



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

STANOVENÍ PARAMETRŮ MATEMATICKÉHO MODELU ŘÍDICÍ JEDNOTKY SPALOVACÍHO MOTORU

SETTING THE PARAMETERS OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE ENGINE ECU

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. DAVID VYCHOPEŇ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DAVID SVÍDA, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. David Vychopeň

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

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:

Stanovení parametrů matematického modelu řídicí jednotky spalovacího motoru

v anglickém jazyce:

Setting the parameters of the mathematical model of the Engine ECU

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte metodiku pro zjištění parametrů matematického modelu elektronické řídicí jednotky spalovacího motoru.

Cíle diplomové práce:

- 1) Proveďte základní přehled elektronických řídicích jednotek a stručně popište použité řídicí strategie.
- 2) Pro zadanou, nebo zvolenou řídicí strategii elektronické řídicí jednotky navrhněte metodiku pro stanovení jejich parametrů.
- 3) Aplikujte Vámi navržený přístup na reálný spalovací motor.

Seznam odborné literatury:

- [1] MOSKWA, J., J. Automotive Engine Modeling for Real Time Control. Massachusetts Institute of Technology, 1988.
- [2] WEEKS, R. W., MOSKWA, J., J. Automotive Engine Modeling for Real-Time Control Using Matlab/Simulink. SAE paper: 840417
- [3] GERHARDT, J., HONNINGER, H., BISCHOF, H. A New Approach to Functional and Software Structure for Engine Management Systems - Bosch ME7. SAE paper: 98P-178.
- [4] PÍŠTĚK, V., ŠTĚTINA, J. Výpočetní metody ve stavbě spalovacích motorů. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1991
- [5] STONE, Richard. Introduction to Internal Combustion Engines. 3rd edition. Hampshire: Palgrave, 1999. ISBN 0-333-74013-01999.
- [6] HEISLER, Heinz. Advanced Engine Technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 1-56091-734-2.

Vedoucí diplomové práce: Ing. David Svída, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 10.11.2014

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

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



ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na tvorbu vhodné metodiky pro stanovení parametrů elektronické řídicí jednotky spalovacího motoru. Zabývá se způsobem měření vstupních dat do metodiky, základním popisem její funkce a zobrazením výsledných hodnot. Zahrnuje vyhodnocení použitelnosti metodiky a srovnání reálných parametrů s parametry stanovenými na základě vytvořené metodiky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Simulační software, řídicí strategie, spalovací motor, řídicí jednotka

ABSTRACT

Master's thesis is focused on creating a suitable methodology for determining the parameters of the electronic control unit of the engine. Discusses how the measurement of input data into the methodology, the basic description of its functions and display the resulting values. It includes evaluation of applicability of the methodologies and the real parameters when compared with the parameters established on the basis of established methodology.

KEYWORDS

Simulation software, control strategies, combustion engine, electronic control unit



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VYCHOPENĚ, D. *Stanovení parametrů matematického modelu řídicí jednotky spalovacího motoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 54 s. Vedoucí diplomové práce Ing. David Svída, Ph.D..



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 29. května 2015

.....

Jméno a přímení



PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Davidu Svidovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a odborné vedení mé diplomové práce.

A také svým blízkým, kteří mi pomáhali v průběhu celého studia a podporovali mě při psaní závěrečné práce.



OBSAH

Úvod.....	10
1 Elektronické řídicí jednotky	11
1.1 Co je řídicí jednotka [1,9]	11
1.2 Přehled elektronických řídicích jednotek.....	14
1.2.1 Řídicí jednotka Morfeus [4]	14
1.2.2 Řídicí jednotka Ford EEC [11].....	17
1.2.3 Řídicí jednotka EFI Technology Euro-4 [13,14,15].....	19
1.2.4 Řídicí jednotka proPDM K1 [5,17]	21
1.2.5 Řídicí jednotka Bosch KE Jetronic [2,6]	22
1.2.6 Řídicí jednotka Bosch L Jetronic [3,6]	23
2 Měření motoru	25
2.1 Měřený motor	25
2.2 Zkušebna motoru	26
3 Strategie a měření provozních veličin	30
3.1 Strategie.....	30
3.2 Měření provozních veličin	31
4 Metodika stanovení parametrů.....	36
4.1 Stanovení mapy vstříku.....	36
4.1.1 Načítání měřených dat	37
4.1.2 Vyloučení režimu akcelerace/decelerace	37
4.1.3 Aplikace teploty nasávaného vzduchu.....	38
4.1.4 Třídění dat dle otáček motoru	38
4.1.5 Třídění dat dle natočení škrtkové klapky.....	38
4.1.6 Aplikace teploty motoru.....	40
4.1.7 Výpis výsledné mapy vstříku paliva	40
4.2 Stanovení korekce doby vstříku na základě teploty motoru	41
4.2.1 Načítání měřených dat	41
4.2.2 Vyloučení nepoužitelných dat	42
4.2.3 Aproximace dat	42
4.2.4 Výpočet hodnot korekcí	43
4.2.5 Výpis výsledných korekcí vstříku paliva	44
4.3 Stanovení parametrů na základě požadavků řidiče.....	44
4.3.1 Načítání měřených dat	45
4.3.2 Výběr dat dle požadovaných otáček	45



4.3.3	Výběr dat dle požadovaného výkonu.....	45
4.3.4	Výpočet a vypsání parametrů.....	46
5	Vyhodnocení.....	47
5.1	Mapa vstříku paliva.....	47
5.2	Korekce na teplotu motoru.....	49
5.3	Stanovení parametrů na základě požadovaných hodnot.....	50
Závěr	51



ÚVOD

Od samého počátku vývoje spalovacího motoru se současně rozvíjelo a také zdokonalovalo jeho řízení tak, aby se udržel krok s neustále stoupajícími nároky a požadavky, které jsou i dnes nadále zvyšovány. Tyto nároky rostou jednak z hlediska výkonových parametrů motoru, ale dnes již hlavně z hlediska omezení tvorby emisí a ochrany životního prostředí. Počátky vývoje řízení spalovacích motorů byly velmi primitivní a velký vrchol zaznamenaly až nástupem regulace a řízení přípravy směsi v karburátoru či řízeným zapalováním pomocí rozdělovače. Z historie je však jasné, že takovéto primitivní řízení, jenž postačovalo téměř celé století vývoje motorů, je již v dnešní době překonané a zcela nedostatečné.

Začátky nástupu a prosazování elektronických systémů v 80. letech pro řízení zapalování s sebou přinesly i mnohem přesnější přípravu palivové směsi, kterou neumožňovaly ani sebelepší karburátory. První systémy elektronického vstřikování paliva byly jednobodové a později vícebodové pro individuální vstřík do každého válce. Tyto systémy umožnily přípravu palivové směsi s vysokou přesností a reprodukovatelností pro každý termodynamický cyklus. Opakovatelná a přesná dávka paliva značně snížila množství škodlivin ve výfukových plynech, a to umožnilo snížení a plnění exhalačních limitů současných automobilů, což bylo v době karburátorů nepředstavitelné. Tyto revoluční změny při řízení spalovacích motorů by bez průmyslového nástupu integrované elektroniky, přesného výkonového spínání, vývoje bezpečného softwaru a vyspělé technologie nemohly nikdy nastat.

Náplní této diplomové práce je provést hlubší pohled na problematiku elektronických řídicích jednotek, a to jak z hlediska jejich funkce, tak především z hlediska jejich samotného řízení spalovacího motoru pomocí řídicího systému. V dnešní době moderních technologií, kdy je zájem o provádění optimalizací jednotlivých provozních režimů motoru, je potřeba znát právě ta data a procesy, jakými je samotný motor řízen. Na základě stanoveného problému, kdy analyzovaná řídicí jednotka byla pro náš diplomový experiment „černou skříňkou“ s potřebou získání poznatků o jejím vnitřním chování. Toho je v mé diplomové práci docíleno simulací HIL (Hardware-in-the-Loop), jedná se o moderní přístup založený na principu měření vstupních a výstupních parametrů řídicího systému, na jejichž základě je pak zpětně vytvořen softwarový duplikát tohoto řídicího systému. V tomto případě bylo cílem vytvoření metodiky pro získání vstřikovací mapy paliva s korekcí na teplotu chladicí kapaliny, teploty nasávaného vzduchu a příslušných parametrů motoru pro uživatelsky požadovaný výkon, seznámení se s možnostmi a průběhem měření motorů s následným zpracováním a vyhodnocením naměřených dat.



1 ELEKTRONICKÉ ŘÍDICÍ JEDNOTKY

Základním účelem řídicí jednotky je splnění výchozích parametrů pro optimální výkon motoru, zachování co nejvyšší hospodárnosti provozu a plnění stále vyšších nároků na minimalizaci negativního dopadu na životní prostředí.

1.1 CO JE ŘÍDICÍ JEDNOTKA [1,9]

Řídicí jednotka motoru je elektronický systém řízení motoru spojující kompletní elektroniku řízení vstřikování a zapalování. Samotná řídicí jednotka potřebuje velké množství provozních dat ve formě vstupů od jednotlivých snímačů. Tato data dále vyhodnocuje a pomocí algoritmů vypočítává ovládací signály, které dále řídí akční členy zajišťující optimální provozní stav motoru. Tím je dosaženo synchronizace vstřikování paliva, optimální přípravy směsi a zapálení směsi ve správný okamžik při proměnném zatížení a teplotě motoru.

