
- výpočet dávky na voľnobehu,
- výpočet dávky pri režime jazdy.

Ďalšia práca s dátami podobne ako aj ich spracovanie prebiehalo vo výpočtovom programe Matlab, ale aj za pomoci štatistického programu Excel od Microsoftu.

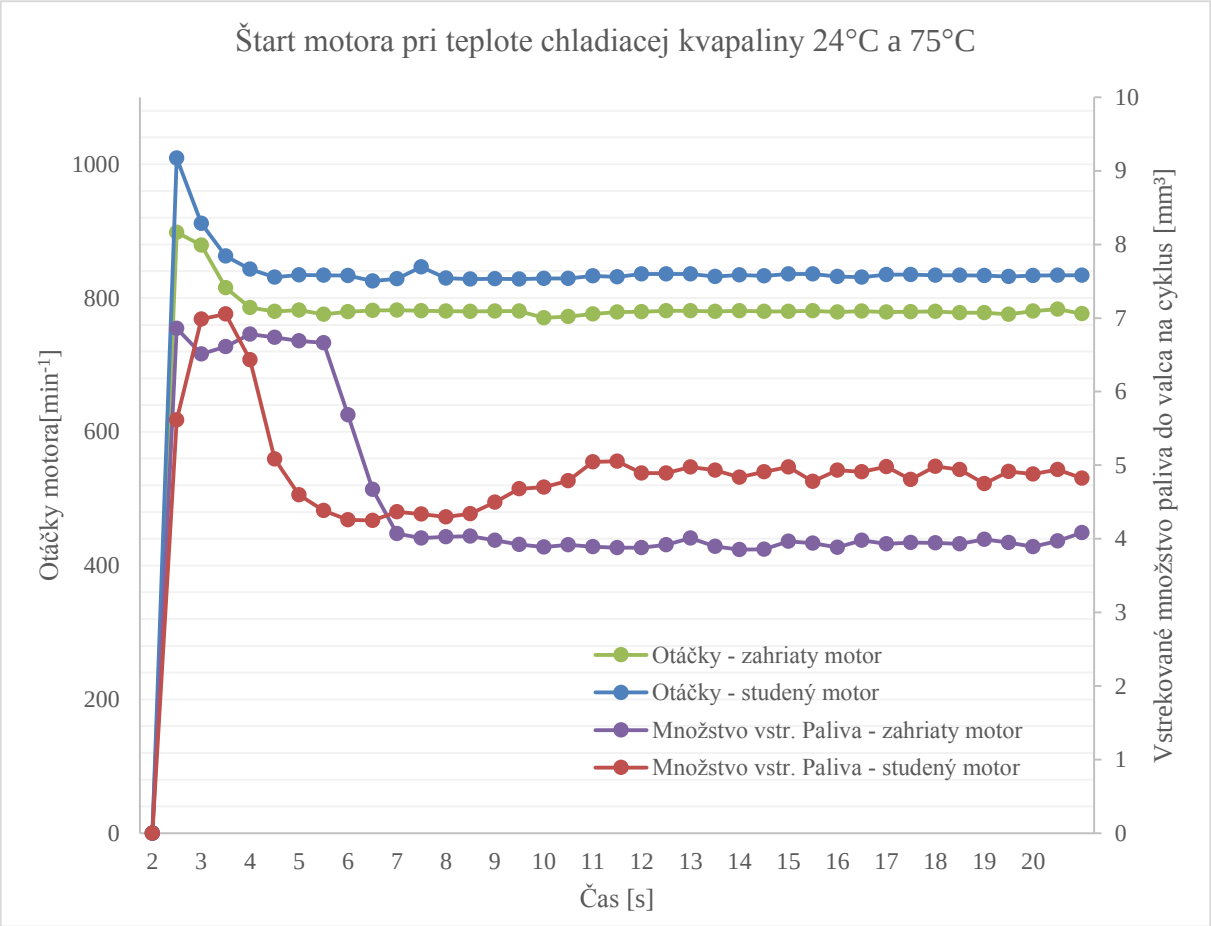
5.4.1 VÝPOČET MNOŽSTVA VSTREKOVANÉHO PALIVA PRI ŠTARTE

Pri štarte motora je štartovacia dávka paliva závislá na otáčkach a prevádzkových teplotách motora (teplota motora, vzduchu a paliva). Z nameraných teplôt sú tabuľkovo vypočítané minimálne otáčky a po štarte kedy je počas prvých cyklov množstvo vstrekovaného paliva väčšie a otáčky vyššie, sa začne toto vstrekované množstvo každým cyklom postupne znižovať až kým sa dosiahnu požadované otáčky z mapy riadiacej jednotky. Táto dávka je premenlivá nielen v závislosti na teplote ale aj na zaťažení motora, ktoré sa mení zapnutím/vypnutím spotrebičov, ale aj napríklad na opotrebovaní motora.

Štartovací tlak paliva v raili je u vozidiel s common rail systémom približne 300 barov a pokiaľ nie je dosiahnutý motor nenaštartuje. Vodič nemá na štartovaciu dávku žiadny vplyv.

Pomocou diagnostického zariadenia ELM 327 a softvéru Torque Pro v Android telefóne, ktoré je pre tento test vhodnejšie pre vyššiu presnosť merania vstrekovanej dávky a dostatočnú ponuku meraných dát, meriame dáta už pred štartom so zapnutým zapaľovaním (aby sme mohli nastaviť diagnostické zariadenie, ktoré nekomunikuje s riadiacou jednotkou ak nie je zapnuté zapaľovanie) ako aj počas štartovania a krátko po štarte. Keď sa vstrekovaná dávka a otáčky ustália môžeme testovanie ukončiť a spracované výsledky môžeme hodnotiť.

Obrázok 5-4 teda potvrdzuje navrhnutý spôsob výpočtu vstrekovanej dávky pri štarte motora. Podstatný je prudký nárast otáčiek a množstva vstrekovaného paliva a ich následné zníženie na ustálenú hodnotu. EGR ventil je počas štartovacieho režimu a ustaľovania chodu otvorený na 45% aby bol motor zahrievaný rýchlejšie a zároveň slúži aj na zlepšenie emisií keďže systém vstrekuje viac paliva a katalyzátor výfukových plynov ešte nie je dostatočne zahriaty a neplní svoju funkciu. Po ustálení dávky sa EGR ventil zavrie (akčný člen EGR zobrazuje hodnotu 5%). Ďalej môžeme pozorovať, že štartovacie otáčky a množstvo vstrekovaného paliva závisia na teplote motora, kedy sa jej zvýšením otáčky a štartovacia dávka klesá.



Obrázok 5-4 Priebeh otáčok motora a množstva vstrekovaného paliva pri štarte

5.4.2 VÝPOČET VSTREKOVANEJ DÁVKY NA VOĽNOBEHU

Optimálny priebeh jazdy na voľnobehu je veľmi podstatný, keďže v mestskej premávke strávime v tomto režime množstvo času. Cieľom je čo najmenšia spotreba paliva s čo najmenšími otáčkami, avšak voľnobeh musí byť nastavený tak, aby otáčky nepadali a motor nezhasínal v rôznych podmienkach ako sú studený motor, veľké zaťaženie palubnej siete alebo zaradená rýchlosť u vozidiel s automatickou prevodovkou.

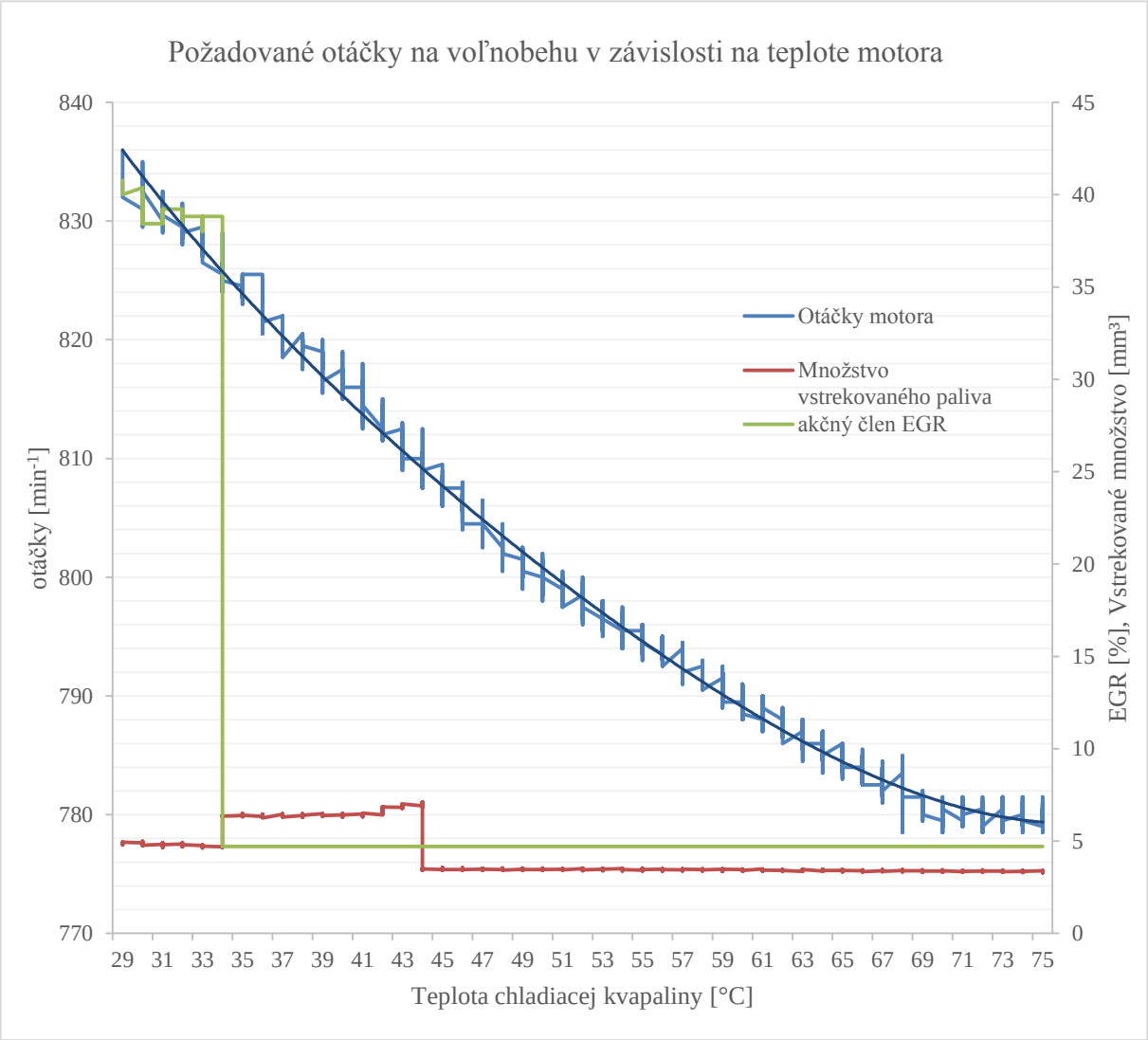
Z tohto dôvodu obmeňuje regulátor voľnobehu vstrekovanú dávku tak aby sa reálne merané otáčky zhodovali so žiadanými, ktoré sa pre dané prevádzkové teploty nachádzajú v palivových mapách.

Nameranú teplotu paliva do výpočtov rátať nebudeme keďže počas testovania zostáva na pomerne konštantnej úrovni.

Samotný test prebiehal v zime za vonkajšej teploty približne 10 °C. Prvým zaujímavým pozorovaním bolo, že vznetový motor sa zahrieva na voľnobehu a to najmä v zime veľmi pomaly, kedy teplota chladiacej kvapaliny stúpala z 28°C na 75°C počas 35 minút.

Ďalej môžeme pozorovať, že tak ako pri štarte aj počas prvých spaľovacích cykloch po zaradení neutrálu, kedy dochádza k ustáleniu na požadované otáčky znižovaním vstrekovacej dávky, je EGR ventil otvorený, po krátkom čase resp. po určitom zohriatí motora, sa ventil opäť uzavrie.

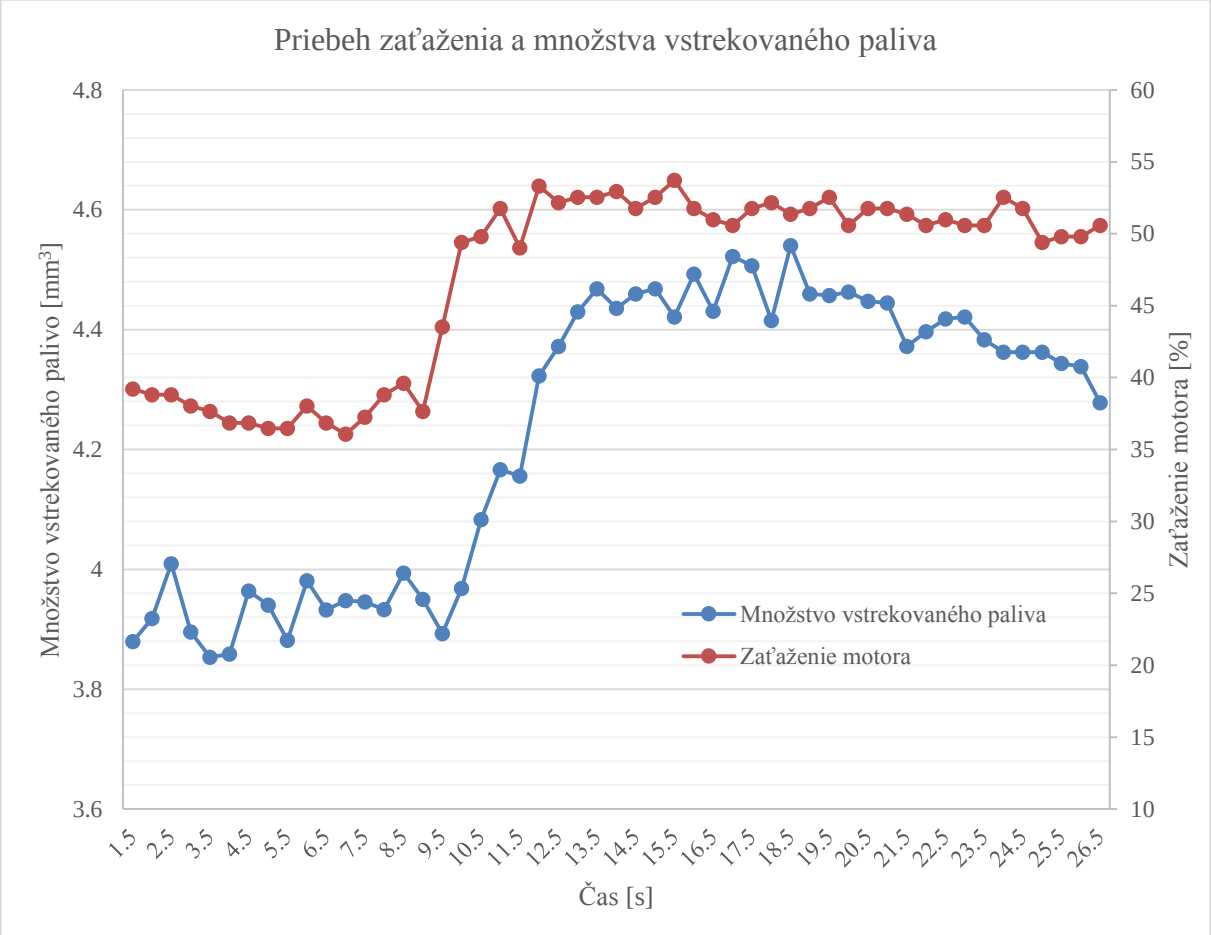
Taktiež snímač plniaceho tlaku a hmotnosť nasávaného vzduchu sa udržujú na stálych hodnotách a to pre meraný motor so zdvihovým objem 1,6 l na hodnotách približne 400mg/zdvih resp. 1 bar, čo znamená, že motor na voľnobehu prakticky nie je preplňovaný. Tlak v raili je podobný tomu štartovaciemu a to okolo 300 bar.