Příklady vstupů:

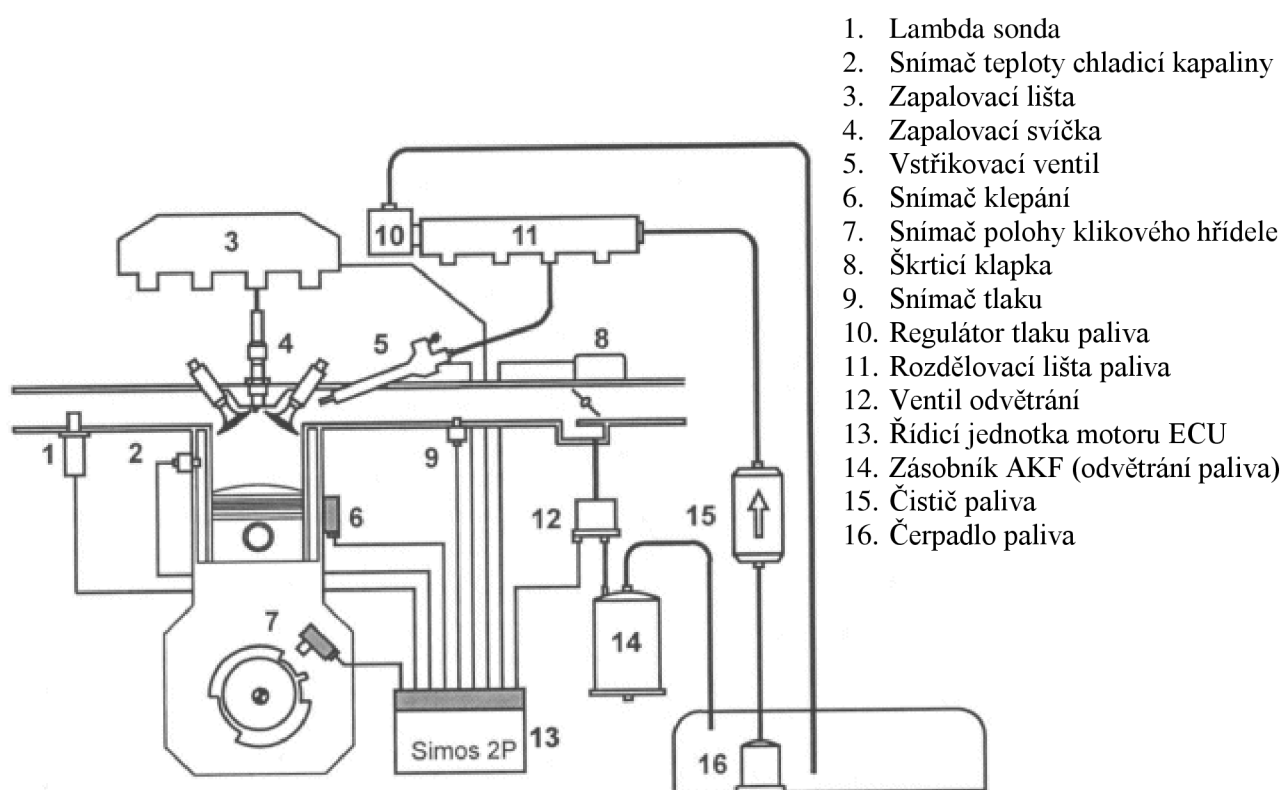
- zapalování (zapnuto/vypnuto)
- poloha vačkových hřídelí
- rychlost jízdy
- zařazený rychlostní stupeň
- zásah převodovky
- klimatizace
- napětí akumulátoru
- teplota motoru
- teplota nasávaného vzduchu
- množství vzduchu
- úhel natočení škrticí klapky
- lambda sonda



- snímač klepání
- otáčky motoru

Hlavní a základní funkcí elektronického řízení motoru je řízení zapalování a vstřikování. K tomuto účelu je nutnost snímat jednotlivá provozní data a zpracovávat je.

Přídavnou řídicí funkcí je funkce regulační, která je nutná ke snížení emisí a spotřeby paliva. Tyto funkce rozšiřují základní systém řízení motoru (zapalování a vstřikování) a sledují všechny další důležité vlivy na složení výfukových plynů.



Obr.1 Příklad sestavy okruhu řídicí jednotky - systém Simos 2P [10]

Vlivy na složení výfukových plynů:

- regulace otáček chodu naprázdno (volnoběžných otáček)
- lambda regulace



- řízení systému odvětrání palivové nádrže
- regulace klepání
- recirkulace spalin ke snížení oxidů dusíku NO_x
- řízení vhánění sekundárního vzduchu ke snížení obsahu uhlovodíků HC
- řízení turbodmychadla a sacího potrubí s proměnnou délkou k regulaci nárůstu výkonu motoru
- řízení nastavení vačkových hřídelí ke snížení emisí ve výfukových plynech, jakož i regulaci nárůstu výkonu motoru
- regulace z hlediska omezení maximálních otáček a omezení maximální rychlosti vozidla potřebné k ochraně motoru a vozidla

Další regulační funkce řídicí jednotky jsou:

- Regulace množství vstřikovaného paliva - kdy je tato regulace schopna upravovat dávku paliva v jakémkoliv provozním režimu:
 - startu
 - regulace volnoběhu, popř. regulace klidného chodu
 - aktivní tlumení šubání motoru (při rychlé změně polohy akceleračního pedálu)
 - regulace rychlosti
 - regulace přeběhových otáček
 - přerušování dodávky paliva při brzdění motorem
- Regulace počátku vstřiku - kdy regulace nastává z hodnot otáček motoru, vypočítané hmotnosti skutečně vstřikovaného paliva a korekce na aktuální teplotu motoru.
- Regulace plnicího tlaku - jedná-li se o přeplňovaný motor, regulace nastává na základě otáček motoru, hmotnosti a teploty nasávaného vzduchu.
- Systém žhavení motoru - kdy se dle teploty motoru určuje délka žhavení.



Základem pro řídicí jednotku je získávání jednotlivých provozních dat ze snímačů. Tyto snímače se dají rozdělit na[8]:

Napěťové snímače

Snímače poskytující vstupní informace o stavu motoru do řídicí jednotky (např. teplota motoru, teplota nasávaného vzduchu, atd.).

Charakter těchto informací (vysílaných signálů) je jako měnící se napětí v čase. Poté jsou zpracovávány řídicí jednotkou podle jejího naprogramovaného datového pole.

Impulzní snímače

Jsou přímo ovládány řídicí jednotkou (např. vstřikovací ventil, ventil odvětrání nádrže) na základě vyhodnocení řídicích informací z napěťových snímačů.

Při poruše či neobdržení příslušného vstupního signálu vysílá řídicí jednotka náhradní program, aby nedošlo k případnému ohrožení a poškození motoru.

Lambda sonda

Je jeden z nejdůležitějších snímačů regulující vstupy a výstupy do řídicí jednotky pro klidný chod motoru.

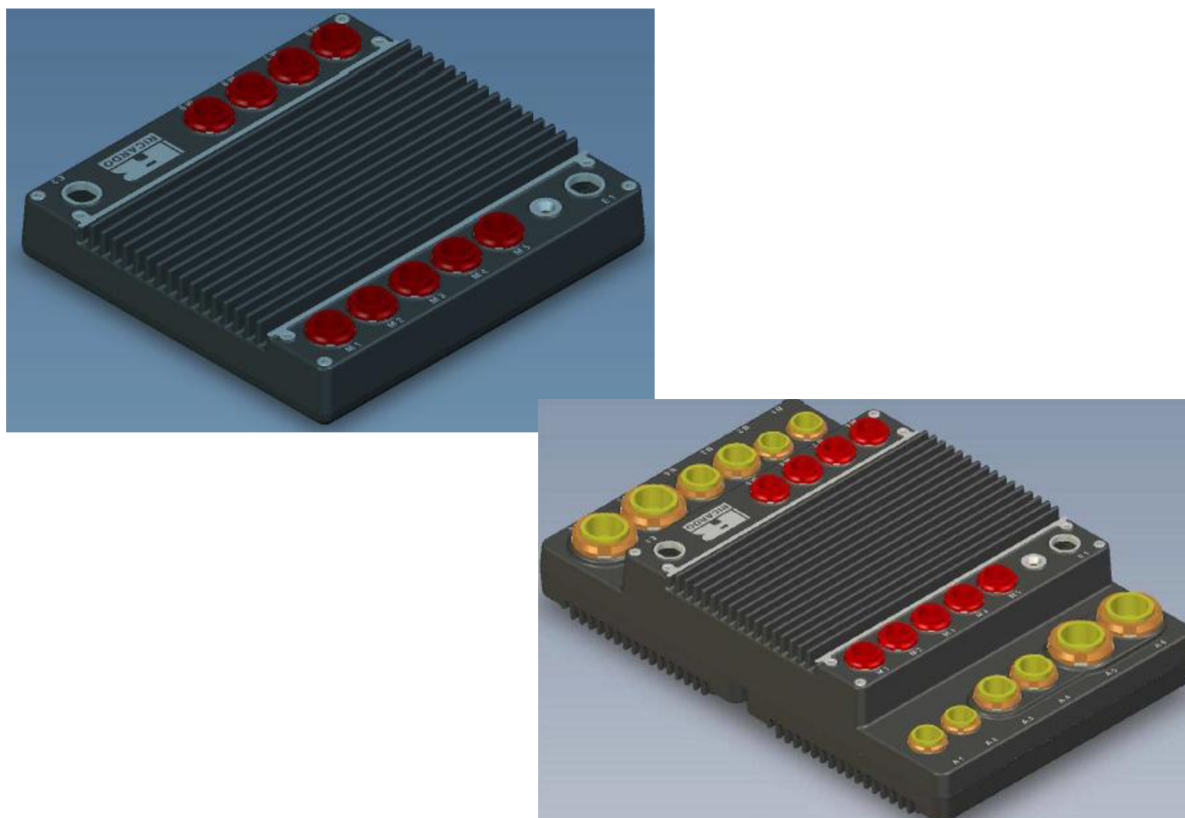
Měří množství nespáleného kyslíku ve výfukových plynech a má vliv na bohatost směsi.

1.2 PŘEHLED ELEKTRONICKÝCH ŘÍDICÍCH JEDNOTEK

Vyráběné řídicí jednotky se zpravidla dělí podle výrobce a podle druhu použití. Mezi nejznámější výrobce řídicích jednotek vozidel patří především firma Bosch.