Obrázok 5-5 Priebeh vybraných veličín počas režimu voľnobehu

Ako môžeme pozorovať na obrázku 5-5, požadované otáčky s narastajúcou teplotou chladiacej kvapaliny postupne klesajú spolu s množstvom vstrekovaného paliva a ich ustálenie nastane od teploty chladiacej kvapaliny približne 73 ºC. Ďalej vidíme, že určitý čas, kým nedôjde k zahriatiu teploty motora na úroveň približne 35 ºC dochádza k recirkulácii spalín cez EGR ventil, čo urýchľuje zvyšovanie teploty motora a zlepšuje emisie. Po jeho uzavretí dochádza na určitý čas (od teploty 35 ºC až 44 ºC) k prudkému zvýšeniu vstrekovanej dávky. Keďže otáčky naďalej klesajú, predpokladáme, že k vstrekovaniu dochádza v rámci cyklu neskôr z dôvodu zohrievania výfukových plynov, ktoré majú zrýchliť zohrievanie katalyzátora na teploty, kedy dochádza k redukciám emisií. Z dôvodu chýbajúcej informácie o teplote výfukových plynov, resp. časovom priebehu vstrekovania nie je možné tento predpoklad potvrdiť s úplnou istotou.

Test voľnobehu bude slúžiť aj pre odhad korekcií prevádzkových teplôt na výpočet množstva vstrekovaného paliva, ktorý ďalej využijeme pri tvorbe palivových máp pri režime jazdy.



Obrázok 5-6 Zmena zaťaženia a vstrekovaného množstva pred a po zapnutí klimatizácie

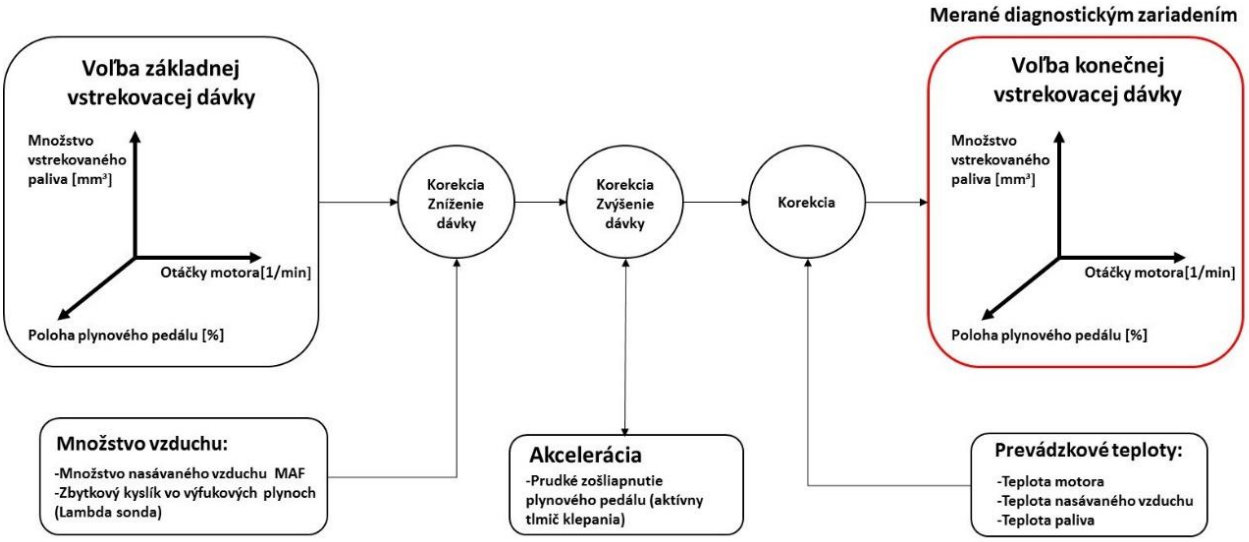
Na záver je možné využiť test na voľnobehu pre jeho stálosť na pozorovanie ďalších vplyvov na chod motora ako je napríklad zaťaženie palubnej siete. Na obrázku 5-6 pozorujeme zvýšenie zaťaženia motora a vstrekovanej dávky po zapnutí klimatizácie o približne 0,7 % a 0,5 mm^3.

5.4.3 VÝPOČET DÁVKY VSTREKOVANÉHO PALIVA PRI REŽIME JAZDY

Obrázok 5-7 zobrazuje navrhnutú schému riadenia množstva vstrekovaného paliva u vozidiel so systémom vstrekovania common rail, ktorá je ekvivalentom skutočnej elektronickej regulácie tohto systému. Ako vidíme výpočet konečnej vstrekovanej dávky nám ovplyvňuje množstvo faktorov ako sú prevádzkové teploty, množstvo nasávaného vzduchu, či akcelerácia za cieľom lepšieho chodu motora a emisií.

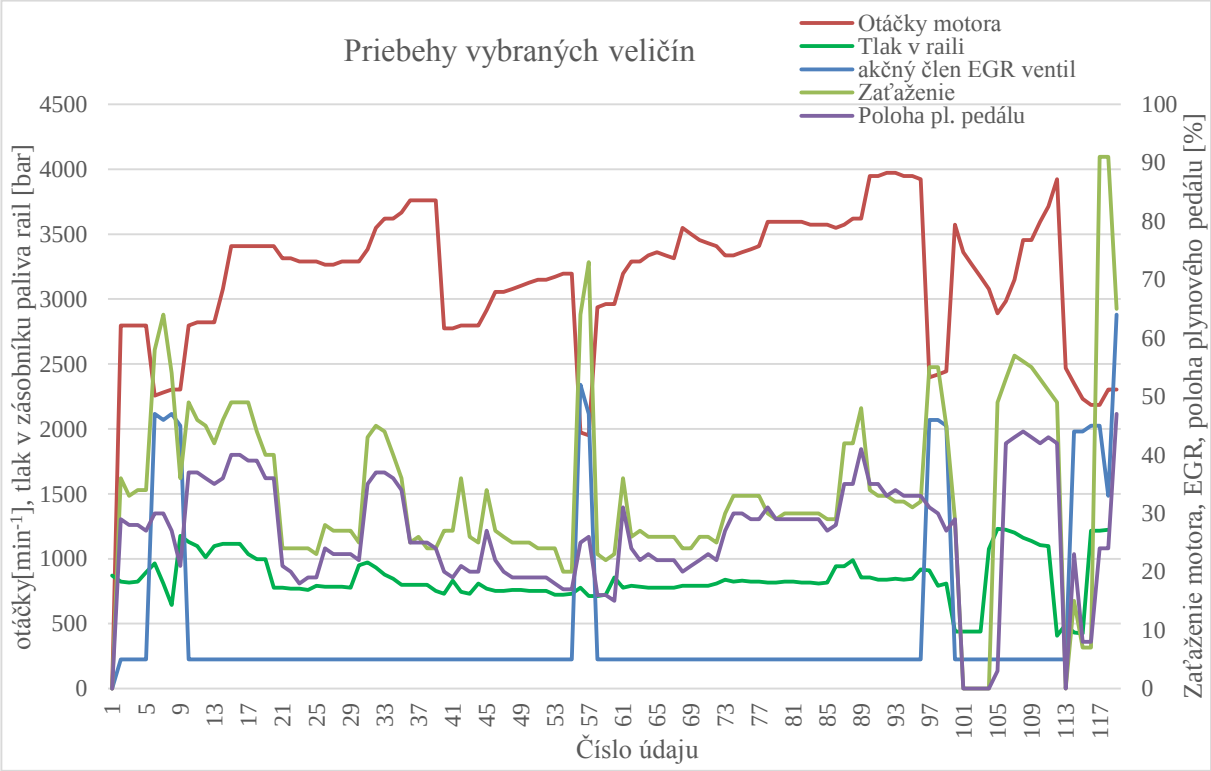
Pomocou vhodného postupu a práce s nameranými dátami sa postupne dostaneme z časti nameranej a správne dopočítanej palivovej mapy konečnej vstrekovacej dávky (Obrázok 5-7

červený rámček) až k výpočtu jednotlivých korekcií dávky a základnej palivovej, kde množstvo vstrekovanej dávky závisí v podstate len na polohe plynového pedálu a otáčkach motora.



Obrázok 5-7 Schéma riadenia množstva vstrekovaného paliva

Pozorovanie systému



Obrázok 5-8 Priebeh vybraných veličín systému

Ako prvý krok pred určovaním závislostí veličín a tvorbou máp v režime jazdy je vhodné pozorovanie vývoja systému vykreslením priebehu podstatných prvkov. Týmto pozorovaním

by sme mali potvrdiť navrhnutý ekvivalent fungovania elektronickej regulácie systému alebo sa ním dá kontrolovať správne fungovanie jednotlivých prvkov systému napríklad pre servisné účely.

Na obrázku 5-8 teda vidíme priebeh vybraných veličín common rail systému, ktoré môžeme v závislosti od potrieb obmieňať (väčšie množstvo meraných prvkov by zvyšovalo neprehľadnosť grafu). Ako vidíme, ich priebeh závisí hlavne od polohy pedálu, ktorý reprezentuje požiadavku vodiča na výkon, ktorý je zobrazený v podobe vypočítaného percentuálneho zaťaženia motora (pomer aktuálneho množstva nasávaného vzduchu s maximálnym možným pre dané atmosférické podmienky prípadne percentá z maximálneho točivého momentu pre dané otáčky motora), ktorého určitá hodnota vypočítaného zaťaženia reprezentuje hranicu, od ktorej je vstrekovaná dávka obohacovaná.

Krivka polohy plynového pedálu, zaťaženia motora a tlaku v zásobníku raili by mali mať rovnaký priebeh. Tlak paliva v raili, na ktorom závisí dĺžka vstreku (čím väčší tlak tým kratšie vstrekovanie) je regulovaný regulačným ventilom tlaku, ktorý prispôsobuje tlak zaťaženiu, kedy pri nízkych zaťaženiach a otáčkach je vysoký tlak (ktorý skracuje dĺžku v streku) v raili nepotrebný a nežiadúci z hľadiska zbytočného odoberania výkonu na stláčanie paliva do zásobníka vysokotlakovým čerpadlom.

Ďalej je z obrázku 5-8 možné pozorovať správanie EGR ventilu recirkulácie spalín. Po prudkom poklese otáčiek pod hodnotu približne 2500 min^{-1} a zároveň percentuálnom poklese polohy plynového pedálu sa EGR ventil otvára čo znižuje maximálne množstvo nasávaného vzduchu a tým sa zvyšuje percentuálne zaťaženie motora, keďže maximálny dosiahnuteľný točivý moment v daný moment je pri otvorenom EGR ventile nižší. V ďalších prípadoch je EGR ventil vždy zatvorený keďže je požadovaný zvýšený výkon motora.

ZÁKLADNÉ DÁTOVÉ POLIA BEZ KOREKCIÍ MNOŽSTVA VSTREKOVANÉHO PALIVA

Po prvotnej analýze priebehu vybraných meraných veličín získame správnym postupom ako prvé z konečnej palivovej mapy základnú mapu kde je vstrekované množstvo korigované len mapou čmudenia, kde môže byť dávka paliva limitovaná iba množstvom nasávaného vzduchu pomocou MAF senzora. Za týmto cieľom budeme pracovať s dátami nameranými počas jazdy, pri ktorej nebola využívaná prudká akcelerácia, keďže vplyv tejto veličiny by bolo filtráciou dát veľmi zložité zistiť.

Filtrovanie dát a kontrola splnenia požiadavok

Namerané dáta, musíme ako prvé roztriediť do skupín a následne štatistickými metódami zhodnotiť dostatočnosť a kvalitu dát. Správne filtrovanie dát je základom pre vytvorenie čo najpresnejších máp. Vynechanie čo i len jedného filtra môže podstatne zmeniť vypočítané dátové polia. Na triedenie dát využijeme program Matlab. Pre získanie základnej palivovej mapy a ďalších nadväzujúcich máp aplikujeme nasledujúce filtre za cieľom čo najmenších vplyvov niektorých komponentov systému na vstrekovanú dávku:

- Otáčky motora vyššie ako 1500 min^{-1}

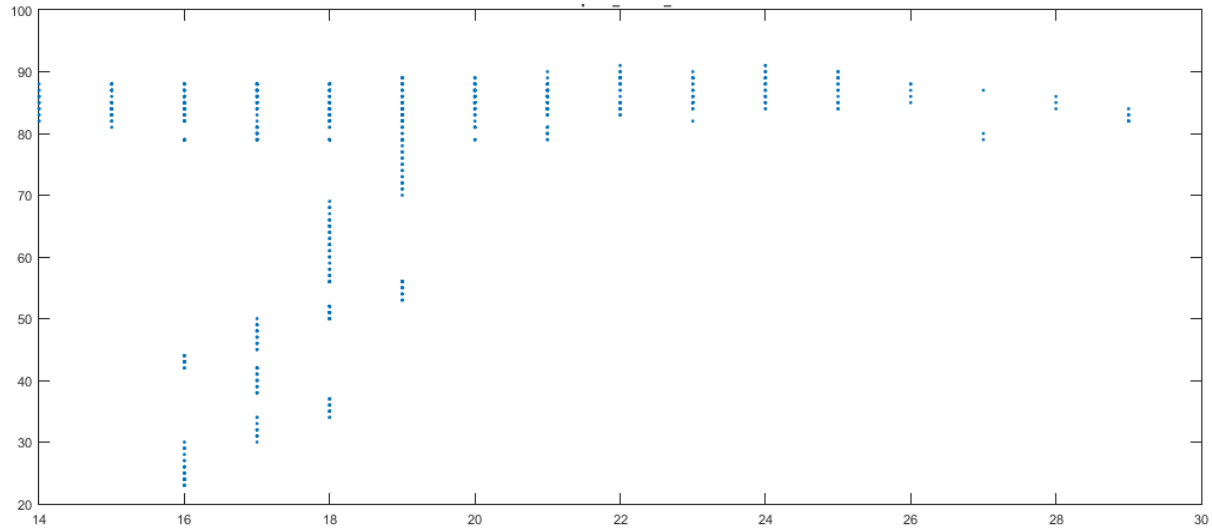
Vylúčením všetkých riadkov v matici dát obsahujúcich otáčky menšie ako 1500 za minútu sa zbavíme jazdného režimu na voľnobehu a otáčiek v ktorých by sa vznetový motor nemal nachádzať.

- Teplota chladiacej kvapaliny vyššia ako 75 °C

Zbavíme sa dát nameraných počas zahrievania motora. Teplotu 75 °C považujeme za dostačujúcu aj vďaka diagnostickému testu v režime na voľnobehu, kedy vstrekovaná dávka a otáčky v závislosti na teplote motora dosiahli minimálnu hodnotu (Obrázok 5-5).

- Teplota nasávaného vzduchu od 18 °C do 25 °C

Pre správny výpočet vstrekovanej dávky paliva, ktorá by mala byť v správnom pomere s množstvom vzduchu prúdiacim do valca, je dôležitá aj teplota nasávaného vzduchu, ktorá má vplyv na jeho hustotu a tlak a tým aj na množstvo kyslíka vo valci a zároveň aj na odpariteľnosť paliva. Určenie filtru záleží na počasí, v ktorom sme test vykonávali. Pokiaľ bol diagnostický test vykonávaný v zime je vhodné určiť si iné základné nekorigované teploty ako v lete, keďže s vyššími teplotami by sme vylúčili veľké množstvo dát pre dotvorenie dostatočne presných palivových máp. Najvhodnejšie je určiť si intervaly teplôt v rôznych rozsahoch a interval do ktorého spadá najväčšie množstvo dát určiť ako základný (obrázok 5-9), toto zobrazenie nám môže skresľovať opakovanie nameraných dát pri rovnakej teplote vzduchu a chladiacej kvapaliny. V našom prípade, kedy sa chceme dopracovať ku čo najlepšej základnej palivovej mape som teda zvolil tento interval do ktorého spadá podstatná časť údajov pri zahriatom motore.

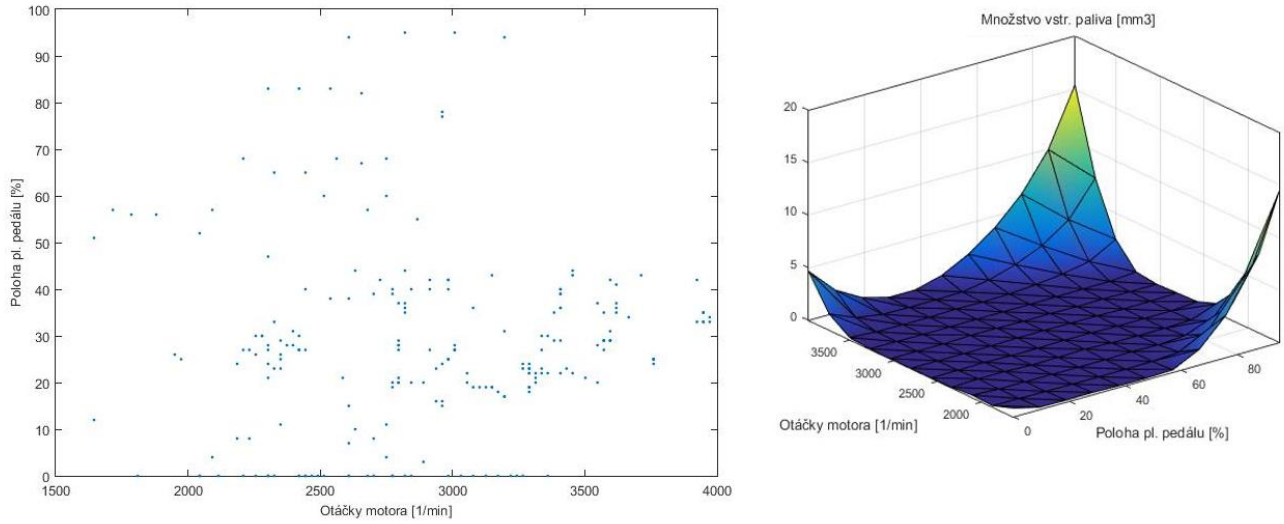


Obrázok 5-9 Rozloženie nameraných dát v daných teplotách (základná osa - teplota nasávaného vzduchu, vedľajšia osa – teplota motora)

Ďalej po filtrácií, skontrolujeme kvalitu a dostatočnosť počtu dát pre výpočet palivovej mapy závislej na otáčkach motora a polohe plynového pedálu. Priemer a smerodajná odchýlka, meradlo štatistickej disperzie, je u otáčiek 2900 min^{-1} resp. 530 min^{-1} a u polohy plynového pedálu 28,4 % resp. smerodajná odchýlka 20,4 %, čo predbežne považujeme za postačujúce (priemer na úrovni priemeru pri bežnom jazdení a pomerne dobrá disperzia dát). Ďalej skontrolujeme rozloženie dát (Obrázok 5-10 vľavo). Niektoré dávky paliva, by mohli byť napriek aplikovaní všetkých filtrov korigované vďaka určitej zmene v systéme, ktorú mohol zapríčiniť signál zo senzora, z ktorého údaje nie sme schopný získať alebo nie je jasný vplyv na systém. Tieto korekcie by však nemali byť mnohopočetné, keďže údaje z najdôležitejších senzorov systému sme schopný získať. Presnosť mapy v celej škále otáčiek a polohe plynového pedálu by sme samozrejme zvýšili väčším počtom dát, napríklad väčším počtom

diagnostických testov vozidla za jazdy a ich spojením do matice dát, avšak pre stanovenie ekvivalentných palivových máp a vyhodnotenie ich tvaru považujeme naše rozloženie a početnosť dát za dostačujúce.

Ako môžeme ďalej pozorovať, pri väčšom stlačení plynového pedálu a okrajových otáčkach máme malý počet dát, z čoho logicky rastie aj predikcia výpočtovej chyby (možná chyba pri dopočítavaní modelu medzi skutočnou hodnotou a vypočítanou hodnotou v palivovej mape) v týchto oblastiach (Obrázok 5-10 vpravo). Avšak meranie v krajných hodnotách otáčiek a polohe plynového pedálu môže byť v cestnej premávke nebezpečné, preto nepovažujeme za vhodné logovať veľa dát v týchto oblastiach za cieľom získania presnejšej palivovej mapy na úkor bezpečnosti premávky.



Obrázok 5-10 Rozloženie nameraných bodov (vľavo) a vyplývajúca predikcia chyby (vpravo)

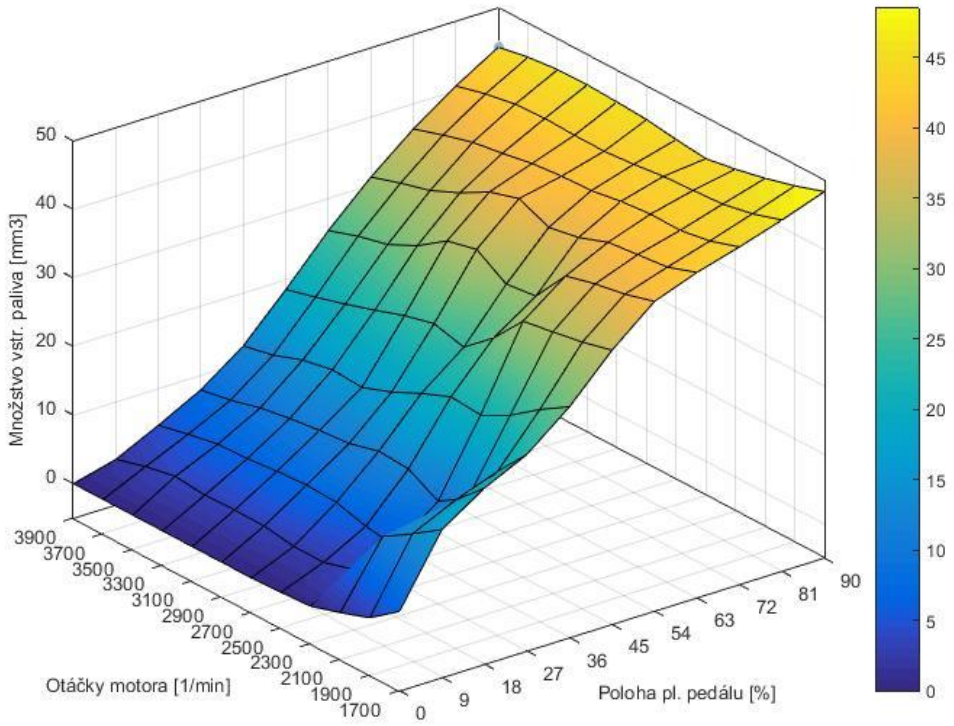
Tvorba palivových máp

Tvorbu palivových máp si ukážeme na príklade vytvorenia základnej palivovej mapy (obrázok 5-11) Po vyfiltrovaní nežiadúcich riadkov z matice dát sme pomocou programu Matlab kalibrovali tabuľky (dátové polia) pre vytvorenie palivových máp. Ako prvé nastavíme operačné body tabuľky otáčok od 1700 min^{-1} do 3900 min^{-1} a polohy plynového pedálu od 0 % do 90 % z už zmienenej dostatočnej početnosti dát v tejto oblasti. Rozmer mapy nastavíme 12 riadkov otáčiek na 11 stĺpcov polôh plynového pedálu. Toto rozdelenie volíme podľa rozsahu dát, množstva dát a dôležitosti palivovej mapy. V prípade širšej škály a väčšieho množstva dát volíme vyšší počet uzlových bodov. U auta býva najmä táto v podstate najdôležitejšia mapa ešte rozmerovo rozsiahlejšia, ale treba brať v úvahu, že aj škála otáčiek je širšia a presnosť vstrekov vyššia ako v našom prípade kedy túto informáciu dostávame prostredníctvom diagnostického zariadenia iba v tvare celého čísla. Následne pomocou vstavaných funkcií programu Matlab lineárne interpolujeme (prípadne mimo nameranej oblasti extrapolujeme) namerané hodnoty na hodnoty v operačných bodoch tabuľky, čo sa prejaví rovinnými plochami medzi operačnými bodmi. Zároveň pre plochy nastavíme zjemnenie („*smoothing*“) na hodnotu aby maximálny rozdiel medzi nameranými dátami a vypočítanými dátami zvaný štandardná chyba odhadu bola 1, keďže aj hodnota množstva vstrekovaného paliva je vo formáte celého

čísla. Z tohto dôvodu, ale aj z dôvodu lepšej prehľadnosti budeme uvádzať všetky palivové mapy taktiež v celých číslach.

Základná palivová mapa

Základná palivová mapa zohľadňuje pri výpočte vstrekovanej dávky do valca polohu plynového pedálu a otáčky motora bez vplyvov korekcií, resp. v podmienkach kedy korekcie násobia dávku číslom 1. V našom prípade však ako základnú mapu nezobrazujeme prvotnú mapu v riadiacej jednotke zohľadňujúcu iba tieto veličiny, ale zahŕňa v sebe aj mapu čmudenia, kedy je vstrekovaná dávka limitovaná množstvom nasávaného vzduchu (merané MAF senzorom v spolupráci s MAP senzorom) a môžeme ju nazývať ekvivalentnou základnou mapou pretože sme eliminovali vplyv korekcií na dávku naším návrhom ideálnych podmienok (teplota nasávaného vzduchu, paliva a motora), ktoré sa však môžu líšiť od tých skutočných. Princíp výpočtu dávky však zostáva rovnaký.



Obrázok 5-11 Základná palivová mapa

Obrázok 5-11 a tabuľka 5-1 teda zobrazujú výpočet vstrekovanej dávky na základe polohy plynového pedálu reprezentujúcu žiadosť vodiča a aktuálnych otáčok motora spolu s limitom vstrekovanej dávky na základe množstva nasávaného vzduchu. Riadiaca jednotka príjma zo senzorov aktuálne otáčky motora a polohu plynového pedálu čím je z dátového poľa vybraná (v prípade, že je medzi uzlovými hodnotami lineárnou aproximáciou) konkrétna hodnota množstva vstrekovaného paliva. Avšak v daný moment vstupujú informácie o aktuálnych otáčkach a množstve nasávaného vzduchu do druhej mapy, kde je nájdená hodnota maximálneho množstva vstrekovaného paliva pre dané množstvo vzduchu. V prípade, že hodnota z mapy otáčky – poloha plynového pedálu je vyššia ako hodnota z mapy otáčky –

hmotnosť nasávaného vzduchu (tzv. „*smoke map*“) je táto dávka limitovaná na hodnotu danú práve zo *smoke map*. Pomer palivo-vzduch je kontrolovaný a prípadne aj upravovaný aj lambda sondou.

Vypočítané výsledky dosiahli očakávaných hodnôt a z tabuľky ako aj z obrázku mapy môžeme konštatovať, že množstvo vstrekovanej dávky závisí najmä na polohe plynového pedálu kedy s jeho rastúcim stlačením množstvo vstrekovaného paliva prudko stúpa. Podobne, ale v opačnom zmysle, je to aj v nižších percentách polohy plynového pedálu, kde so znižujúcimi sa otáčkami (najmä pod 2000 min^{-1}), množstvo vstrekovaného paliva pomerne prudko stúpa a to z dôvodu, že riadiaca jednotka povoľuje bohatšiu zmes paliva a vzduchu v týchto častiach dátových polí.

Tabuľka 5-1 Základná palivová mapa - dátové polia

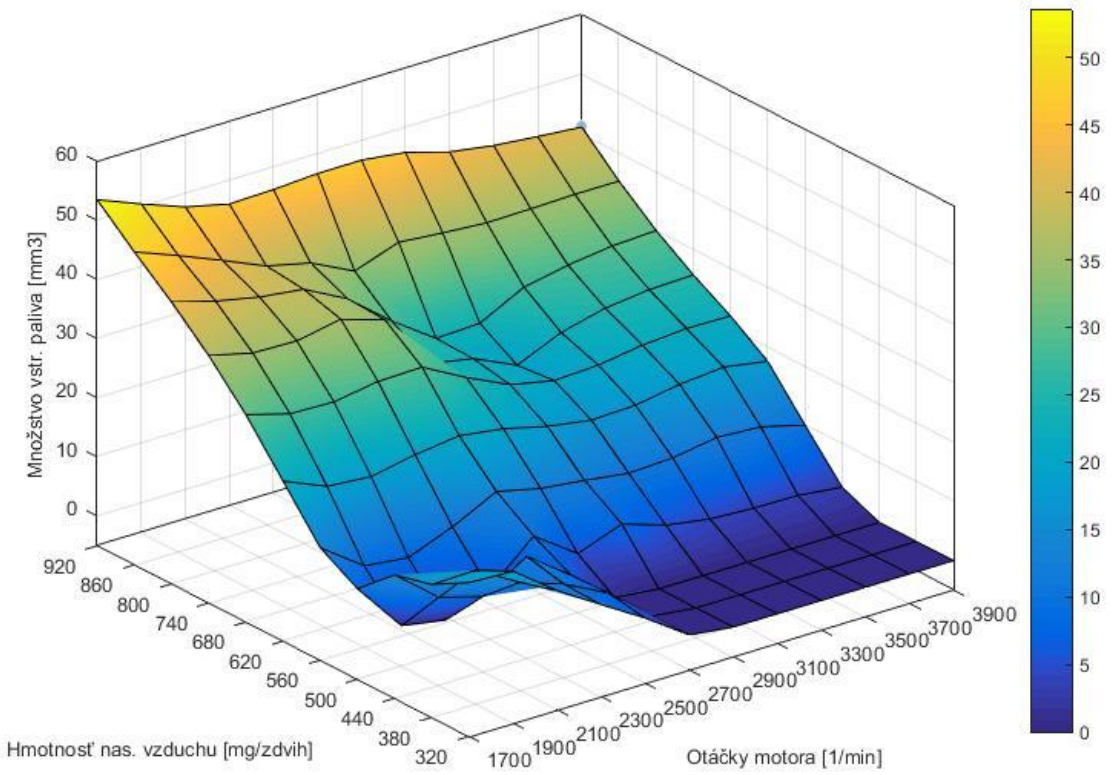
Vstr. Palivo [mm³]	**Poloha plynového pedálu [%]**										
Otáčky[1/min]	**0**	**9**	**18**	**27**	**36**	**45**	**54**	**63**	**72**	**81**	**90**
1700	7	17	21	24	29	35	40	42	44	46	48
1900	3	14	17	19	26	34	39	41	43	45	47
2100	2	11	10	13	23	33	38	41	42	44	46
2300	0	4	5	10	21	32	37	40	42	44	45
2500	0	3	6	12	21	28	32	38	42	43	44
2700	0	3	7	13	19	24	31	38	41	43	45
2900	0	3	7	12	17	25	34	40	41	43	45
3100	0	3	7	11	15	24	33	38	40	43	46
3300	0	3	7	11	16	23	30	36	40	43	46
3500	0	4	6	10	15	21	28	34	39	43	46
3700	0	3	6	9	13	20	27	33	38	42	45
3900	0	2	5	8	12	19	25	31	36	41	44

Mapa čmudenia

Ako už bolo spomenuté, množstvo vstrekovaného paliva je limitované množstvom nasávaného vzduchu. Informácie o množstve nasávaného vzduchu získavame vďaka MAF senzoru. Neobmedzovanie vstrekovaného množstva v závislosti na množstve nasávaného vzduchu by sa prejavilo najmä typickými tmavými výfukovými plynmi, ktoré sú nežiadúce vzhľadom k zdraviu človeka a ochrane životného prostredia. Záverečnou kontrolou je ešte lambda sonda merajúca koncentráciu kyslíka vo výfukových plynoch, ktorej informácie môžu spôsobiť ďalšiu korekciu už korigovanej vstrekovanej dávky mapou čmudenia napríklad v prípade, že MAF senzor by neukazoval úplne správne údaje a napriek limitácii dávky mapou čmudenia by mohlo dochádzať k zvýšeným emisiám spôsobenými zlým pomerom zmesi paliva a vzduchu λ.