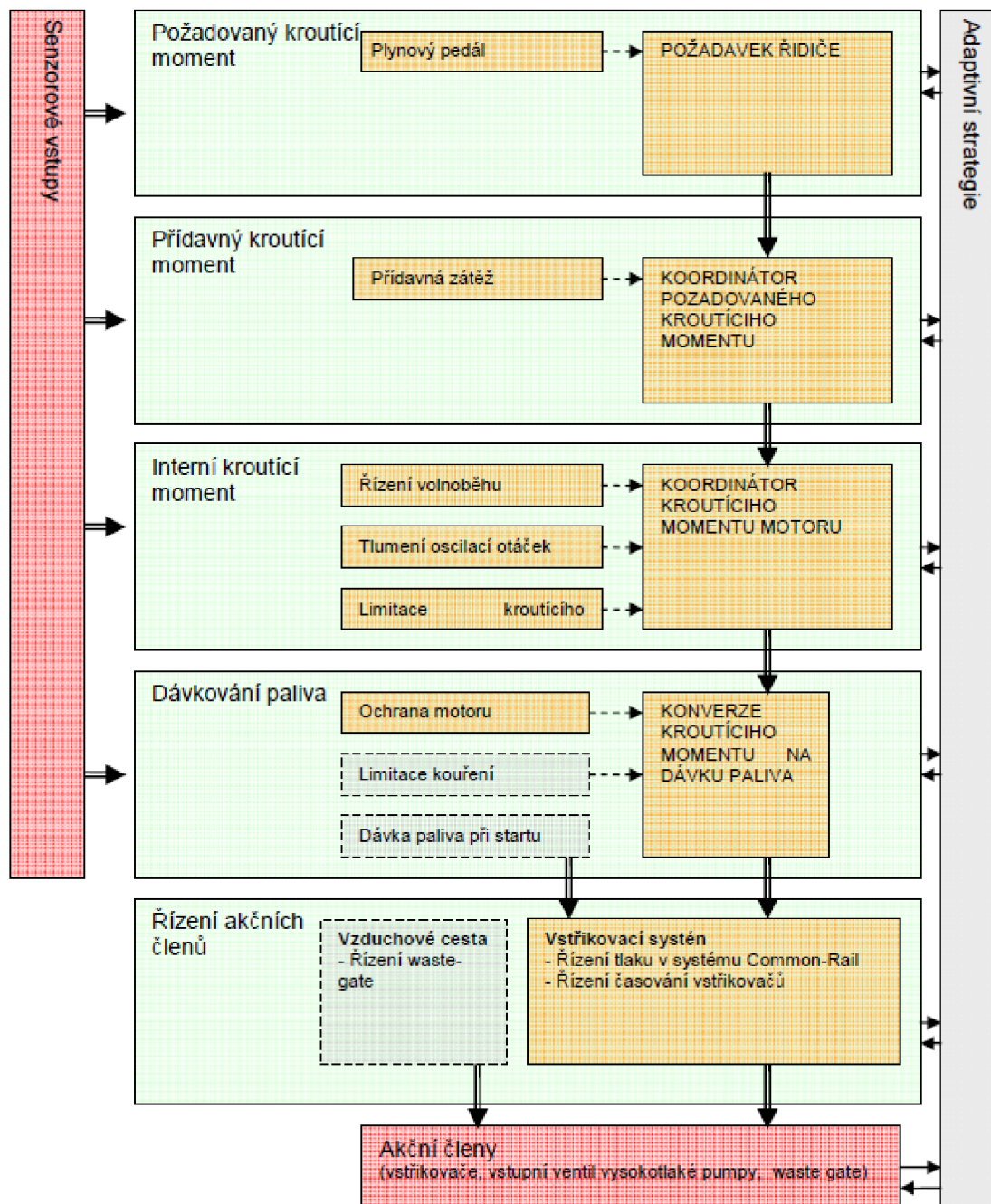
1.2.1 ŘÍDICÍ JEDNOTKA MORFEUS [4]

Řídicí jednotka Morfeus je určena pro vývoj a optimalizaci řídicího softwaru, ale i systémů obvyklých v dopravních prostředcích. Základem této jednotky je řízení a ladění spalovacích motorů, ale koncepce umožňuje použití jednotky také pro účely vývoje vozidlových systémů bezpečnosti či převodovek.



Obr.2 Řídicí jednotka Morfeus(Microboard) [4]

Základní řídicí algoritmus jednotky je zde upravován interakcí s pokročilými řídicími algoritmy, které se zakomponují do celkové výsledné strategie jako přídavná komponenta, viz obr. 3. Tímto přístupem se docílí plné integrace komponenty pro umožnění ovládní všech aktivních členů. Současně je zajištěn přístup k výstupům základního řídicího algoritmu.



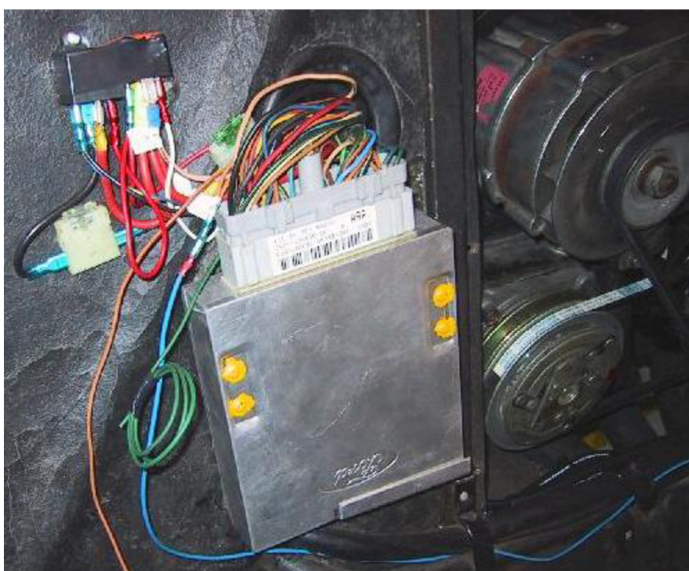
Obr.3 Základní řídicí strategie jednotky [4]



1.2.2 ŘÍDICÍ JEDNOTKA FORD EEC [11]

Výraz EEC je zkratka Electronic Engine Control neboli systém elektronického ovládání motoru. Jedná se o řídicí jednotku vstřikování, která je používána k elektronickému řízení nejrůznějších procesů ve vozidle. Jednotky řídicí vstřikování paliva jsou řazeny mezi širší skupinu nazývanou Programovatelné systémy řízení provozu a jejich hlavním úkolem je dodávat do motoru takovou směs paliva a vzduchu, která při zapálení svíčkou rychle shoří a přemění se na přenositelnou sílu.

Ford začal aplikovat elektronické vstřikování do automobilů již v roce 1978, v roce 2005 byla vyrobena 8. generace EEC. Se vzrůstající generací EEC byla jednotka vždy upravována a modernizována o další funkce (např. OBD-II, EGR, časování zážehu, atd.).



Obr.4 Řídicí jednotka Ford EEC-IV [11],[12]

Provozní situace jednotky jsou rozděleny na dvě skupiny:

1. **základní** (nutné pro běh motoru)
2. **záložní** (emise a autodiagnostika)



ZÁKLADNÍ PROVOZNÍ SITUACE

Start / spouštění motoru

K nastartování motoru potřebuje EEC zaznamenat několik základních údajů:

- napájení EEC a palivového čerpadla
- pomalý a nepravidelný signál z rozdělovače
- signál z absolutního tlaku sání a váhy vzduchu, nízký a nepravidelný
- hodnota snímače polohy škrticí klapky: uzavřeno
- lambda: chudá směs

Dávka benzínu je stanovena na základě informací o teplotách chladicí kapaliny a nasávaného vzduchu, čím nižší teplota, tím více paliva. Volnoběžný ventil je naplno otevřen, tím je umožněno bezproblémové startování na pokyn řidiče. Ihned po zastavení startéru, resp. nastartování motoru je časování upravováno dle dat přijímaných teplot chladicí kapaliny a nasávaného vzduchu, hodnot absolutního tlaku sání a váhy vzduchu.

Studený start a zahřátí motoru

Právě rozběhnutý motor se musí přizpůsobit okolí. Základním parametrem je teplota chladicí kapaliny, která by měla být vyšší než 70°C. Jednotka řeší především teplotu chladicí kapaliny a polohu plynového pedálu. Čím je chladnější motor, tím více paliva je vstřikováno. Úprava zážehu je progresivnější až do teploty motoru přibližně 80°C, zde směs začíná chudnout. Tímto postupem se výrazně zkracuje doba nutná k zahřátí motoru a katalyzátoru na provozní teplotu.

Odjezd se studeným motorem

Teplota v chladiči nepřekročila 85°C. Podle polohy plynu a absolutního tlaku sání a váhy vzduchu jednotka soudí, že je fáze odjíždění. Zde je cílem jízda vozidla bez zhasnutí motoru a jeho rychlé zahřátí. Volnoběžný ventil je zcela uzavřen, což působí jako pojistka pro případ, kdyby se těleso škrticí klapky zavřelo. Do válců je nasávána bohatá směs, která se mění v závislosti na stoupající teplotě. Nad 77°C je poměr směsi menší než 15:1, dříve se dosáhne pracovní teploty motoru.

Volnoběh s ohřátým motorem

Teplota v chladiči je vyšší než 85°C. Dávkování paliva je regulováno v uzavřené smyčce. Chudá směs = lambda příkazuje směs obohatit, bohatá směs = lambda příkazuje směs



ochudit tak, aby průměrný poměr paliva a vzduchu díky cyklickým příkazům lambda sondy dosahoval žádané hodnoty 14,7:1.

Akcelerace s úplně sešlápnutým plynem

Bohatost směsi je předem dána, jednotka posune časování zážehu a sleduje čidlo klepání. Sání vzduchu je otevřeno na 100%. Klimatizace, elektrický větrák a ostatní energeticky náročné systémy se odpojí.