Obrázok 5-12 zobrazuje ekvivalent mapy čmudenia. Ekvivalent z dôvodu, že nezobrazuje vo všetkých poliach hraničné hodnoty vstrekovaného množstva v závislosti na množstve nasávaného vzduchu a otáčkach motora, ale zobrazuje reálny priebeh vstrekovaného množstva v závislosti na rovnakých veličinách, ktorý je svojim tvarom podobný skutočnej mape čmudenia a tým pádom jej nesprávny tvar môže indikovať nesprávne fungovanie systému. Tieto mapy sú v skutočnosti tvorené na základe meraní emisií pri daných otáčkach, vstrekovanom množstve a množstve nasávaného vzduchu a správnym nastavením ich pomerov, aby nedochádzalo v daných podmienkach k čmudeniu. Ako možno pozorovať, v nižších

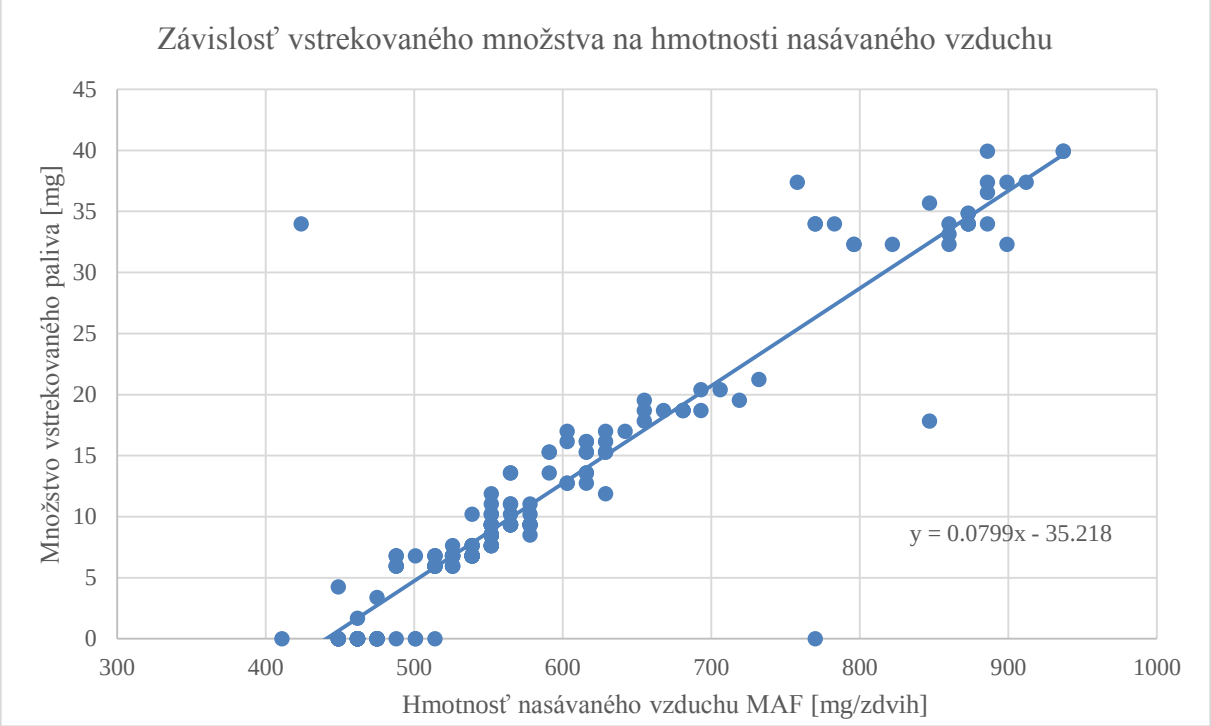
otáčkach je umožnené vstrekovanie väčšieho množstva paliva vzhľadom k množstvu vzduchu ako je tomu u otáčiek vyšších, je to najmä preto, že preplňovanie je v tejto škále otáčiek malé a je potrebné väčšie obohatenie zmesi pre dobrú odozvu motora na požiadavky vodiča. Pri



Obrázok 5-12 Mapa čmudenia

tvorení máp je vhodné vylúčiť z matice dát merané hodnoty, pri ktorých bol EGR ventil otvorený za účelom získania dátových polí s hodnotami bližšími k skutočnej mape čmudenia, ktorá sa prejaví najmä pri vstrekovaní paliva pri požiadavkách na vyšší výkon, kedy je EGR ventil zatvorený.

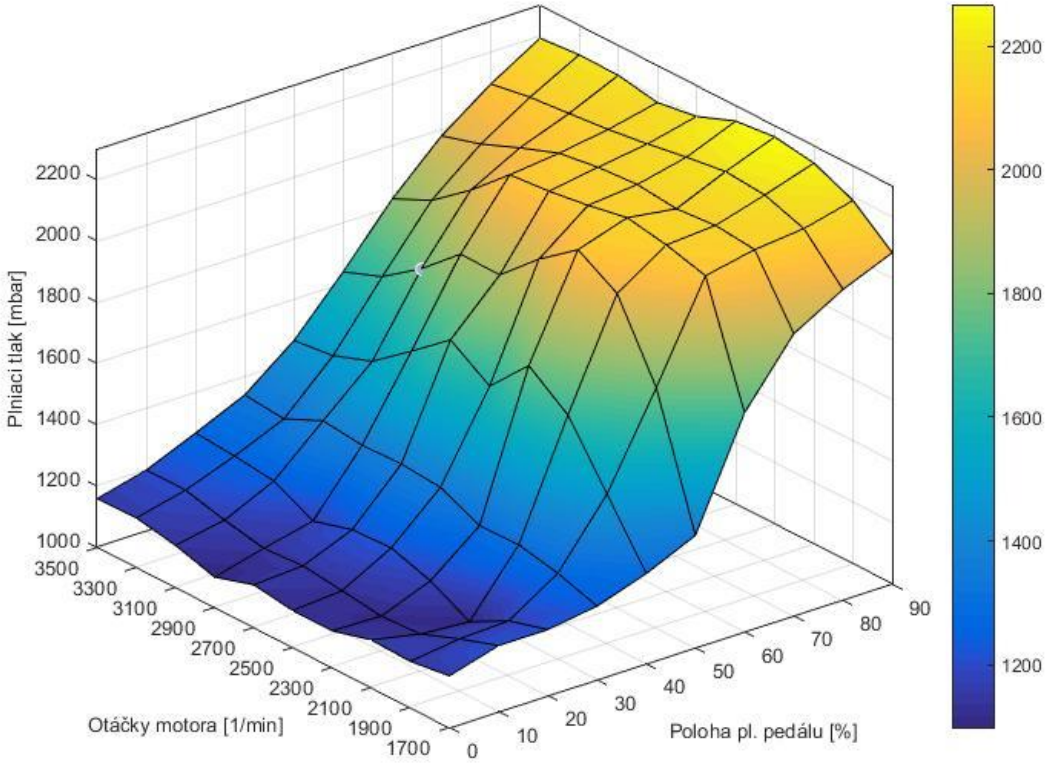
Skutočné zaznamenané dáta množstva nasávaného vzduchu MAF senzorom a vstrekovaného množstva môžeme vidieť na obrázku 5-13. V tomto prípade sme vylúčili dáta s otvoreným EGR ventilom a vidíme, že s rastúcim množstvom nasávaného vzduchu, ku ktorému dochádza pri vyššom preplňovaní, klesá stechiometrický pomer λ. V tomto prípade je pri preplňovaní približne 2 bar, λ rovná približne 1,5. Pri nižších hodnotách λ by už dochádzalo k vysokej tvorbe sadzí a oxidov dusíka (obrázok 3-1, str. 27), čomu sa snaží riadenie motora vyhnúť. Pri nepreplňovaní sú hodnoty pomeru hmotnosti nasávaného vzduchu ku množstvu vstrekovaného paliva nad hodnoty 5 (veľmi chudá zmes), čo v nízkych hodnotách značne eliminuje tvorbu oxidov dusíka a sadzí.



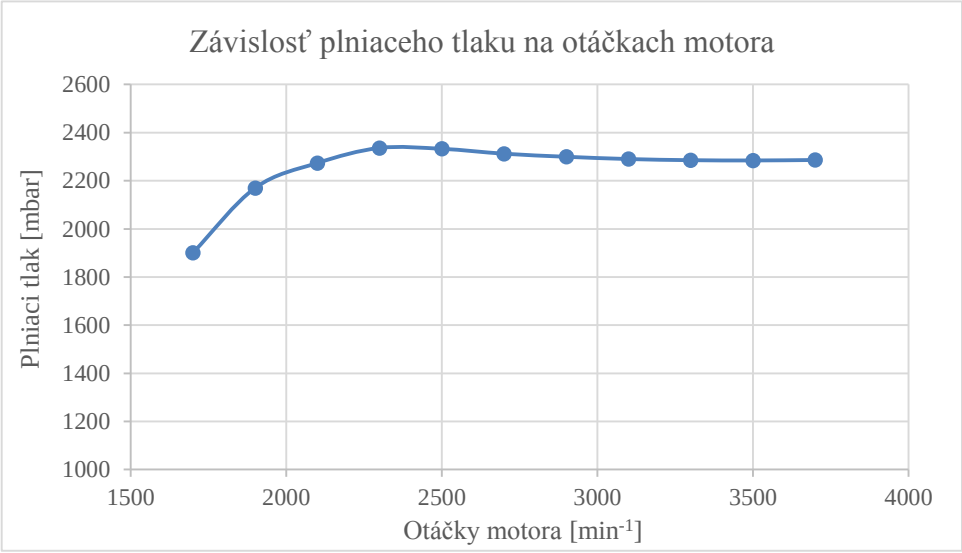
Obrázok 5-13 Pomer množstva vstrekovaného paliva k množstvu nasávaného vzduchu

Mapa preplňovania

Informácia o polohe plynového pedálu a otáčkach ide zároveň do tzv. „*boost map*" – mapy preplňovania (Obrázok 5-14) kde je v dátových poliach nájdené požadované preplňovanie. Táto informácia priamo súvisí s VGT ventilom (natočením lopatiek turbíny) turbodúchadla, kedy mapa VGT ventilu premení informáciu z mapy preplňovania na elektrický signál, ktorý kontroluje natočenie lopatiek, privádzajúcich výfukové plyny na turbínu, na dosiahnutie požadovaného tlaku vzduchu (preplňovania) prúdiaceho do valcov. V prípade, že sa skutočný plniaci tlak odlišuje od požadovaného tlaku v *boost map*, lopatky turbíny sa ešte natáčajú v prospech dosiahnutia požadovaného tlaku. Na obrázku 5-16 vidíme priebeh otvárania VGT ventilu v percentách v závislosti na vstrekovanom množstve.

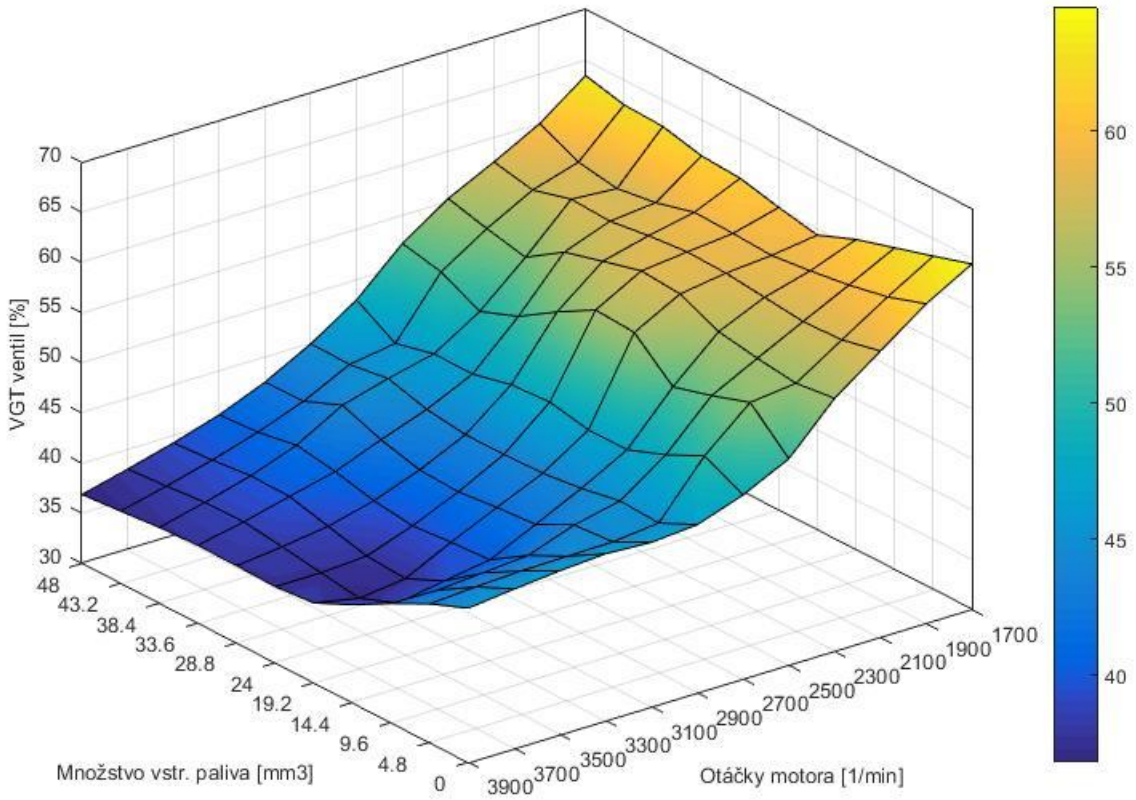


Obrázok 5-14 Mapa preplňovania

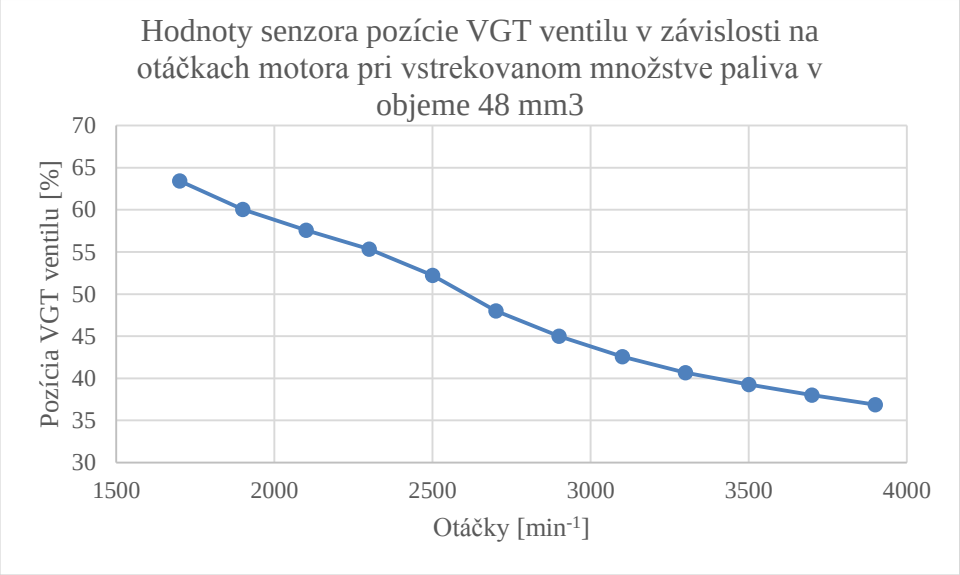


Obrázok 5-15 Závislosť plniaceho tlaku na otáčkach motora pri polohe plynového pedálu 90 %

Na obrázku 5-15 vidíme priebeh plniaceho tlaku v závislosti na otáčkach pri takmer plnom zaťažení, ktorý by mal tvarom kopírovať krivku momentovej charakteristiky motora. Maximálny točivý moment sa podľa výrobcu pohybuje v rozmedzí otáčiek od 2000 min^{-1} do 2700 min^{-1}, čo je veľmi podobné priebehu našich nameraným plniacich tlakov. Mierny pokles však nastáva od otáčiek približne 2500 min^{-1}. Od tohto bodu sa namerané plniace tlaky výraznejšie líšia od požadovaných zo skutočných plniacich máp riadiacich jednotiek, vytvorených na základe výpočtov a testovaní. Mierny pokles plniaceho tlaku vo vyšších otáčkach je spôsobený zhoršením plniacej účinnosti počas jazdy po skutočných cestách, ktorú môže zapríčiňovať napríklad rozdielne ochladzovanie vzduchu v medzi chladiči turbodúchadla.



Obrázok 5-16 Natočenia lopatiek turbíny - VGT ventil dáta

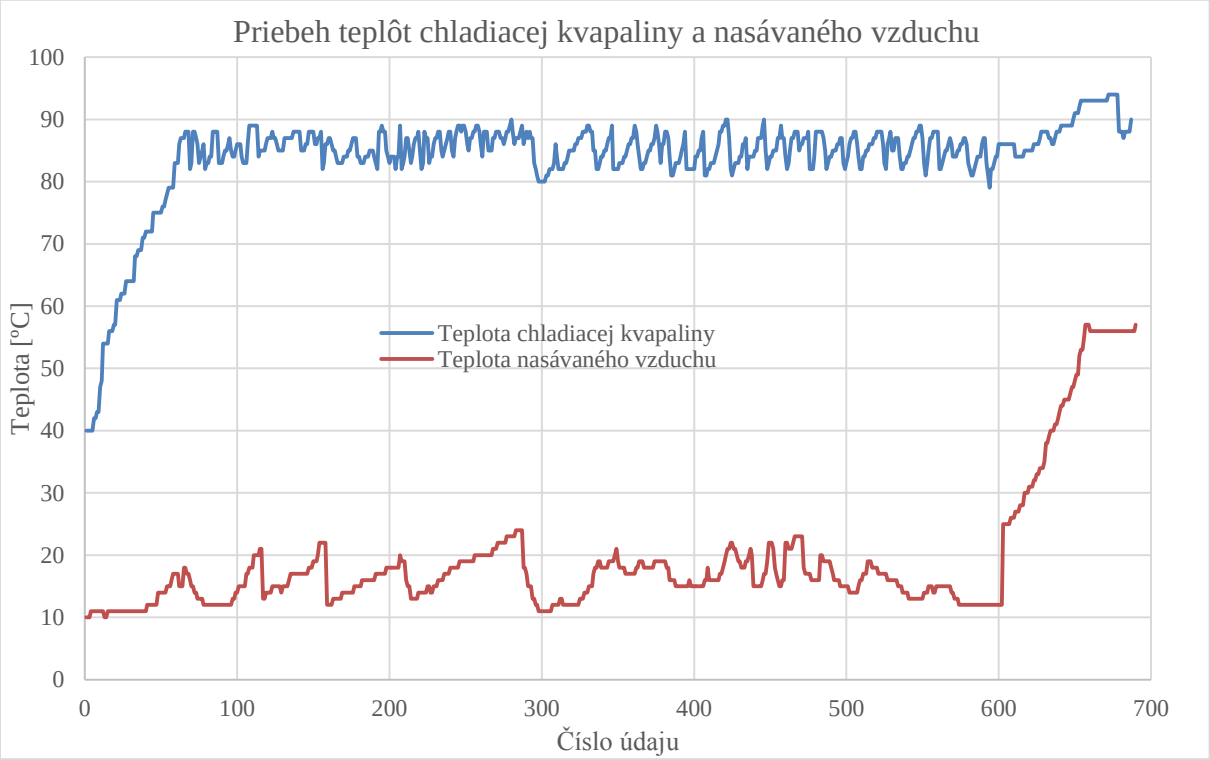


Obrázok 5-17 Pozícia VGT ventilu v závislosti na otáčkach motora pri určitom vstrekovanom množstve

Na obrázku 5-17 vidíme pozíciu VGT ventilu v závislosti na otáčkach motora pri konštantnom vstrekovanom množstve. Čím menšiu percentuálnu hodnotu zobrazuje akčný člen ventilu VGT, tým viac sú lopatky privádzajúce výfukové plyny na turbínu zatvorené. Ako môžeme ďalej pozorovať, pri nižších otáčkach sú lopatky viac zatvorené z dôvodu maximalizovania využitia energie výfukových plynov na preplňovanie. S narastajúcimi otáčkami sa lopatky otvárajú aby nedochádzalo k pretlakovávaniu systému a nežiadúcim príliš vysokým otáčkam turbodúchadla. Pri voľnobehu sú lopatky maximálne zatvorené a akčný člen VGT ukazuje hodnotu 73 %. Poloha VGT, ako už bolo spomínané, sa prispôsobuje dosiahnutiu požadovaného plniaceho tlaku porovnávaním údajov z MAP senzora s údajmi v mape preplňovania.

Ďalej je dôležité spomenúť, že maximálne plniace tlaky tiež závisia na atmosférickom tlaku. V horách, kde je atmosférický tlak nižší, je maximálny plniaci tlak tiež nižší. Je to z dôvodu menšej hustoty nasávaného vzduchu z okolia, kedy by na dosiahnutie rovnakého plniaceho tlaku ako pri vyšších atmosférických tlakoch, muselo dosiahnuť podstatne vyšších otáčiek turbodúchadla, čo by mohlo spôsobiť jeho poškodenie.

KOREKCIE DÁTOVÝCH POLÍ A ICH VÝPOČET



Obrázok 5-18 Priebeh nameraných teplôt nasávaného vzduchu a motora

Ekvivalentný model elektronickej regulácie množstva vstrekovaného paliva obsahuje korekcie na zníženie emisií („*smoke map*" – limitovanie vstrekovaného paliva množstvom nasávaného vzduchu), na zlepšenie akcelerácie a na lepší chod motora pri rôznych prevádzkových teplotách. V tejto časti sa pokúsime zistiť jednotlivé korekcie vstrekovanej dávky pre vytvorenie čo najkompletnejšieho ekvivalentného modelu. Výpočet týchto korekcií je približný.

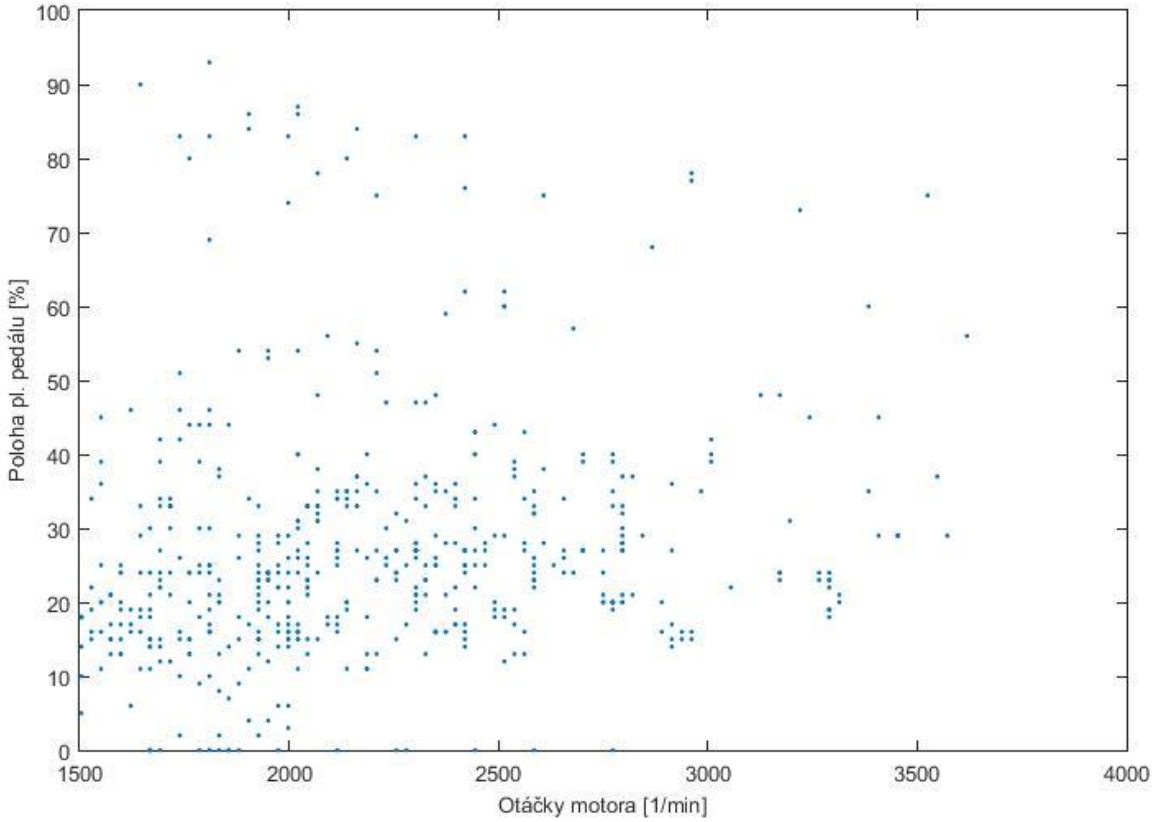
Ako prvé sa zameriame na korekciu vstrekovanej dávky v závislosti na prevádzkových teplotách. Na výpočet korekcie na základe teploty motora využijeme namerané dáta počas jazdy zo studeného štartu. Túto jazdu som pre rýchle zohrievanie motora a dostatočnosť dát absolvoval a v rôznych vonkajších teplotách celkovo 3-krát za cieľom získania väčšej škály dát, či už pre výpočet korekcie na základe teploty motora ako aj korekcie na základe teploty nasávaného vzduchu (teplotu paliva pre jeho pomerne konštantné hodnoty počas celej jazdy nepočítame). Na obrázku 5-18 vidíme priebeh teploty nasávaného vzduchu a chladiacej kvapaliny. Teplota nasávaného vzduchu osciluje okolo teploty približne 15 ºC až na záver kedy teplota prudko stúpne. Je to z dôvodu, že v tejto časti testu som pridával na voľnobehu a keďže medzi-chladič na strane za kompresorom nebol ochladzovaný prúdiacim vzduchom voči pohybujúcemu sa vozidlu, teplota stlačovaného vzduchu nasávaného do valcov prudko vzrastá.

Filtrovanie dát a kontrola splnenia požiadaviek

Ako prvé sa zameriame na teplotu nasávaného vzduchu. Okrem filtra otáčiek voľnobehu teda pridáme aj filter teploty chladiacej kvapaliny (odstránime všetky riadky matice, kde je teplota vody menšia ako 70 ºC). Dáta následne vytriedime podľa nasledovného kritéria:

- Teplota nasávaného vzduchu medzi 11 ºC a 17 ºC.

Ďalej opäť skontrolujeme kvalitu a dostatočnosť dát po filtrácií (obr. 5-19). Rozloženie nameraných dát do otáčiek motora približne 3600 min^{-1} a do polohy plynového pedálu približne 90 % je uspokojujúce a presnosť výpočtov v týchto by mala byť dostatočná. Vo vyšších otáčkach sa pri zahriatom motore nestíha pri rýchlom prúdení nasávaného vzduchu do valcov a stlačovaní vzduch dostatočne ochladzovať a má vyššie teploty ako sme nastavili filtrovaním. Testom v zime by sme sa pravdepodobne dostali aj do vyšších hodnôt otáčiek s nižšou teplotou nasávaného vzduchu, no pre výpočet korekcií v našom ekvivalentom modely považujeme rozloženie dát spolu so štatistickými vlastnosťami nameraných dát (otáčky priemer 2200 min^{-1} a smerodajná odchýlka 461,5 min^{-1} a poloha pedálu priemer 27 % resp. smerodajná odchýlka 17 %) za dostatočné.



Obrázok 5-19 Rozloženie dát pre výpočet korekcie teplotou nasávaného vzduchu

Výpočet dátových polí lineárnou interpoláciou prípadne extrapoláciou ďalej porovnáme s dátovými poliami základnej mapy s nami určenou ideálnou teplotou nasávaného vzduchu (korekcia vstrekovaného množstva) a vypočítame korekcie. Pre lepšie porovnávanie však musíme upraviť vypočítané mapy a to konkrétne uzlové body („breakpoints"), ktoré sa u jednotlivých máp z dôvodu odlišného rozsahu otáčiek a polôh plynového pedálu odlišujú. V tomto prípade zvolíme otáčky 1700 min^{-1} až 3500 min^{-1} polohu plynového pedálu 20 % až 90 %, keďže nepresahujú rozsah ani jednej z vypočítaných máp, množstvo vstrekovaného

paliva je dostatočné (pri nízkych hodnotách by mohli vznikať skokové pomery) a presnosť výpočtov je vyššia ako v krajných hodnotách.

Tabuľka 5-2 Pomer množstva vstrekovaného paliva pri teplote nasávaného vzduchu od 11 ºC do 17 ºC ku teplote od 18 ºC do 25 ºC

Otáčky [1/min]	Poloha plynového pedálu [%]							
	20	30	40	50	60	70	80	90
1700	81%	87%	86%	93%	91%	85%	88%	84%
1900	91%	88%	91%	97%	93%	88%	95%	98%
2100	116%	111%	96%	97%	91%	90%	100%	106%
2300	143%	108%	95%	88%	80%	82%	100%	111%
2500	123%	96%	93%	99%	88%	85%	100%	114%
2700	100%	94%	95%	99%	85%	93%	103%	111%
2900	99%	98%	93%	86%	78%	91%	102%	106%
3100	97%	97%	103%	97%	88%	92%	99%	103%
3300	101%	102%	102%	99%	93%	92%	96%	100%
3500	98%	104%	89%	89%	90%	90%	93%	97%

Tabuľka 5-3 Pomer plniaceho tlaku pri teplote nasávaného vzduchu od 11 ºC do 17 ºC ku teplote od 18 ºC do 25 ºC

Otáčky [min-1]	Poloha plynového pedálu [%]							
	20	30	40	50	60	70	80	90
1700	94%	95%	96%	106%	95%	94%	101%	85%
1900	96%	99%	110%	109%	93%	93%	99%	99%
2100	106%	102%	93%	98%	95%	99%	99%	103%
2300	101%	101%	93%	93%	91%	88%	100%	108%
2500	100%	97%	99%	97%	92%	87%	100%	110%
2700	103%	95%	93%	99%	93%	89%	100%	110%
2900	104%	99%	96%	94%	92%	95%	100%	108%
3100	102%	98%	98%	97%	94%	96%	101%	105%
3300	100%	101%	102%	104%	95%	97%	101%	104%
3500	103%	102%	98%	105%	100%	101%	103%	105%

Tabuľka 5-2 a 5-3 zobrazujú pomer vstrekovaného paliva a plniaceho tlaku intervalu s chladnejšieho nasávaného vzduchu voči volenej optimálnej teplote nasávanému vzduchu v rozmedzí od 18 °C do 25 °C. Ako vidíme, pri vyššej teplote nasávaného vzduchu je vstrekované množstvo a plniaci tlak vyšší ako u studeného vzduchu vo väčšine uzlových bodov (v rozmedzí otáčiek o 1900 min^{-1} až 3100 min^{-1} a polohy plynového pedálu od 30 % do 80 %). I keď by sme očakávali väčšie množstvo vstrekovaného paliva u studenšieho nasávaného vzduchu s väčšou hustotou, kde je k dispozícii väčšie množstvo kyslíka pre spaľovanie, opak je pravdou. Prečo motor obmedzuje množstvo vstrekovaného paliva, napriek tomu, že do valca je nasávané vyššie množstvo kyslíka, by mohlo ozrejmiť vyjadrenie značky Renault, po výzve na vysvetlenie podstatne vyšších emisií ich vozidiel počas reálnej jazdy oproti hodnotám

nameraných normovanými testami. Renault tvrdí, že ich systém EGR recirkulácie zabezpečuje elimináciu až 85 % NO_x. Jeho optimálne fungovanie je medzi teplotami 17 ºC až 35 ºC, čo v bežnej premávke nie je ako vidíme aj z našich výsledkov zaručené. Z pozorovania teda predpokladáme, že pre splnenie emisií a zníženie obsahu oxidov dusíka vo výfukových plynoch je pri teplotách menších ako sú optimálne, výkon vozidla obmedzovaný, čo sa prejaví vstrekovaním menšieho množstva paliva, väčším stechiometrickým pomerom λ a nižšími plniacimi tlakmi. [36]

Pre zobrazenie rozdielu množstva vstrekovaného paliva v závislosti na teplote nasávaného vzduchu, volíme aj zaznamenávanie dát pri extrémne vysokých teplotách nasávaného vzduchu, ktoré sme dosiahli zakrytím medzi-chladiča turbodúchadla kartónovým krytom. Následne sme absolvovali ďalšie meranie jazdou s rovnakým priebehom a spracovaním dát ako popisuje navrhnutá metodika.