Zpomalování

Řídicí jednotka zaznamená změnu polohy pedálu a snížení rychlosti auta. Jednotka brání zhasnutí motoru, omezovač přístupu vzduchu při volnoběhu je otevřen, aby nedošlo k náhlému uzavření škrticí klapky.

ZÁLOŽNÍ PROVOZNÍ SITUACE

Stav poruchy

Stav poruchy je záložní situace, kterou řídicí jednotka používá při havárii, nefunkčnosti nebo výpadku dat z jednoho, případně více čidel. Jednotka zjišťuje, že data z určitého čidla jsou mimo tabulkové rozmezí.

1.2.3 ŘÍDICÍ JEDNOTKA EFI TECHNOLOGY EURO-4 [13,14,15]

EFI Technology je společnost, která se původně od roku 1985 specializovala na vývoj a konstrukci motorových řídicích systémů pro F1. Nyní se zaměřuje na vývoj a konstrukci elektronických řídicích systémů pro motosport a výkonné cestovní vozy.

Všechny řídicí systémy motoru mají plně automatický mód mapování vstřikování paliva.

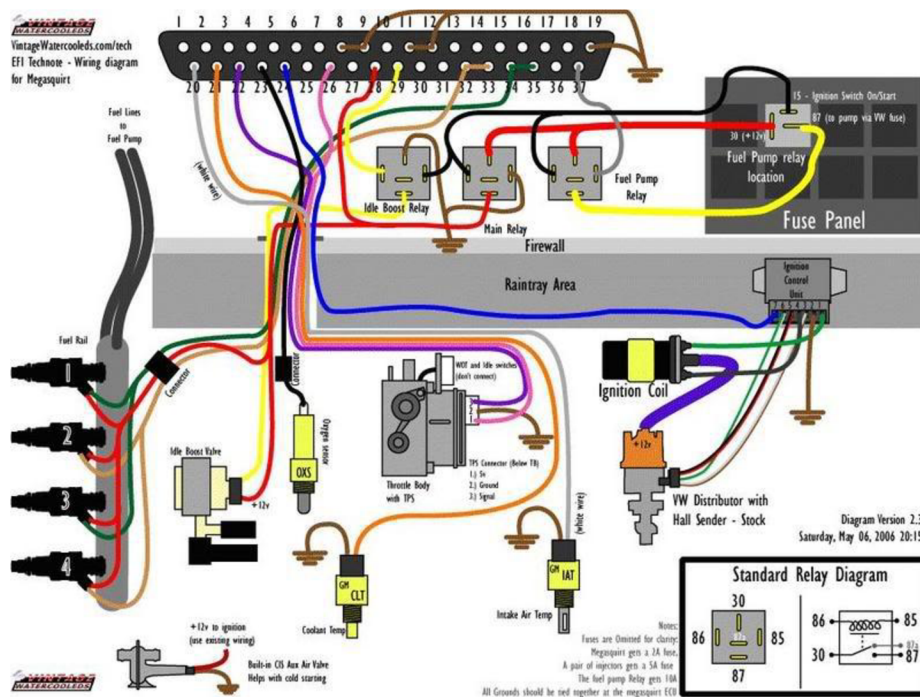
Řídicí jednotka Euro-4 je jednou z poslední generace jednotek EFI Technology. Patří mezi nejvýkonnější řídicí jednotky, které byly vyvinuty touto firmou.



Obr.5 Řídicí jednotka EFI Technology Euro-4 [14]

Její použití je vhodné v sériových i závodních vozech. Jednotka obsahuje dva nezávislé kanály pro detekci detonací. Lambda sonda má možnost připojení přímo k řídicí jednotce a lze jí využít pro unikátní automatizované mapování motoru v uzavřené smyčce. Jednotka má vestavěný ovladač H pro ovládání elektronické klapky plynu. Umožňuje plně sekvenční vstřikování a zapalování pro motory se 4 - 8 válci a jeho automatické řízení. Do řídicí strategie vstupuje dále rovněž řízení proměnného časování vačkových hřídelí, automatická funkce řízení plnicího tlaku u turbomotorů a elektronické ovládání klapky plynu.

Software obsahuje kombinaci editoru a komunikace s řídicí jednotkou. To umožňuje úpravy stávajících map v reálném čase. Veškeré změny vytvářené v mapách jsou ihned zaslány do řídicí jednotky, čímž se značně urychluje samotný proces mapování.



Obr.6 EFI schéma [16]



1.2.4 ŘÍDICÍ JEDNOTKA PRO PDM K1 [5,17]

Firma proPDM se zaměřuje na vývoj speciálních elektronických systémů závodních motorů. Jednou z jejích předností je možnost využití běžně používaných elektronických snímačů a komponent z automobilového průmyslu.

Řídicí jednotka proPDM K1 je speciální mikroprocesorové zařízení určené k řízení vstřikování, zapalování a ostatních funkcí závodních motorů bez turbodmyhadla. K řízení je použito 32-bitové technologie, čímž je dosaženo velmi vysoké přesnosti. Jednotka je vytvořena jako stavebnicový systém umožňující různou konfiguraci funkcí podle aktuálních potřeb.



Obr.7 Řídicí jednotka proPDM K1 [5]

Funkce řídicí jednotky

Řízení vstřikované dávky paliva:

- Řízení vstřikování - řízení vstřikovací dávky paliva se provádí podle zadané palivové mapy v závislosti na poloze škrtkové klapky motoru a jeho otáčkách. Je možná možnost využití dvou palivových map. Volba aktuálně použité mapy se provádí přepínačem, a to i za chodu motoru. Možnosti vstřikování jsou buď sekvenční, skupinové nebo simultánní.
- Korekce na tlak a teplotu vzduchu - základní vstřikovací dávka zadaná v palivové mapě je upravována dle aktuální teploty a tlaku vzduchu, čímž je dosaženo optimálního plnění motoru.



- Funkce odvětrání motoru - při startování motoru s klapkou otevřenou více než na 85% nedochází k vstřikování paliva do motoru. Tímto je možné motor odvětrat při jeho zahlcení palivem.
- Startovací korekce - nastavení vstřikované dávky paliva pro start a ohřátí motoru.

Řízení zapalování:

- Řízení zapalování - možnost řízení předstihu podle zadané 3D mapy v závislosti na poloze škrticí klapky a otáčkách motoru.
- Nastavení energie jiskry - řízení zapalování udržuje stálou energii jiskry na svíčke nezávisle na otáčkách motoru, ale lze ji měnit a nastavovat pro bezpečné zapálení směsi ve všech režimech motoru.

Řízení ostatních funkcí:

- Ovládání palivové pumpy - bezpečnostní funkce vypínání palivové pumpy při zastavení motoru s možností ovládní doby tlakování paliva.
- Ovládání ventilátoru chlazení - podle teplot chladicí kapaliny dochází k zapnutí a vypnutí ventilátoru chladiče.

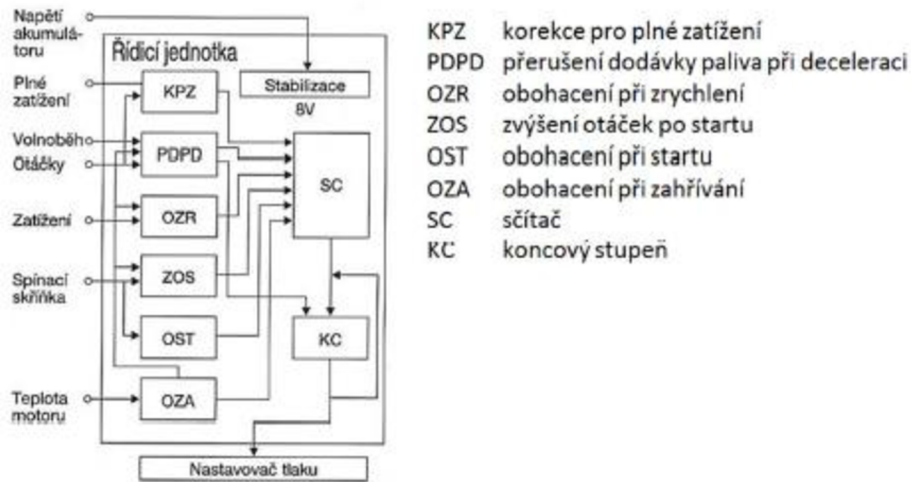
1.2.5 ŘÍDICÍ JEDNOTKA BOSCH KE JETRONIC [2,6]

V této jednotce se využívá systému plynulého vstřikování, protože vstřikovací ventily se otevírají a vstřikují palivo od chvíle, kdy tlak benzínu dosáhne nastavené hodnoty. Uzavírací jehly však ve skutečnosti nepřetržitě vibrují a vstřikují palivo. Směs vzniká smísením nasávaného vzduchu s rozprášeným palivem.

Elektronická řídicí jednotka udává množství paliva jednak v závislosti na množství nasávaného vzduchu, i v závislosti na daných provozních podmínkách motoru, které jsou vyhodnocovány ze signálů od snímačů (např. snímač škrticí klapky, snímač teploty motoru, snímač tlaku, lambda sondy, atd.).



Po vyhodnocení všech signálů řídicí jednotka zvolí velikost řídicího proudu pro elektrohydraulický regulátor tlaku.