Tabuľka 5-4 Pomer vstrekovaného množstva pri teplote nasávaného vzduchu nad 50 ºC ku teplote od 18 ºC do 25 ºC

Otáčky [min-1]	**Poloha plynového pedálu [%]**							
	20	30	40	50	60	70	80	90
1700	41%	45%	65%	81%	91%	97%	100%	103%
1900	34%	42%	72%	91%	97%	101%	103%	105%
2100	33%	55%	83%	101%	101%	104%	104%	106%
2300	41%	58%	85%	108%	104%	104%	103%	106%
2500	63%	58%	81%	108%	106%	103%	101%	105%
2700	94%	84%	93%	110%	108%	103%	101%	100%
2900	111%	118%	101%	103%	93%	100%	100%	97%
3100	110%	123%	115%	103%	82%	97%	98%	95%
3300	105%	112%	110%	105%	92%	98%	95%	99%
3500	103%	104%	103%	111%	111%	105%	101%	110%

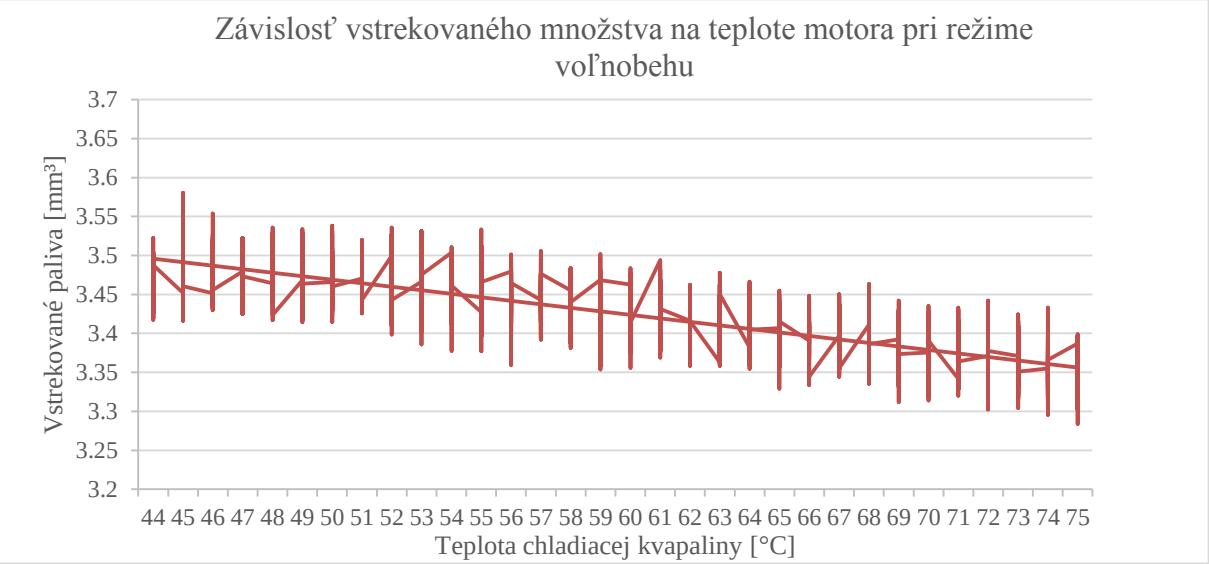
Tabuľka 5-5 Pomer plniaceho tlaku pri teplote nasávaného vzduchu nad 50 ºC ku teplote od 18 ºC do 25 ºC

Otáčky [min-1]	**Poloha plynového pedálu [%]**							
	20	30	40	50	60	70	80	90
1700	93%	96%	103%	105%	92%	79%	76%	78%
1900	97%	96%	95%	99%	85%	75%	74%	79%
2100	99%	95%	93%	99%	92%	72%	75%	83%
2300	96%	98%	83%	96%	94%	72%	85%	93%
2500	98%	97%	88%	87%	99%	93%	105%	102%
2700	99%	97%	90%	86%	99%	102%	105%	104%
2900	104%	99%	97%	97%	97%	102%	103%	102%
3100	101%	100%	97%	102%	92%	102%	100%	100%
3300	106%	105%	101%	103%	100%	103%	99%	101%
3500	104%	100%	101%	103%	108%	106%	104%	102%

Tabuľka 5-4 a 5-5 zobrazujú pomer vstrekovaného paliva a plniaceho tlaku intervalu s určenou nekorigovanou teplotou nasávaného vzduchu voči extrémne teplému nasávanému vzduchu nad teplotu 50 °C. Z výsledkov je zrejmé, že najmä v nízkych otáčkach, resp. najbežnejších otáčkach motora pri bežnej jazde (1700 min^{-1} až 2700 min^{-1}) a pri malých požiadavkách na výkon (poloha plynového pedálu do 50 %) vstrekuje pri vysokej teplote nasávaného vzduchu, ktorý má menšiu hustotu a tým pádom aj menej kyslíka podstatne menej paliva, čo v nízkych otáčkach nie je možné kompenzovať zvýšeným plniacim tlakom z dôvodu danej stavby turbodúchadla. Ďalej môžeme z tabuľky 5-5 pozorovať, že pri vyšších otáčkach a požiadavkách na vyšší výkon, kedy je možné vyvíjať vyšší plniaci tlak kompresorom turbodúchadla odlišným nastavením akčného člena VGT ventilu, je plniaci tlak vyšší ako pri optimálnej teplote vzduchu, čím sa dočasne kompenzuje vysoká teplota nasávaného vzduchu a vstrekované množstvo paliva sa vyrovnáva.

Podobným spôsobom by sme sa dostali aj k výpočtom korekcií pri iných teplotách nasávaného vzduchu, ktoré môžu byť odlišné napríklad v hustej premávke kde nedochádza k dostatočnej výmene tepla medzi chladičom a vzduchom alebo pri nízkych respektíve vysokých teplotách okolitého vzduchu.

Ďalej sa zameriame na korekciu vstrekovanej dávky v závislosti na teplote motora. Problémom môže byť nedostatok dát v celej škále dátových polí, keďže teploty chladiacej kvapaliny pomerne prudko stúpajú a zaznamenaných dát je menej. To môžeme opäť zlepšiť väčším počtom testov, avšak dostať sa k dátam v celej škále otáčok v rôznych teplotách by znamenalo veľké množstvo testov, ktoré by boli nákladne nie len časovo, ale aj finančne a prípadná diagnostika chladiaceho systému by bola zjavná aj z jednoduchých testov priebehu teplôt v čase.



Obrázok 5-20 Priebeh množstva vstrekovaného paliva v závislosti na teplote motora pri režime voľnobehu

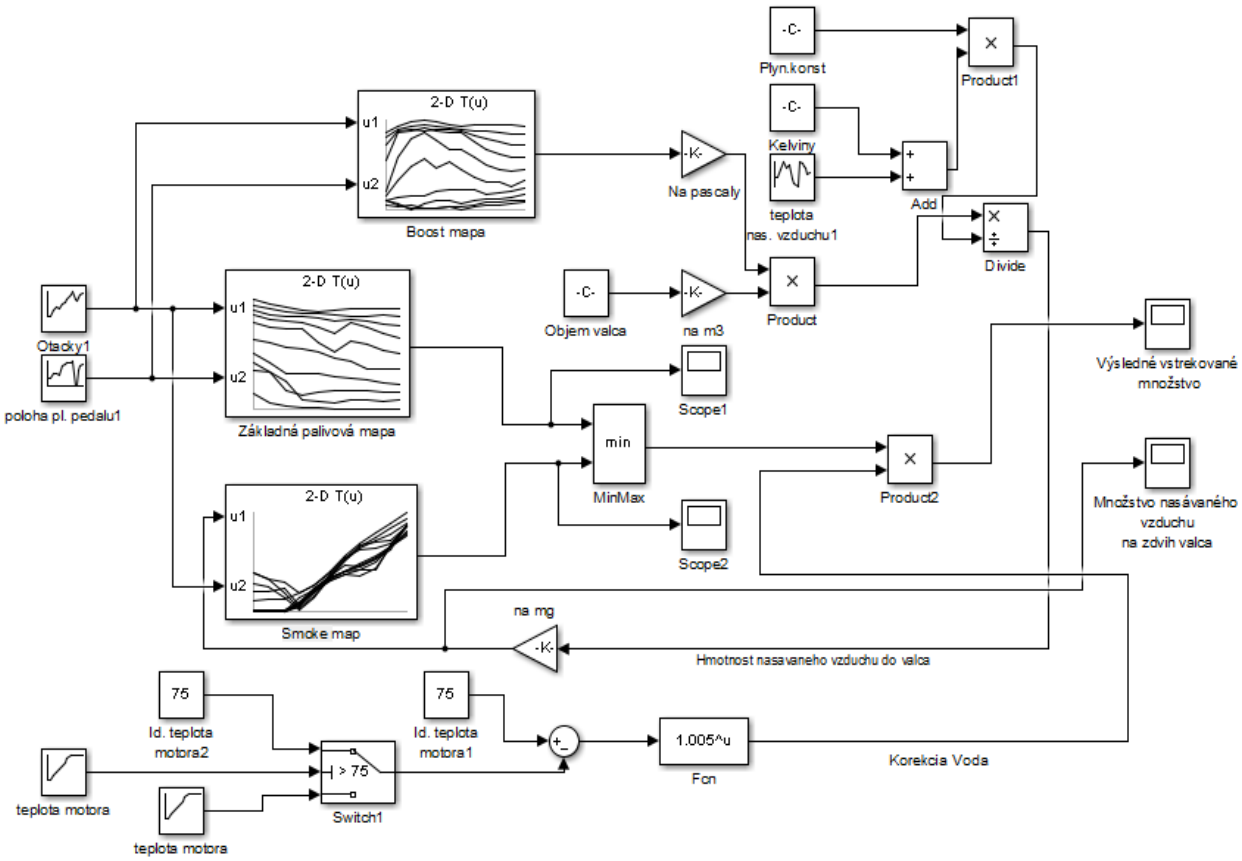
Prvotný odhad korekcie možno spraviť aj počas testu na voľnobehu, kde teplota chladiacej kvapaliny stúpa postupne. Treba však brať v úvahu, aby boli podmienky pre všetky namerané dáta rovnaké, to znamená, že budeme pracovať iba s dátami, kde je uzavretý EGR ventil a nebude privstrekované palivo pre zahriatie katalyzátora. V prípade nášho testu na voľnobehu je to od teploty približne 43 ºC (Obrázok 5-5 a 5-20), preložením nameraných hodnôt od tejto

teploty lineárnou krivkou, vypočítaný nárast spotreby približne 1,005 násobok na pokles teploty motora o 1 ºC pri teplote motora menšej ako 75 ºC, čo znamená, že na voľnobehu by nám mala stúpnuť pri teplote chladiacej kvapaliny 10 ºC spotreba približne o 1,4 násobok v porovnaní s ideálnou teplotou. Avšak nesmieme zabudnúť, že túto spotrebu môžu ovplyvniť ďalšie faktory ako využitie recirkulácie spalín, teplota nasávaného vzduchu, rôzne spotrebiče odoberajúce výkon a ďalšie.

Pri výpočte korekcie počas režimu jazdy aplikujeme ako prvé všetky filtre podobne, ako tomu bolo pri výpočte základnej mapy a rozdelíme si namerané hodnoty podľa teploty chladiacej kvapaliny a to napríklad na intervaly po 10 ºC od 20 ºC po 70 ºC z ktorých sa pokúsime vypočítať korekciu vstrekovanej dávky a porovnať jej závislosť na teplote chladiacej kvapaliny.

Vo väčšine prípadov zistíme, podobne ako aj v našom, že ak nie je uskutočnený viac testov, počet dát nie je pre vytvorenie dátových polí dostatočný. Dátové polia by boli vo väčšine uzlových bodov iba extrapolované a pravdepodobnosť chyby modelu v porovnaní s reálnymi poliami by bola vysoká. Preto použijeme vo výpočtovom modely korekciu, vypočítanú z režimu voľnobehu. V prípade, že by sme mali dostatok dát postupujeme podobne ako napríklad u výpočtu korekcie v závislosti na teplote nasávaného vzduchu a to rozdelením teplôt do intervalov, filtráciou ostatných premenných v ekvivalentnom modeli na základné hodnoty, vytvorením modelu a jeho výpočtom v programe Matlab.

5.4.4 VÝPOČTOVÝ MODEL V PROGRAME MATLAB



Obrázok 5-21 Výpočtový model ekvivalentej elektronickej regulácie vstrekovacieho systému common rail

Po vytvorení palivových dát vytvoríme komplexný program v programe Matlab Simulink na základe navrhnutej ekvivalentnej schémy fungovania riadiacej jednotky (Obrázok 5-21). Ten na základe otáčiek motora, polohy plynového pedálu a prevádzkových teplôt v čase, vypočítava vstrekovanú dávku paliva. Poloha plynového pedálu a otáčky motora vstupujú do základnej palivovej mapy vypočítanej navrhnutou metodikou. Zároveň tieto údaje vstupujú do mapy preplňovania. Tá je vytvorená z nameraných dát z MAP senzora, preto sú jej výstupy mierne odlišné ako u skutočnej mapy preplňovania. Ďalej je výstupný tlak spolu s teplotou nasávaného vzduchu, objemom valca a mernou plynovou konštantou prepočítaný na hmotnosť nasávaného vzduchu do valca (simuluje hodnotu z MAF senzora), ktorá vstupuje do mapy čmudenia kde je vstrekovaná dávka z tejto mapy porovnávaná so vstrekovanou dávkou vypočítanou zo základnej mapy. V prípade, že hodnota zo základnej mapy je vyššia ako z mapy čmudenia, je táto dávka znížená na hodnotu z mapy čmudenia. Táto hodnota je ešte v skutočnom motore kontrolovaná a v prípade potreby korigovaná lambda sondou. Dávka je ďalej ešte korigovaná teplotou motora.

Simulink model možno nájsť v prílohe P2 tejto diplomovej práce.

5.5 VYHODNOTENIE MERANIA

Samotné vypočítané mapy a pozorovania ukazujú, že optimálne riadenie vstrekovanej dávky je komplikovaná vec, ktorá záleží na množstve faktorov a z nelineárnosti výsledkov môžeme konštatovať, že nastavenie elektronickej regulácie nie je podmienené iba výpočtami ale hlavne

množstvom hodín laboratórnych testov. Množstvo meraných veličín môže nadobudnúť neočakávané hodnoty a preto musí celý systém, pre dosiahnutie optimálneho výkonu a splneniu emisií, fungovať a reagovať správne.

Ako prvé sme si vyhodnotili meranie v režime štart a voľnobeh. Pozorovania poukazujú na niektoré zaujímavé skutočnosti ako sú vplyvy prevádzkových teplôt na vstrekované množstvo a otáčky motora, podmienky v ktorých je EGR ventil otvorený alebo uzavretý, či vplyv zapnutých spotrebičov na zaťaženie motora.

Ďalej sme sa zamerali na režim jazdy. Základná mapa v ktorej figurujú poloha plynového pedálu a otáčky motora (v našom prípade aj z časti mapa čmudenia, ktorá v niektorých okamihoch mohla limitovať vstrekovanú dávku) tvorí nosnú časť výpočtu vstrekovanej dávky paliva. Z rovnakých veličín na ňu nadväzuje aj mapa preplňovania, ktorá taktiež dosiahla očakávaných hodnôt približným tvarom krivky momentovej charakteristiky motora. Výpočet korekcií sa ukázal ako náročný proces, v ktorom je veľmi zložité dospieť k uspokojivým výsledkom v celej škále využitia motora v rôznych podmienkach. Tieto výpočty by boli zlepšené väčším počtom testov, ktoré by však zvýšili, v meraných podmienkach bežnej premávky, časovú aj finančnú náročnosť celej práce. Preto boli vplyvy na prepočet vstrekovanej dávky ukázané zjednodušene s väčšími nepresnosťami, ale na pozorovanie zmien vstrekovania dostačujúco. Rovnaký postup výpočtov s väčším množstvom nameraných dát, by sme mohli využiť aj na presnejšie výpočty. Vypočítané mapy a presnosť korekcie môžeme ešte overiť aj manuálne priamym porovnávaním nameraných dát s dátami v mapách.

6 DOPLNKOVÉ MERANIA

6.1 POROVNANIE EURÓPSKEHO JAZDNÉHO CYKLU S NAMERANÝM

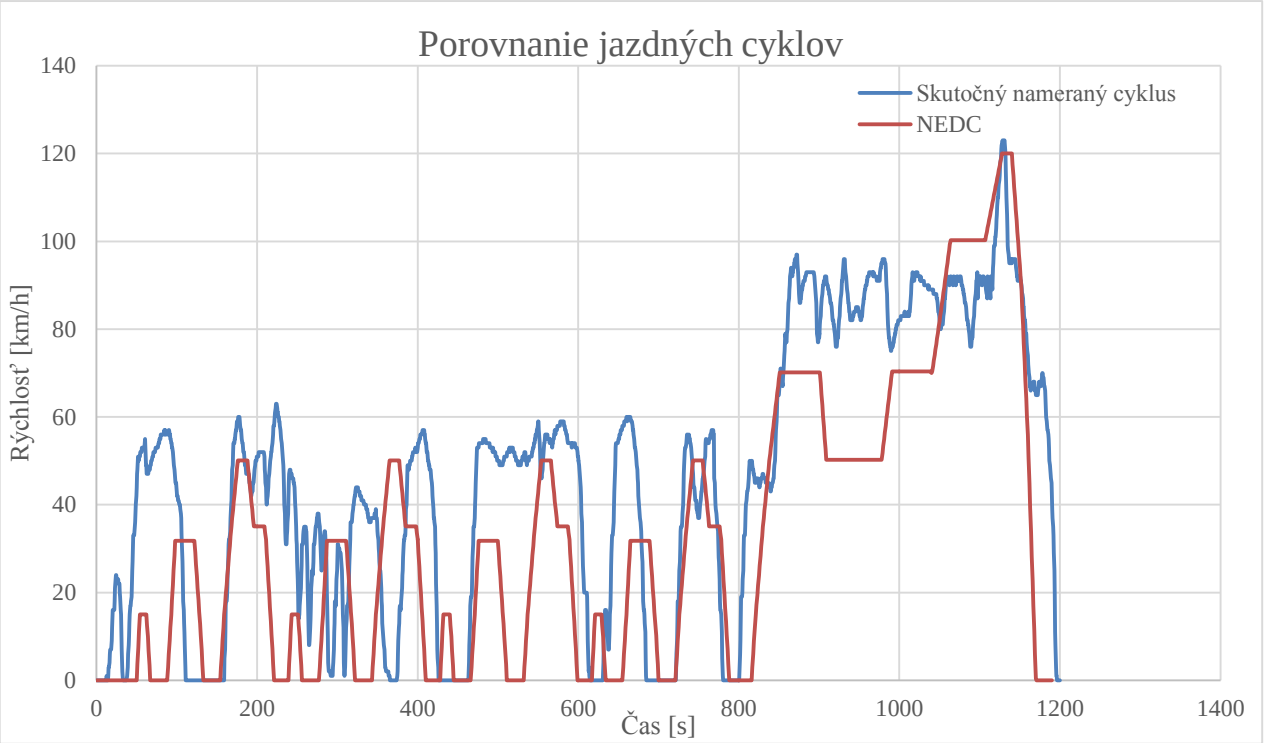
Ďalším z možných testov, ktoré môžeme uskutočniť diagnostickými zariadeniami je meranie jazdných cyklov. V tomto prípade bolo mojim cieľom porovnanie skutočného nameraného cyklu s predpísaným európskym jazdným cyklom na základe ktorého uvádzajú automobilový výrobcovia napríklad spotreby paliva, či emisie motora. Náš cyklus sme merali v pracovný deň, v stredne zaťaženej premávke v čase obeda mimo dopravnej špičky. Trasu merania možno pozorovať na obrázku 6-1.



Obrázok 6-1 Trasa nameraného jazdného cyklu

Na meranie skutočného jazdného cyklu sme vybrali jazdu v centre mesta a jeho okolí. Po prekročení času 780 s, predpísaného pre európsky jazdný cyklus sme išli uskutočniť meranie na mestský obchvat a časť diaľnice, aby sme čo najviac simulovali priebeh testu. Po uplynutí času určeného pre mimo mestský cyklus sme mohli meranie ukončiť.

Dáta (rýchlosť vozidla a čas) boli namerané diagnostickým zariadení s ELM 327 procesorom spolu s Torque Pro programom pre Android telefóny a následne exportované do programu Excel a Matlab. Dáta sme rozdelili na jazdu v mestskej časti a v časti mimo mesta a ďalej sme ich ohraničili rovnakou časovou dĺžkou ako je tomu v európskom jazdnom cykle. Následne sme časti v meste a mimo mesta spojili a oba cykly porovnali graficky a číselne.



Obrázok 6-2 Porovnanie európskeho jazdného cyklu s nameraným jazdným cyklom [35]

Na obrázku 6-2 vidíme zobrazenie priebehu rýchlosti v čase európskeho jazdného cyklu a nami nameraného cyklu. Z prvého pohľadu na priebehy jazdných cyklov môžeme konštatovať, že v skutočnom cykle nie sú konštantné rýchlosti a v nameranom cykle s omnoho viac akceleruje a brzdí ako v európskom cykle, čo samozrejme zvyšuje napríklad spotrebu, či opotrebovanie bŕzd, emisie a ďalšie.

Pre lepšie porovnanie cyklov a prípadné spracovanie ďalších meraní a následných porovnaní som v programe Matlab napísal zdrojový kód (príloha P4), ktorý spracované dáta interpoluje (aby boli zhodné veľkosti oboch matíc, ktorých veľkosť závisí od frekvencie zaznamenávania dát) a následne vykonáva rôzne výpočty na základe ktorých namerané cykly porovnáva. Časť zdrojového kódu môžeme vidieť na obrázku 6-3.

```
13      %statisticke porovnania
14 -    priemer_mc = mean (mc(:,2));
15 -    priemer_nedc = mean (nedc(:,2));
16 -    max_mc = max (mc(:,2));
17 -    max_nedc = max (nedc(:,2));
18 -    cas_statia_mc = 0;
19 -    for i=1:length(mc)
20 -        if mc(i,2)==0
21 -            cas_statia_mc = cas_statia_mc + max(mc(:,1))/(length(mc));
22 -        else
23 -            cas_statia_mc = cas_statia_mc;
24 -        end
25 -    end
62 -    nedc_interp_v = interp1(nedc(:,1),nedc(:,2),mc(:,1));
63 -    nedc_interp_v(isnan(nedc_interp_v)) = 0;
64 -    nedc_interp = [mc(:,1) nedc_interp_v];
65
66 -    a_nedc=diff((nedc_interp(:,2))/3.6)./diff(nedc_interp(:,1));
67 -    a_nedc(isnan(a_nedc)) = 0;
68 -    a_mc=diff((mc(:,2))/3.6)./diff(mc(:,1));
69 -    a_mc(isnan(a_mc)) = 0;
```

Obrázok 6-3 Časť zdrojového kódu pre spracovanie a porovnávanie jazdných cyklov

Vypočítané hodnoty v programe Matlab a ich porovnanie môžeme pozorovať v tabuľke 6-1. Obdržané hodnoty sa u jazdných cyklov podstatne líšia, čo len potvrdzuje kritiku európskeho jazdného cyklu, ktorý je označovaný za nereálny. Priemerná rýchlosť je u nameraného cyklu podstatne vyššia, taktiež maximálne rýchlosti sú na diaľniciach vyššie. Priemerná rýchlosť je u nameraného cyklu vyššia napriek tomu, že celková dĺžka státia je až o 142 s dlhšia. Taktiež porovnanie maximálnych a priemerných zrýchlení resp. spomalení ukazujú veľké rozdiely medzi cyklami. Zrýchlenia a spomalenia sú u európskeho jazdného cyklu podstatne nižšie. V reálnej premávke by sme týmto spôsobom jazdenia spomaľovali okoloidúce vozidlá. Vyplýva to aj z toho, že európsky jazdný cyklus NEDC bol naposledy obnovený v roku 1997, kedy mali autá v priemere nižší maximálny výkon.

Tabuľka 6-1 Porovnanie európskeho jazdného cyklu s nameraným jazdným cyklom

Parameter	Európsky jazdný cyklus	Nameraný jazdný cyklus
Priemerná rýchlosť	33,6 km/h	47,1 km/h
Maximálna rýchlosť	120 km/h	123 km/h
Počet zastavení od štartu	9	13
Celková dĺžka státia	191,5 s	333 s
Trasa	11 km	15,7 km
Maximálne zrýchlenie	3,3 m/s^{-2}	1,1 m/s^{-2}
Maximálne spomalenie	5,6 m/s^{-2}	1,63 m/s^{-2}
Priemerná absolútna akcelerácia	0,44 m/s^{-2}	0,24 m/s^{-2}

Na záver tohto merania teda konštatujeme, že európsky jazdný cyklus, na základe ktorého sú stanovené napríklad produkované emisie a spotreba vozidla, by mal byť aktualizovaný a lepšie prispôsobený reálnej premávke v európskych mestách. Ďalej by sme mohli pomocou vytvoreného zdrojového kódu napríklad odmerať cykly v rôznych časoch a mestách a vzájomne ich porovnávať alebo porovnávať s rôznymi inými jazdnými cyklami, nielen európskym.

ZÁVER

Náplňou tejto práce bol návrh metodiky diagnostiky pohonnej jednotky vysokotlakového vstrekovacieho systému common rail. Z hľadiska výskumnej oblasti je snahou čo najviac priblížiť fungovanie systému common rail u vznetových motorov a z hľadiska servisného, či bežného nadšenca diagnostiky vozidiel, stanoviť metodiku merania auta s týmto systémom a vytvárať palivové mapy, rôzne závislosti alebo stanoviť vplyvy pracovných podmienok motora na jeho chod. Tieto výsledky a pozorovania ďalej môžu slúžiť ako podklady pre hľadanie chýb v systéme common rail u bežných áut ich porovnávaním s výsledkami dosiahnutými v tejto práci.

Prvá časť práce uvádza dôvody vzniku prvých diagnostík, zavádzanie a popis noriem a protokolov a vysvetlenie princípu komunikácie medzi diagnostickými zariadeniami a riadiacimi jednotkami. Ďalej sú v tejto časti popísané jednotlivé druhy diagnostických zariadení a ich výhody a nevýhody. Poznať ich základné rozdelenie a možnosti je veľkou výhodou pri správnej voľbe zariadenia a orientovaní sa na trhu diagnostík.

Ďalšia časť práce je venovaná vysokotlakovému vstrekovaciemu systému common rail. Porozumenie systému, jeho druhy a lokalizácia jednotlivých prvkov a snímačov odosielajúcich informácie do riadiacej jednotky sú základným predpokladom pre jeho správnu diagnostiku.

Praktická časť sa zaoberá návrhom kompletného postupu diagnostiky pohonnej jednotky common rail systému a to výberom a otestovaním zariadenia, priebehom a podmienkam testovacích jázd, spracovaním výsledkov v programovacom prostredí Matlabu a následnou aplikáciou metodiky na vozidlo Kia C'eed SW 1.6 CRDi, kde boli vybrané konkrétne merané dáta týkajúce sa chodu motora, popísané samotné testy vozidla pre rôzne jazdné režimy a spracovanie dát získaných meraním. Kvalita dát bola ďalej kontrolovaná štatistickými metódami a v prípade splnenia určitej kvality boli vyvodené výsledky v podobe palivových máp, vplyvu prevádzkových podmienok motora na množstvo vstrekovanej dávky a ďalšie závislosti niektorých prvkov systému. Celý tento proces je čo najviac automatizovaný vytvorenými programami v Matlabe a pripravený pre ďalšie testovania s daným diagnostickým zariadením pre čo najrýchlejšie spracovanie a analýzu diagnostických testov.

Pomocou dosiahnutých výsledkov je stanovený ekvivalentný model elektronickej regulácie common rail systému zobrazujúci palivové mapy pre výpočet množstva vstrekovanej dávky v troch režimoch (jazda, voľnobeh, štart). Základný výpočet vstrekovanej dávky závisí primárne na otáčkach motora a polohe plynového pedálu resp. prevádzkových teplotách v režimoch voľnobeh a štart. Z pozorovania vyplýva, že táto dávka je pre dané dátové polia korigovaná maximálnym vstrekovaným množstvom paliva ku danému množstvu nasávaného vzduchu (pomer λ) pre zabránenie tzv. čmudeniu motora. Ďalej je dávka korigovaná prevádzkovými teplotami motora, kde boli vypočítane konkrétne korekcie pre určité prevádzkové podmienky, a prudkým zošliapnutím pedálu pri akcelerácii. Okrem palivových máp a výpočtov korekcií bolo poukázané aj na niektoré závislosti systému ako požadovaný plniaci tlak a potrebné natočenie klapiek privádzajúcich výfukové plyny na turbínu turbodúchadla, či podmienky pre aktivovanie recirkulácie výfukových plynov. Na záver tejto časti bol v programe Matlab Simulink vytvorený ekvivalentný model elektronickej regulácie systému, v ktorom môžeme zadaním polohy plynového pedálu, otáčiek motora a prevádzkových teplôt v čase, simulovať výpočet množstva vstrekovaného paliva.

V poslednej časti práce bolo poukázane na problémy a celkovú neaktuálnosť normovaného európskeho jazdného cyklu jeho porovnaním so skutočným nameraným cyklom, kde bol opäť vytvorený program, ktorý možno využiť na rýchle spracovanie a vyhodnotenie ďalších nameraných jazdných cyklov a ich následné porovnanie s európskym jazdným cyklom.

Na záver možno konštatovať, že boli splnené všetky body zadania a z nich stanovené ciele práce.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

[1] DENTON, Tom. *Advanced automotive fault diagnosis*. 2nd ed. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2006, xvi, 271 s. ISBN 978-0-75-066991-7.

[2] OBD II: On-Board Diagnostic System. [online]. [cit. 2014-02-17]. Dostupné z: [online]. [cit. 2014-02-17]. Dostupné z: http://www.obdii.com/

[3] POŠTA, Josef. *Opravárenství a diagnostika II: pro 2. Ročník UO Automechanik*. Vyd. 1. Praha: Informatorium, 2002, 183 s. ISBN 80-860-7388-2.

[4] EU. DIRECTIVE 98/69/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 13 October 1998: relating to measures to be taken against air pollution by emissions from motor vehicles and amending Council Directive 70/220/EEC. In: Dostupné z: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1998L0069:19981228:EN:PDF

[5] JANTOLÁK, Ondrej. Článok 5: Úvod do diagnostiky- OBD / OBD2 / EOBD / zariadenia. 2011. Dostupné z: http://www.autodiagnostika.jantolak.sk/?%E8l%E1nok-5-%FAvod-do-diagnostiky-obd-obd2-eobd-zariadenia,259

[6] HATCH, Steve V. *Computerized engine controls*. 8th ed. Clifton Park, NY: Thomson/Delmar Learning, c2009, xi, 660 p. ISBN 978-142-8399-969.

[7] Cartrend obd II 80234: návod. S. 35

[8] *Vehicle Diagnostics – The whole Story* [online]. [cit. 2014-03-04]. Dostupné z: https://www.vector.com/portal/medien/cmc/press/PDG/Diagnostics_Congress_ElektronikAutomotive_200703_PressArticle_EN.pdf

[9] OBD-II PIDs. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-02-17]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/OBD-II_PIDs#Mode_1_PID_01

[10] *OBD to RS232 interpreter* [online]. In: . s. 94 [cit. 2016-02-17]. Dostupné z: http://elmelectronics.com/DSheets/ELM327DS.pdf

[11] *EPA* [online]. [cit. 2016-02-17]. Dostupné z: http://www3.epa.gov/obd/basic.htmhttp://www.eaa-phev.org/wiki/Escape_PHEV_TechInfo#PIDs

[12] *Etools* [online]. [cit. 2016-02-17]. Dostupné z: http://www.etools.org/

[13] VAG-COM. [online]. [cit. 2014-03-04]. Dostupné z: http://www.vag-com.cz

[14] MITCHAM, Arvon. On-Board Diagnostic Hand-Held Scan Tool Technology: Adherence to the Society of Automotive Engineers Requirements for Scan Tools and an Evaluation of Overall Scan Tool Capability. [online]. 2000, s. 27 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: http://www.epa.gov/otaq/regs/im/obd/r00017.pdf

[15] [online]. [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: http://aa.bosch.sk/

[16] [online]. [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: http://www.wow-portal.com/

[17] *Delphi diagnostic and test equipement* [online]. [cit. 2016-02-17]. Dostupné z: http://europe.delphi-dso.com/UK/downloads/DELPHI%20TEST%20EQUIPMENT.pdf

[18] [online]. [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: http://www.gomog.com/allmorgan/HowToUseAMultimeter.pdf

[19] *Motorové nafty* [online]. In: . [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: http://slovnaft.sk/images/slovnaft/pdf/obchodni_partneri/vyrobky/pohonne_hmoty/motorova_nafta/Nafty.pdf

[20] POONIA, MP. *Engine Performance* [online]. India [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: http://www.slideshare.net/mail2paramjeet/internal-comstion-engines

[21] *Diesel Fuel Tech Review* [online]. In: . [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: http://www.chevron.com/documents/pdf/DieselFuelTechReview.pdf http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/fuel/docs/com_2015_70_en.pdf

[22] *Euro emissions standards* [online]. [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: https://www.theaa.com/motoring_advice/fuels-and-environment/euro-emissions-standards.html

[23] [online]. [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: https://www.dieselnet.com/tech/diesel_fi_common-rail.php

[24] BUSCH, Robert. *Advanced Diesel Common Rail Injection System for Future Emission Legislation* [online]. , 28 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: http://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f9/2004_deer_busch.pdf

[25] KITCHEN, Tony. *Common rail diesel fuel system* [online]. In: . s. 61 [cit. 2016-02-05]. Dostupné z: http://www.slideshare.net/IvanXavierVillalba/denso-hp4-1

[26] KULL, H, Ulrich ADLER, Joachim KAISER, Berthold GAUDER a Ralf ISENBURG. *Systém vstřikování nafty s tlakovým zásobníkem Common Rail* [online]. 1. české vyd. Praha: Robert Bosch, 1999, 49 s. [cit. 2016-02-05]. Elektronické řízení vznětových motorů. ISBN 80-902-5856-5.