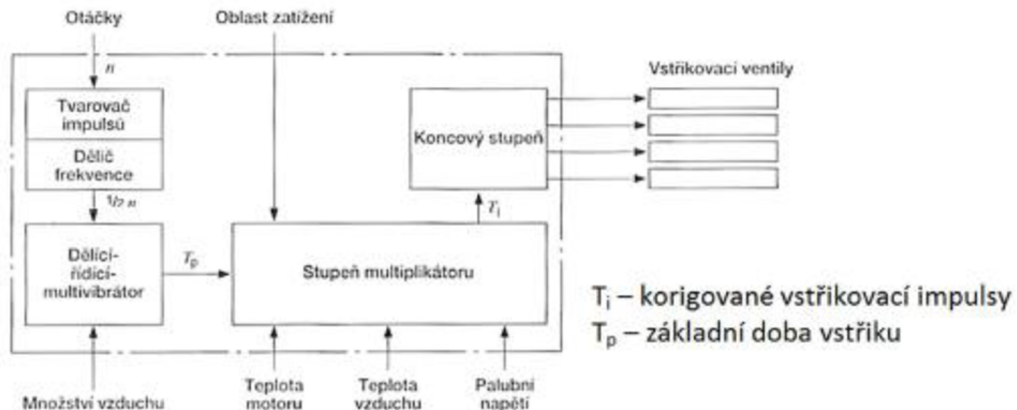
Obr.8 Blokové schéma jednotky KE-Jetronic [2]

1.2.6 ŘÍDICÍ JEDNOTKA BOSCH L JETRONIC [3,6]

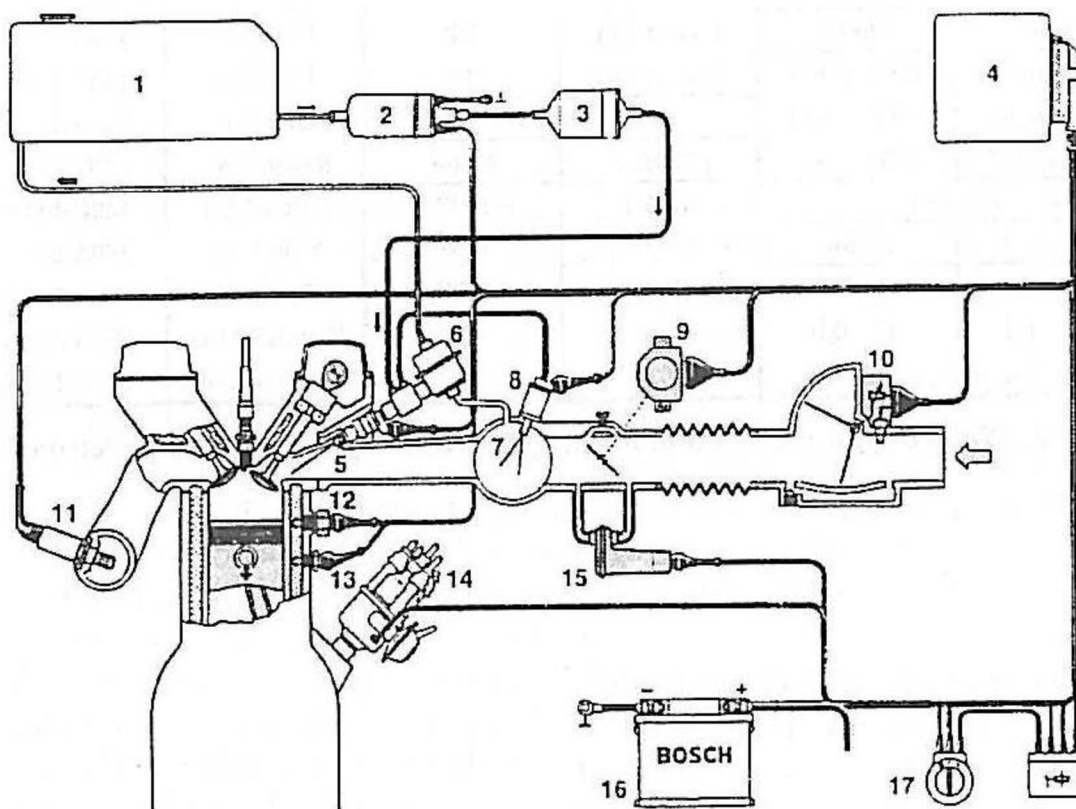
Elektronicky řízený vstřikovací systém s přerušovaným vstřikováním paliva do sacího potrubí. Stejně jako u KE-Jetronic se sledují všechny podstatné změny v chodu motoru.

Vstřikované množství paliva je dáno délkou vstřiku (dobou otevření vstřikovacího ventilu) a závisí jednak na množství nasávaného vzduchu, i na dalších hodnotách udávaných jednotlivými elektronickými snímači (např. snímač polohy škrtkové klapky, snímač teploty a otáček motoru, snímač teploty a tlaku nasávaného vzduchu, atd.).

Řídicí jednotka vyhodnocuje signály z těchto snímačů, ale hlavní veličiny, které elektronická řídicí jednotka hlídá, jsou otáčky motoru a množství nasávaného vzduchu.



Obr.9 Blokové schéma jednotky L-Jetronic [3]



Obr.10 Schéma systému L-Jetronic s lambda regulací [18]

1. Palivová nádrž
2. Elektrické palivové čerpadlo
3. Palivový filtr
4. Řídicí jednotka
5. Vstřikovací ventil
6. Rozdělovací potrubí a regulátor tlaku
7. Sběrné sací potrubí
8. Ventil studeného startu
9. Spínač škrticí klapky
10. Měřič množství vzduchu
11. Lambda sonda
12. Teplotní časový spínač
13. Snímač teploty motoru
14. Rozdělovač
15. Šoupátko přidavného vzduchu
16. Baterie
17. Spínací skříňka zapalování



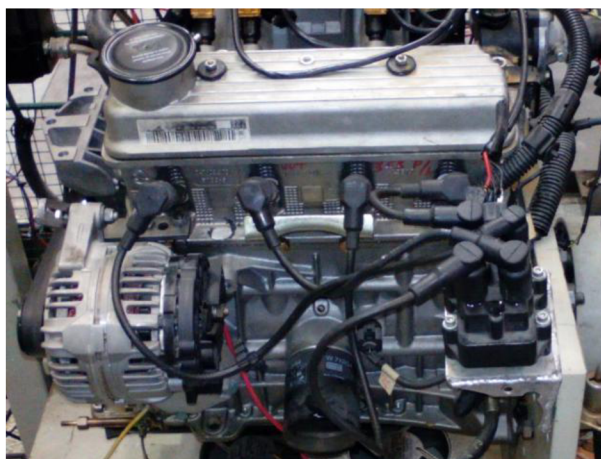
2 MĚŘENÍ MOTORU

2.1 MĚŘENÝ MOTOR

Pro vytvoření základní metodiky výpočtu daných parametrů řídicí jednotky byl určen čtyřtákní čtyřválcový motor Škoda 1.0 MPI. Tento motor byl zvolen, protože je dostupný na zkušebně ústavu automobilního a dopravního inženýrství a lze na něm simulovat prakticky veškeré jízdní režimy. Motor je vybaven elektronicky řízeným vstřikováním a zapalováním.

Technické údaje motoru

Typ konstrukce:	kapalinou chlazený čtyřtákní čtyřválcový motor
Zdvihový objem:	997 cm ³
Vrtání:	72 mm
Zdvih:	61,2 mm
Kompresní poměr:	10:1
Otáčky volnoběhu:	1700 - 1800 ot/min
Typ rozvodů:	OHV, 2 ventily na 1 válec
Příprava směsi:	elektronicky řízené přímé vstřikování paliva
Zapalování:	elektronicky řízené



Obr.11 Motor Škoda 1.0 MPI

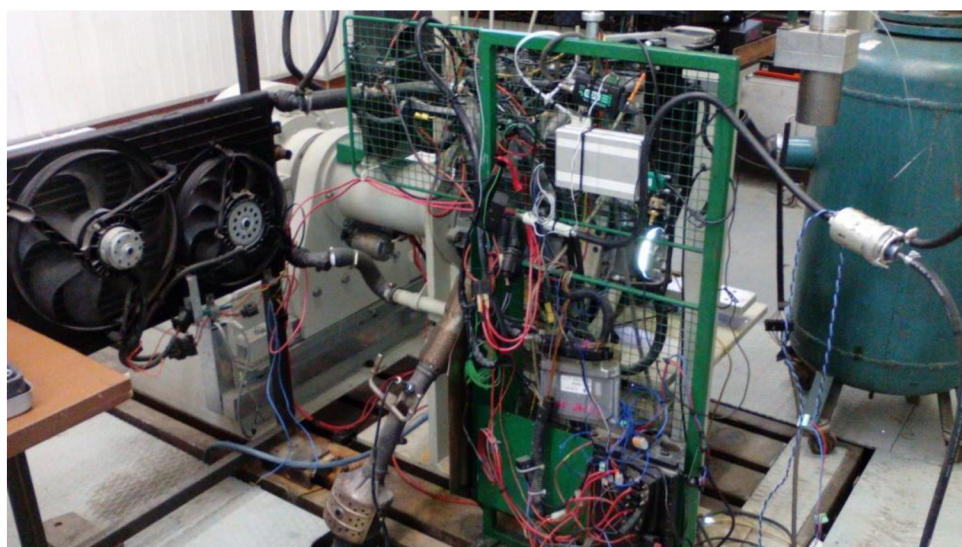


2.2 ZKUŠEBNA MOTORU

Měřený motor byl umístěn na zkušebně motorů na zkušebním stanovišti V 125. Tento motor byl připojen na motorové brzdě reprezentované vířivým dynamometrem pro možnosti simulace jízdy v jednotlivých režimech motoru. Dále byl připojen systém přívodu paliva, chlazení a výfukové vedení pro odvod spalin. Samotný motor a jeho části byly osazeny snímači pro měření širokého rozmezí potřebných údajů a řídicím rozvaděčem PLC. Pro elektronické řízení motoru byl motor osazen programovatelnou řídicí jednotkou Emerald K3.



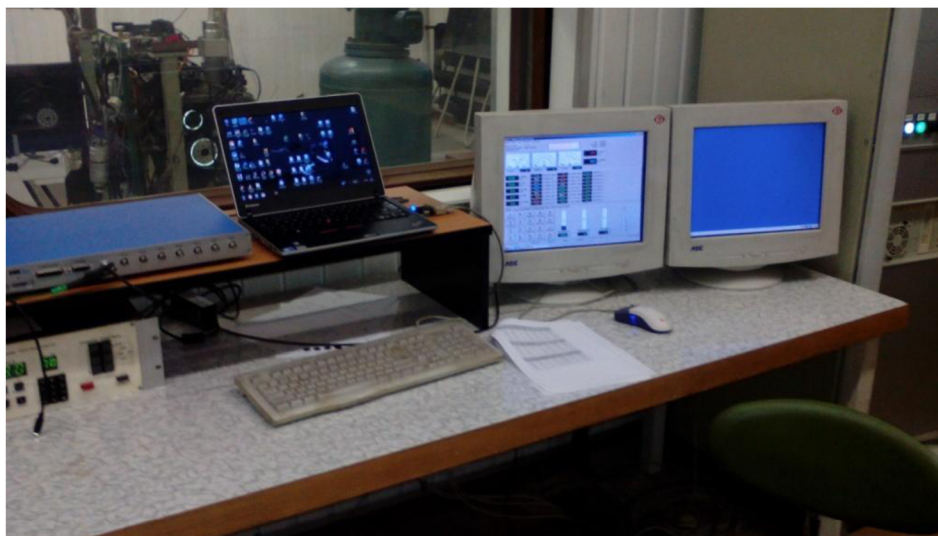
Obr.12 Motor Škoda umístěný na zkušebně



Obr.13 Osazení motoru elektronikou a řídicí jednotkou



Samotné měřicí stanoviště zkušebny je opatřeno počítačovou sběrnou centrálou pro sběr a vyhodnocování dat, které jsou dále zpracovávány a zobrazovány pomocí počítačového softwaru v reálném čase.



Obr.14 Měřicí stanoviště zkušebny

Základním použitým prvkem, jehož bylo využito při měření dat, byl Angle Controller, který slouží k přesnému ovládání servopohonu natáčení škrticí klapky.



Obr.15 Modul pro ovládání servopohonu škrticí klapky

Softwarové vybavení zkušebny je reprezentováno programem CMSW. Účelem programu CMSW (computer management system work) je zjednodušení práce při ovládání brzdového stanoviště. Tento program zajišťuje sběr dat, jejich archivaci a vyhodnocení. Dále umožňuje automatizovat opakující se měření na brzdovém stanovišti pomocí tzv. automatických zkoušek. Zajišťuje také nepřetržitou kontrolu všech měřených veličin a při správné konfiguraci zaručí okamžitou a správnou reakci na překročení kterékoliv z měřených veličin, čímž se předejde poškození testovaného motoru. [7]

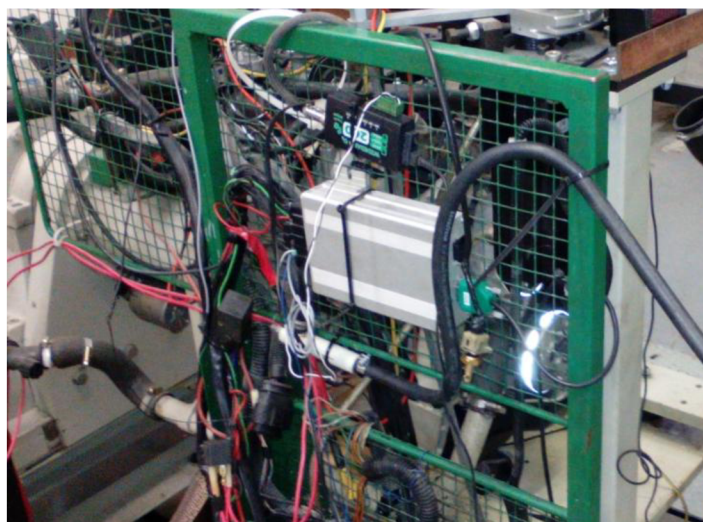


Obr.16 Ukázka prostředí programu CMSW

V našem případě byl motor opatřen programovatelnou elektronickou řídicí jednotkou, která umožňuje přesné 3D mapování (optimalizaci dat) pro řízení nejčastějších typů atmosférických i přeplňovaných motorů. ŘJ může plně řídit elektronické zapalování a je schopna sekvenčně ovládat vstřikovací ventily. Disponuje datovým rozhraním CAN (controller area network) pro komunikaci s ostatními systémy a mnoha dalšími doplňkovými funkcemi vhodnými pro řízení motoru. Je založena na 32-bitovém procesoru a programovém vybavení pracujícím pod systémem Windows. Pro paměť programu a kalibraci je k dispozici celkem až 1MB paměti, která je součástí čipu procesoru. Pro záznam přechodných dějů a změny nastavení při ladění během chodu motoru je osazena paměť RAM 512KB. Pro záznam závad a událostí je určena paměť EEPROM s kapacitou do 256KB. [7]



Obr.17 Programovatelná ŘJ motoru [7]



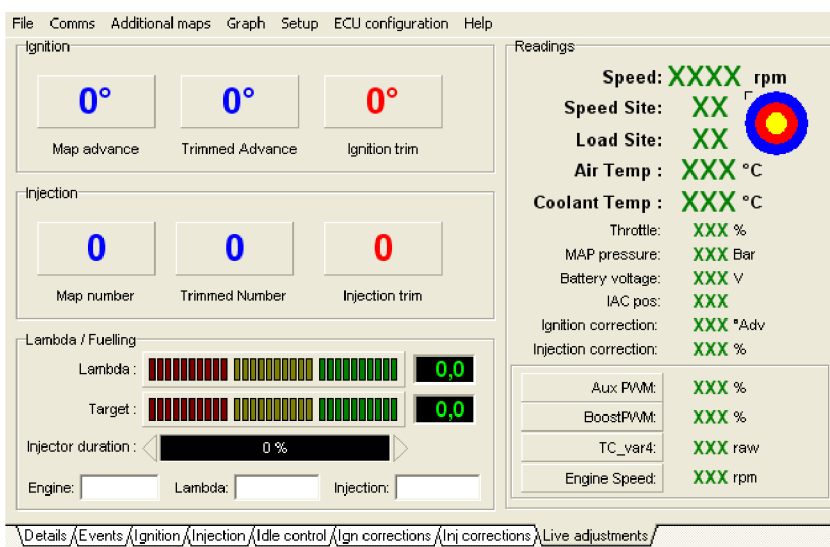
Obr.18 Osazení motoru ŘJ



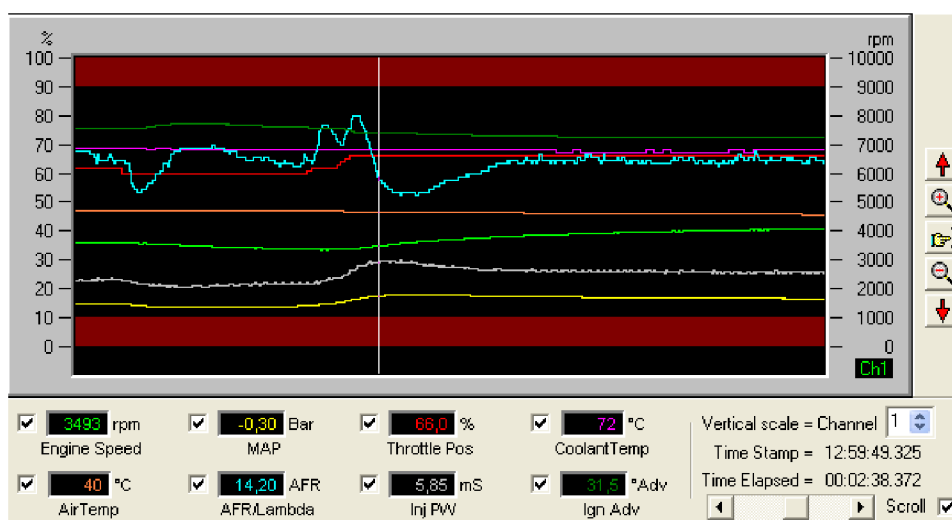
Pro práci, sledování a zapisování dat přímo z programovatelné řídicí jednotky Emerald K3, kterou je motor pro jeho řízení osazen, slouží příslušný originální software Emerald K3 v1.0.

V prostředí tohoto programu lze sledovat výčet parametrů při běhu motoru online. Tyto parametry jsou reprezentovány jak hodnotami teploty motoru či nasávaného vzduchu, jakožto snímaných parametrů na motoru, tak také především hodnoty regulované řídicí jednotkou. V našem případě byl nejdůležitější parametr aktuální doby vstřiku paliva.

Software Emerald umožňuje časoměrné monitorování a zapisování uživatelsky zvolených parametrů v grafickém rozhraní pomocí data loggeru s následnou možností převodu a uložení těchto dat pro možnost dalšího zpracování.