[27] BOŽÍK, Michal. *Systém common rail pro šestiválcový vznětový motor* [online]. Brno, 2014 [cit. 2016-02-05]. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

[28] Inside The Bosch CP3 Injection Pump. *Truck Trend* [online]. [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: http://www.trucktrend.com/how-to/parts-accessories/1204dp-inside-the-bosch-cp3-injection-pump/

[29] LANDHÄUßER, Felix. *Systém vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory*. 1. české vyd. Praha: Robert Bosch, 2005, 95 s. Technické vzdělávání. ISBN 80-903-1327-2.

[30] [online]. [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: https://forums.tdiclub.com/showthread.php?t=397288&page=2

[31] [online]. [cit. 2016-02-05]. Dostupné z: http://www.autoelectrics.net/common_rail_diesel.html

[32] CORRIGAN, Steve. *Introduction to the Controller Area Network (CAN)* [online]. , 15 [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: http://www.ti.com/lit/an/sloa101a/sloa101a.pdf

[33] *Can specification: Version 2.0*. Stuttgart: Robert Bosch GmbH, **1991**, 72. *NI* [online]. [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: http://sine.ni.com/

[34] *NI* [online]. [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: http://sine.ni.com/

[35] *Driving cycle (Simulink block)* [online]. In: . [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/46777-driving-cycle--simulink-block-

[36] *Renault contraint de s'expliquer sur les failles de son moteur diesel* [online]. In: . [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: http://www.lemonde.fr/economie/article/2016/01/19/devant-la-commission-royal-renault-revele-les-failles-de-son-moteur-diesel_4849711_3234.html

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

	[bit/s]	Prenosová rýchlosť
B		bajt
b		Bit
CO		Oxid uhoľnatý
DI		Priame vstrekovanie
DTC		Diagnostic trouble codes
FAME		Fatty-acid methyl ester
HC		Uhľovodík
hex		Hexadecimálna sústava
ISO		International Organization for Standardization
KWP		Keyword protocol
M	[Nm]	moment
m	[kg]	Hmotnosť
MAF	[mg/zdvih]	Mass of air flowing
MAP	[mbar]	Manifold absolute pressure
n	[1/min]	otáčky
NO_x		Oxidy dusíka
OBD		On Board Diagnostics
OEM		Original Equipment Manufacturer
P	[W]	výkon
p	[bar]	Tlak
PID		Parameter identification
PM		Particulate matter – pevné častice
PWM		Pulse Width Modulation
R	[Ω]	Odpor
SAE		Society of Automotive Engineers
t	[s]	Čas
T	[°C]	Teplota
U	[V]	Napätie
V	[mm^3]	Objem
VPW		Variable pulse width

VGT		Variable geometry turbocharger
ω	[s^{-1}]	úhlová rychlost otáčení klikového hřídele

ZOZNAM PRÍLOH

P1 **Zdrojový kód pre spracovanie nameraných dát**

```
% pdf s dátami cez pdf creator vytisknem ako pdf, to otvorím cez acrobat
% uložím ako text, pozor aby v celom pdf bol rovnaký počet a rovnaké dáta
po celý čas
% musim zmenit šípku v textovom súbore na prázdny riadok. V matlabe nie je
možné
clc
clear all
text1 = fileread('cely_test_19_3_2016.txt'); %načítanie textoveho suboru
retext1 = strrep(text1, ',', '.'); %zmení všetky čiarky na bodky
retext1 = strrep(retext1, 'mm3', 'mm_kubickych'); %zmení mm3 na mm kubicke
(potrebujeme zbaviť všetkých čísel okrem dát)
retext1 = strrep(retext1, 'Pol1', 'Pol'); %ak je v texte pol1 zmení na pol
(poloha pedálu)
dlmwrite('export_cely_test_19_3_2016.txt',retext1,'delimiter',''); %zmenený
txt uloží ako ""
text2 = fileread('export_cely_test_19_3_2016.txt');
A = strread(text2, '%s', 'delimiter', sprintf('\n'));%každý riadok textu 1
pozícia vektora
A = A(~cellfun(@isempty,A));
%vymazanie nepotrebných prvých riadkov textu
for i=1:14
A(1) = [];
end
% vymazanie hlavičiek
Anove = A(cellfun(@(s)isempty(regexp(s,'Delphi')),A));
Anove2 = Anove(cellfun(@(s)isempty(regexp(s,'Jméno')),Anove));

%časovy riadok začínajuci slovom Nafta s časom exportujem do samostatného
vektora
D = strfind(Anove2,'Nafta');
for i=1:length(Anove2)
if D{i}~='1';
    cas{i,1}=Anove2{i};
end
cas(cellfun(@isempty, cas)) = [];
end

%vymazanie riadku Nafta
Anove3 = Anove2(cellfun(@(s)isempty(regexp(s,'Nafta')),Anove2));

%vyberie čísla z každeho stringu
dat = regexp(Anove3,'\d+\.?\d*|-\d+\.?\d*|\.?\d+|-\.?\d+','match'); %match
znamena ze vrati substring namiesto pozicie hladaneho string

%zmením typ vektora cell na číselný vektor
for i=1:length(dat)
data(i,1) = str2double(dat{i});
end

%Merané Parametre, musím vložiť!!!
parametre = {'Akční člen EGR [%]','akčný člen variabilního víření
[%]','Akční člen ventilu VGT [%]','Aktuální teplota motoru [oC]','Aktuální
vstřikované množství [mm3]','Hmotnost protékajícího vzduchu pro válec
```

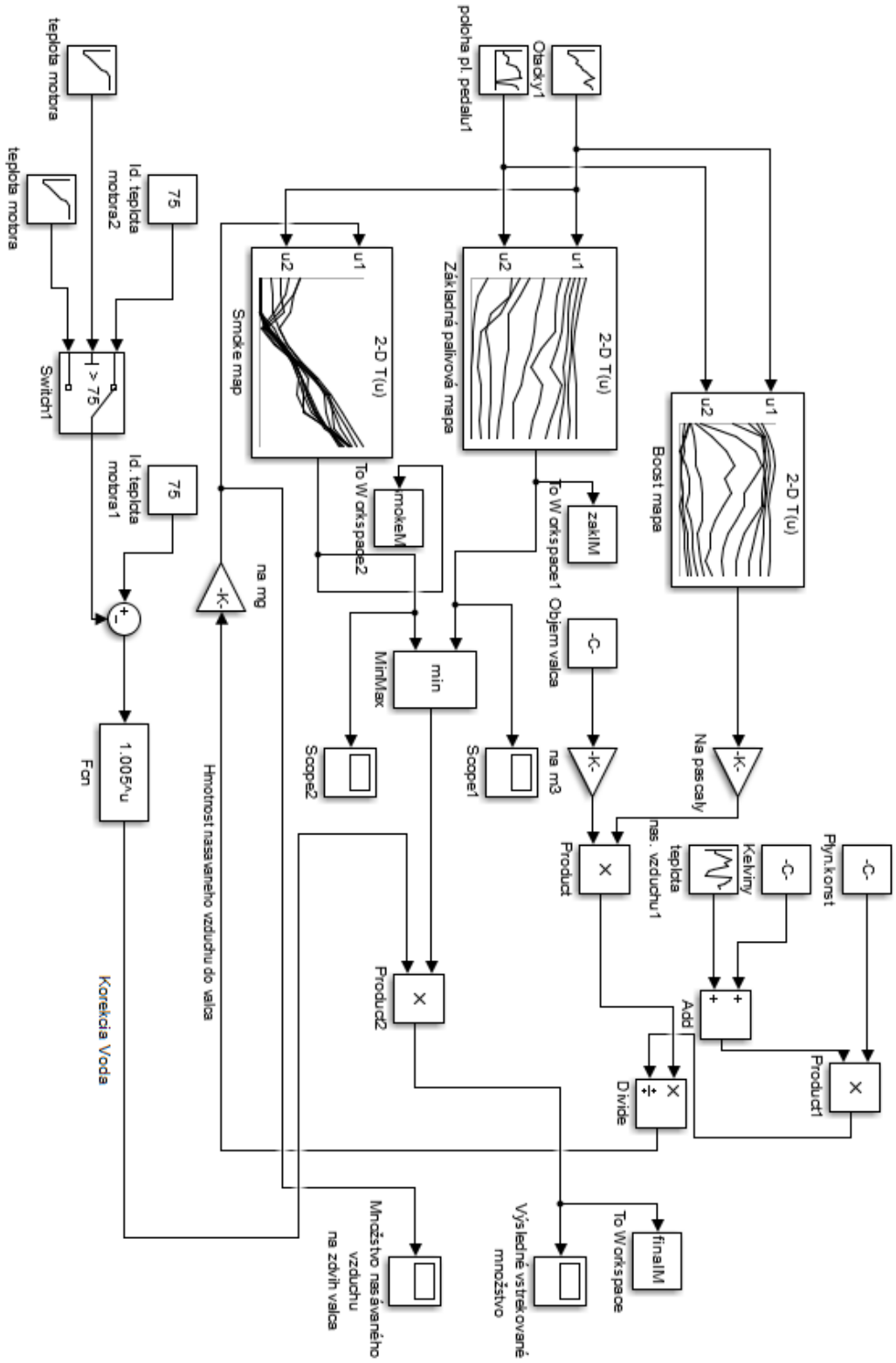
```
[mg/zdvih]','Kontrolér recirkulace spalin [mg/zdvih]','Otácky motoru
[ot./min]','ovládač škrtiacej klapky [%]','požiadavok na obmedzenie
točivého momentu [%]','rychlost vozidla [km/h]','Snímac plnicího tlaku
[mbar]','snímač pedálu akcelerátoru [%]','Snímac teploty paliva
[oC]','Snímač atmosférického tlaku [mbar]','Teplota nasávaného vzduchu
[oC]','tlak paliva v raili [mbar]','Vypoctené zatížení motoru [%]'};
parametreCAGE =
{'EGR_percenta_[%]','variabilne_virenie_[%]','VGT_ventil_[%]','teplota_moto
ra_[%]','vstrekovane_mnozstvo_[mm^3]','Hm_nasavaneho_vzduchu_preVALEC_[mg/z
dvih]','kontroler_EGR_[mg/zdvih]','otacky_motora_[1/min]','ovladac_skrtiace
j_klapky_[%]','poziadavok_na_obmedzenie_TOCIVEHO_momentu_[%]','rychlost_[km
/h]','snimac_plniaceho_tlaku_[mbar]','pedal_akc_[%]','Teplota_paliva','atmo
sfericky_tlak_[mbar]','Teplota_nasavaneho_vzduchu_[oC]','Tlak_paliva_rail_[
mbar]','Zatazenie_motora_[%]'};
%zadelenie čísel do matice
pocet_meranych_dat = length(parametre);
for i=1:pocet_meranych_dat
DATA(:,i)=data(i:pocet_meranych_dat:end);
end

% Prehladná matica dát
DATAcell = num2cell(DATA);
prehlad = [parametre;DATAcell];

prehladCAGE = [parametreCAGE;DATAcell];
filename = 'cely_test_19_3_2016'; %export do excelu
filename2 = 'cely_test_19_3_2016_CAGE.xlsx'; %export do excelu, názvy bez
medzier pre ich ďalšie použitie v matlabe
xlswrite(filename,prehlad,'cely_test_19_3_2016','A2');
xlswrite(filename2,prehladCAGE,'cely_test_19_3_2016_CAGE','A2');

% Zakladne statistické vlastnosti
mean_x=mean(DATA); % Stredna hodnota
std_x=std(DATA); % Smerodajna odchylka
var_x=var(DATA); % Rozptyl
min_x=min(DATA); % Minimum
max_x=max(DATA); % Maximum
med_x=median(DATA); %Median
```

P2 **Simulink model navrhnutého ekvivalentu fungovania riadiacej jednotky motora s common rail systémom**



P3 Zdrojový kód pre porovnanie európskeho jazdného cyklu s nameraným

```
clc
clear all

subor = 'DATAnedcFINAL.xlsx';
%môj nameraný cyklus
rychlost_mc= xlsread(subor,'Upravené','P2:P2401'); % mc = moj cyklus
cas_mc= xlsread(subor,'Upravené','V2:V2401');
mc = [cas_mc rychlost_mc];
%NEDC európsky jazdný cyklus
rychlost_nedc= xlsread(subor,'NEDC','A2:A1192');
cas_nedc= xlsread(subor,'NEDC','B2:B1192');
nedc = [cas_nedc rychlost_nedc];
%štatisticke porovnania
priemer_mc = mean (mc(:,2));
priemer_nedc = mean (nedc(:,2));
max_mc = max (mc(:,2));
max_nedc = max (nedc(:,2));
cas_statia_mc = 0;
for i=1:length(mc)
    if mc(i,2)==0
        cas_statia_mc = cas_statia_mc + max(mc(:,1))/(length(mc));
    else
        cas_statia_mc = cas_statia_mc;
    end
end
cas_statia_nedc = 0;
for i=1:length(nedc)
    if nedc(i,2)==0
        cas_statia_nedc = cas_statia_nedc + max(nedc(:,1))/(length(nedc)-
1);
    else
        cas_statia_nedc = cas_statia_nedc;
    end
end
% počet zastavení
pocet_zastaveni_mc = 0; % posledné zastavenie by nespadalo do podmienky
for i=1:(length(mc)-1)
    if mc(i,2)==0 && mc(i+1,2)>0
        pocet_zastaveni_mc = pocet_zastaveni_mc + 1;
    else
        pocet_zastaveni_mc = pocet_zastaveni_mc;
    end
end
pocet_zastaveni_nedc = 0;
for i=1:(length(nedc)-1)
    if nedc(i,2)==0 && nedc(i+1,2)>0
        pocet_zastaveni_nedc = pocet_zastaveni_nedc + 1;
    else
        pocet_zastaveni_nedc = pocet_zastaveni_nedc;
    end
end
for i=1:(length(nedc)-1)
    akc_nedc(i) = (nedc(i+1,2)-nedc(i,2))/(nedc(i+1,1)-nedc(i,1));
end
trasa_mc = priemer_mc/3600 * max(mc(:,1)); % prevod na metre
```

```
trasa_nedc = priemer_nedc/3600 * max(nedc(:,1));
% Interpolácia vektora dát na rovnakú dĺžku
nedc_interp_v = interp1(nedc(:,1),nedc(:,2),mc(:,1));
nedc_interp_v(isnan(nedc_interp_v)) = 0;
nedc_interp = [mc(:,1) nedc_interp_v];

a_nedc=diff((nedc_interp(:,2))/3.6)./diff(nedc_interp(:,1));
a_nedc(isnan(a_nedc)) = 0;
a_mc=diff((mc(:,2))/3.6)./diff(mc(:,1));
a_mc(isnan(a_mc)) = 0;

% maximálna akcelerácia
maxa_nedc = max(a_nedc);
maxa_mc = max(a_mc);

% maximálna decelerácia
mina_nedc = min(a_nedc);
mina_mc = min(a_mc);

% absolútne hodn. Akc.
a_nedc_abs = abs(a_nedc);
a_mc_abs = abs(a_mc);

% priemer
pr_a_nedc = mean(a_nedc_abs);
pr_a_mc = mean(a_mc_abs);

% Vykreslenie nameraného cyklu a NEDC cyklu
figure (1)
plot (mc(:,1),mc(:,2))
hold on
plot(mc(:,1),nedc_interp(:,2))
figure (2)
plot (a_nedc)
hold on
plot (a_mc)
```