Obr.19 Prostředí programu Emerald K3 v1.0



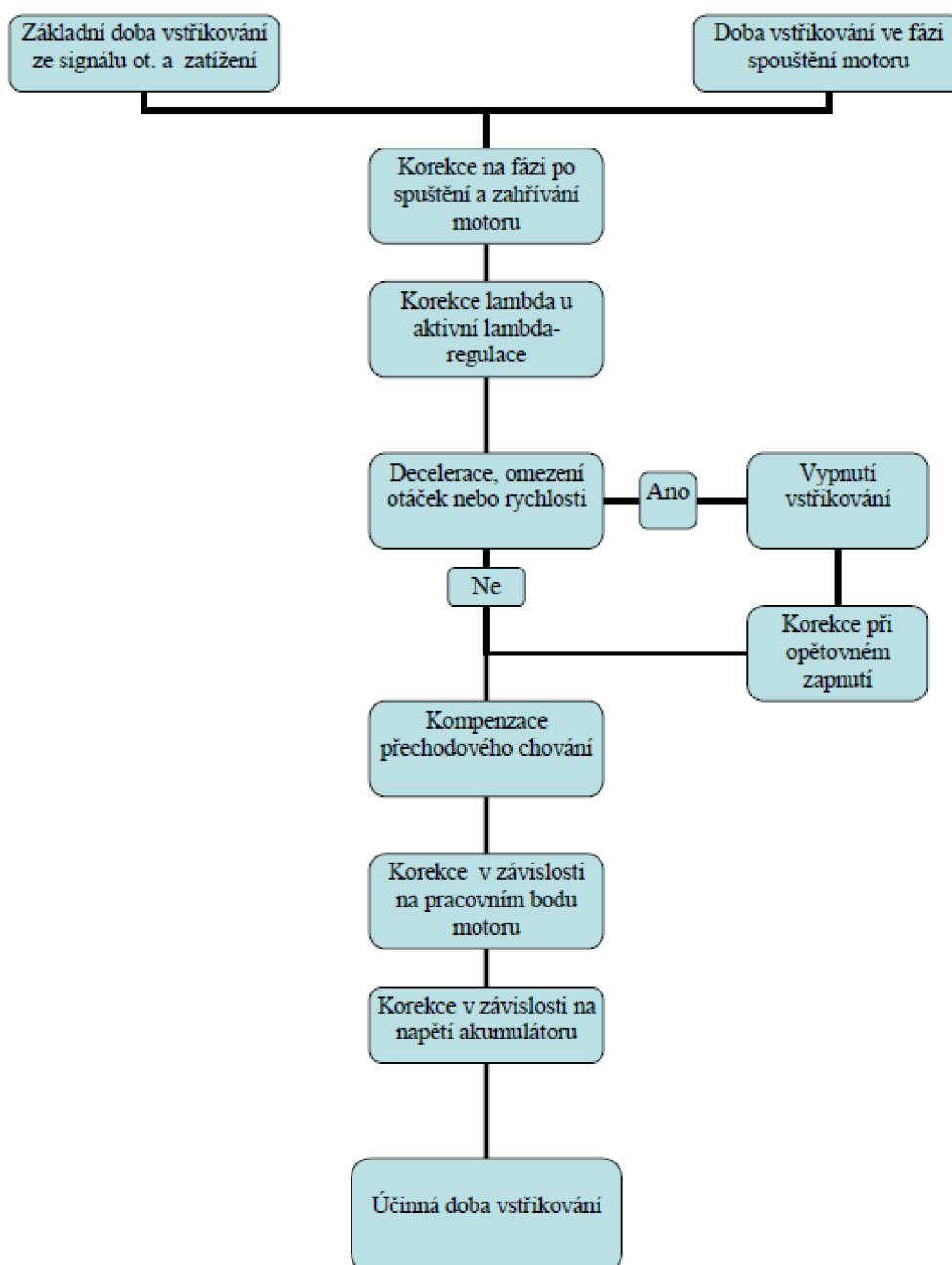
Obr.20 Data logger pro záznam dat



3 STRATEGIE A MĚŘENÍ PROVOZNÍCH VELIČIN

3.1 STRATEGIE

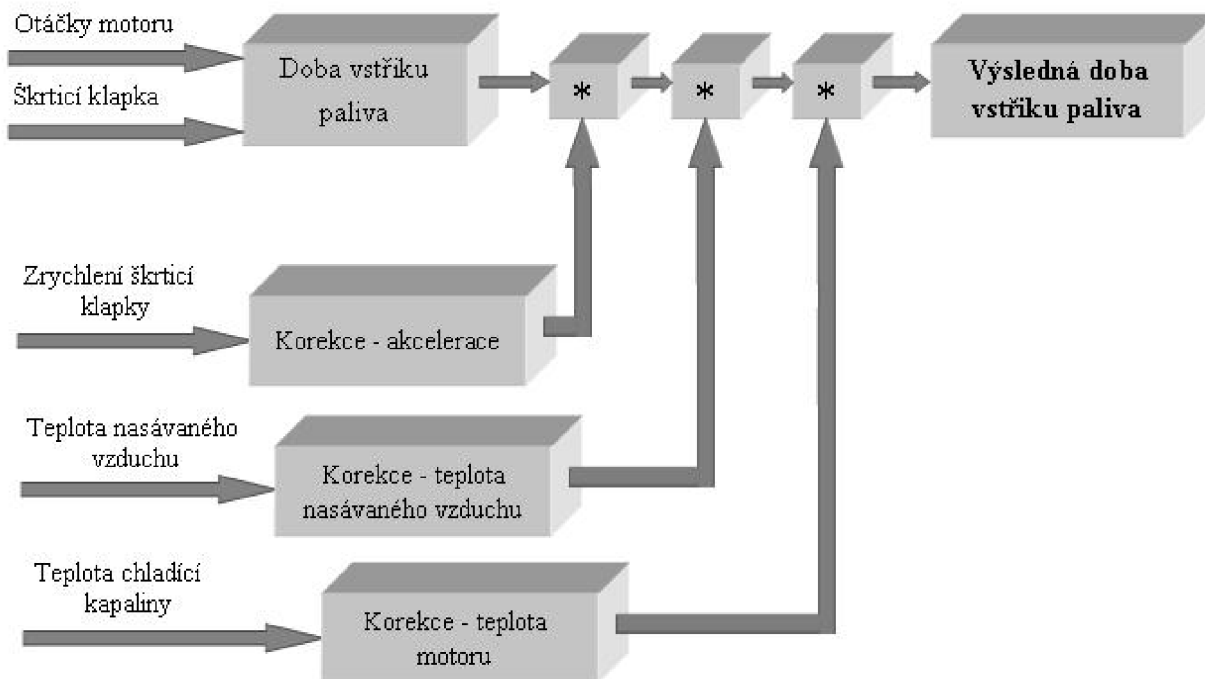
Řídicí jednotky motoru pracují na základě určité dané strategie, algoritmu výpočtu a řízení. To v praxi znamená, že příslušná řídicí jednotka snímá velké množství parametrů, které neustále vyhodnocuje a na jejímž základě řídí a reguluje činnost motoru.



Obr.21 Příklad výpočtu účinné doby vstřikování [7]



Tato strategie je pro vytvoření příslušné metodiky stanovení parametrů řídicí jednotky velmi složitá. Na základě možnosti měření a důležitosti jednotlivých parametrů byla strategie zjednodušena, viz obr. 22 tak, aby bylo nalezení příslušné metodiky reálné a zároveň se tímto zjednodušením docílilo přijatelné přesnosti výsledných parametrů.



Obr.22 Zjednodušený výpočet doby vstřikování

3.2 MĚŘENÍ PROVOZNÍCH VELIČIN

Pro měření dat, určení a ověření metodiky stanovení parametrů řídicí jednotky byla uvažována zjednodušená řídicí strategie, viz obr. 22. Řídicí jednotka byla nastavena pomocí lambda regulace na lambda rovno 1, kdy se v tomto případě řídicí jednotka snaží v každém provozním bodě motoru, který je daný na základě uživatelských parametrů, zregulovat vstřikování paliva tak, aby bylo, pokud je to možné, dosaženo vždy stechiometrické směsi.

Praktické měření provozních veličin (dat) probíhalo prostřednictvím programu CMSW, viz obr. 16, v němž byly definovány uživatelské požadavky na měření, měřený motor a kontrola mezních hodnot.

Pro snímání a záznam měřených dat bylo využito softwaru Emerald (viz kapitola 2.2), byl měřen průběh všech požadovaných parametrů v reálném čase a dále pak uložen pro další zpracování v dané metodice.



Prvotním měřením byla získána úzká sada dat skládající se z provozních veličin motoru, viz obr. 23, která však budou reprezentovat celou oblast intervalů možnosti otáček motoru a procentuální natočení škrtecí klapky. Na základě každého intervalu byla měřena hodnota doby vstřiku pro určení příslušných korekcí a použitelnosti dat dle hodnoty teploty motoru a teploty nasávaného vzduchu a jako dalších požadovaných parametrů hodnota předstihu.

Otáčky	Moment	Výkon	T - vzduch	T - vody	T - výfuk	Map	Předstih	Doba vst.	mpe	25%
1500	50	7,91	25,4	67,4	581,3	0,21	22	5,8	2,499	25
2000	45	9,45	25,2	80,2	612	0,31	27	4,9	2,878	25
2500	35	9,1	25,1	68,6	632	0,44	31	4,2	3,066	25
3000	28	8,88	25,1	80,5	642,2	0,52	35	3,6	3,196	25
3500	20	7,12	25,2	69,5	655,2	0,6	40	3,1	3,131	25
4000	13	5,41	25,4	73,5	695,7	0,66	39	2,9	3,178	25
										30%
1500	56	8,85	21	65	578	0,19	22	6,2	2,518	30
2000	50	10,44	21,3	69,7	616	0,28	26	5,4	3,072	30
2500	42	11,17	21,6	66,1	644,4	0,38	31	4,8	3,419	30
3000	34	10,8	21,9	74,5	661,3	0,47	35	4,3	3,57	30
3500	25	9,25	22,2	72	673,1	0,54	38	3,6	3,674	30
4000	18	7,53	22,5	65,5	692,2	0,63	38	3,1	3,657	30
4500	14	6,07	23	73	733,6	0,67	39	3	3,702	30
										35%
1500	62	9,68	20,3	77	592,3	0,13	21	6,8	2,783	35
2000	58	12,12	20,8	80,1	641,7	0,19	25	6,1	3,426	35

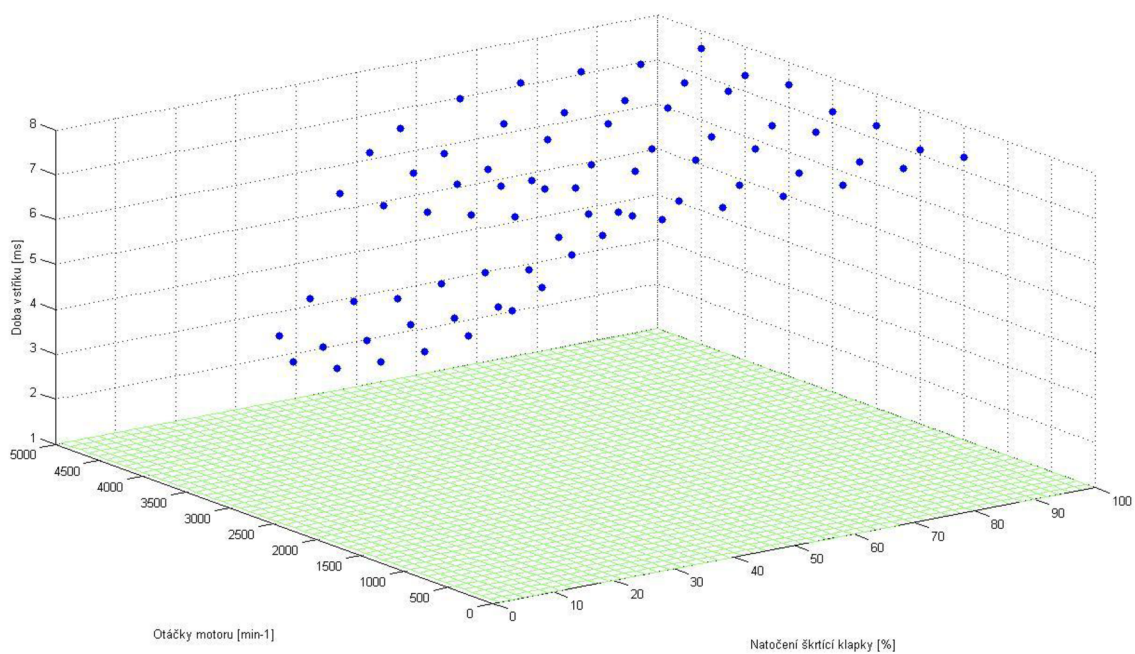
Obr.23 Ukázka hodnot sady měřených provozních veličin

Toto měření sady provozních veličin bylo voleno záměrně, aby na základě takto získaných dat byla zvolena výhodná startovací pozice pro tvorbu a naprogramování příslušné metodiky stanovení parametrů.

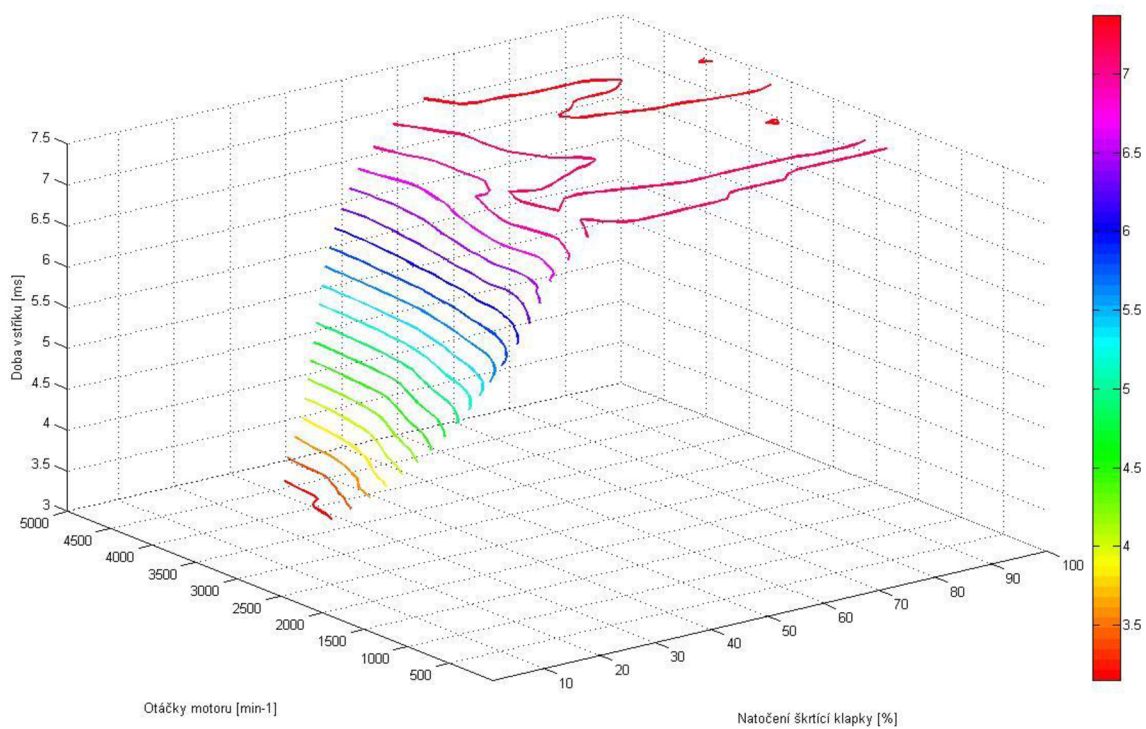
Tato data, viz tab. 1, nejsou nijak vypovídající, protože jejich množství je minimální a byly zaznamenávány ručně. Měření bylo provedeno v širokém pásmu rozmezí teplot motoru a teplot nasávaného vzduchu. Tím je dáno, že příslušná doba vstřiku a ostatních parametrů byla značně korigována. V neposlední řadě bylo pro získání těchto specifických dat nutné nastavení ostatních parametrů motoru tak, aby bylo vždy dané potřebné oblasti dosaženo.

Tab. 1 Mapa vstřiku měřených dat [ms]

Otáčky [min ⁻¹]	Škrtecí klapka [%]									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1500	-	5,5	6,2	7,2	6,6	7,1	7,1	7,1	7,2	7,1
2000	-	4,9	5,6	6,8	6,9	6,6	6,7	7,0	7,0	7,1
2500	-	4,0	5,1	7,0	7,1	7,2	7,2	7,2	7,3	7,2
3000	-	3,6	4,5	6,7	6,9	7,0	7,1	7,1	7,1	7,2
3500	-	2,9	4,0	6,4	6,8	7,2	7,3	7,4	7,4	7,6
4000	-	2,9	3,4	6,2	6,8	7,2	7,2	7,4	7,3	7,4
4500	-	-	3,3	6,3	7,0	7,4	7,5	7,5	7,4	7,4



Obr.24 Mapa vstřiku - měřená sada dat



Obr.25 Mapa vstřiku pomocí vrstevnic - měřená sada dat



Měření reálných dat motoru pro aplikaci vytvořené metodiky stanovení parametrů, viz obr. 22, bylo prováděno na stejném motoru Škoda 1.0 MPI (viz kap. 2.1). Při tomto měření již bylo zaznamenáváno velké množství parametrů pro možné vyhodnocení a získání co nejreálnějšího výsledku s vyloučením možných chyb měření či snímačů. Tato data byla již zaznamenávána automaticky pomocí softwaru, viz obr. 26. Pro vytvoření reálného experimentu a získání co nejreálnějších dat z měření bylo záměrem nasimulovat jízdu automobilu v různých jízdních režimech a zatíženích. Avšak i za značné snahy nebylo možné se při těchto simulacích jízdy motoru upevněného na stavu motorové brzdy ve zkušebně dostat do všech možných oblastí, aby bylo možné získat hodnoty celého rozmezí natočení škrticí klapky v celém průběhu otáček motoru. Tato nedokonalost se výsledně projevila ve stanovené mapě vstřiku, kde v některých oblastech data chyběla.

Tímto daným měřením však bylo získáno značné množství dat, viz obr. 27, pro vyhodnocení a stanovení určených parametrů řídicí jednotky. Základní soubor dat činil 49 121 změřených hodnot vstupujících do daného programového vyhodnocení a daná data byla měřena frekvencí 15 Hz. Po projetí algoritmu stanovené metodiky došlo k vyloučení dat nesplňujících některý z daných požadavků. Výsledného stanovení mapy vstřiku i stanovení ostatních parametrů se účastnilo 33 196 hodnot.



Obr.26 Měření a záznam dat v data loggeru softwaru Emerald



Emerald M3DK data log									
06.05.2015 18:51									
50% data sample									
		Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch7	Ch8
Time Stamp	Elapsed Time	Engine Speed (rpm)	MAP (Bar)	Throttle Pos (%)	CoolantTemp (°C)	AirTemp (°C)	AFR/Lambda (AFR)	Inj PW (mS)	Ign Adv (°Adv)
12:16:34.514	00:00:00.000	1858	-0.41	38,0	75	36	14,10	4,48	27,5
12:16:34.546	00:00:00.031	1858	-0.41	37,0	75	36	14,10	4,41	27,5
12:16:34.654	00:00:00.140	1858	-0.41	38,0	75	36	14,20	4,40	27,5
12:16:34.701	00:00:00.187	1859	-0.41	38,0	75	36	14,30	4,40	27,5
12:16:34.748	00:00:00.234	1858	-0.41	38,0	75	36	14,20	4,40	27,5
12:16:34.857	00:00:00.343	1828	-0.41	38,0	75	36	14,20	4,40	27,5
12:16:34.888	00:00:00.374	1857	-0.41	38,0	75	36	14,10	4,48	27,5
12:16:34.920	00:00:00.406	1858	-0.41	38,0	75	36	14,20	4,49	27,5
12:16:35.029	00:00:00.515	1829	-0.41	38,0	76	36	14,20	4,41	27,5
12:16:35.076	00:00:00.562	1829	-0.41	38,0	76	36	14,10	4,40	27,5
12:16:35.186	00:00:00.671	1829	-0.41	38,0	76	36	14,10	4,40	27,5
12:16:35.232	00:00:00.719	1828	-0.41	38,0	76	36	14,10	4,40	27,5
12:16:35.294	00:00:00.780	1829	-0.41	38,0	76	36	14,10	4,40	27,5
12:16:35.372	00:00:00.858	1857	-0.41	38,0	76	36	14,10	4,50	27,5
12:16:35.419	00:00:00.905	1829	-0.41	37,0	76	36	14,20	4,40	27,5
12:16:35.450	00:00:00.936	1828	-0.41	38,0	76	36	14,20	4,40	27,5

Obr.27 Zaznamenaná data ze softwaru Emerald



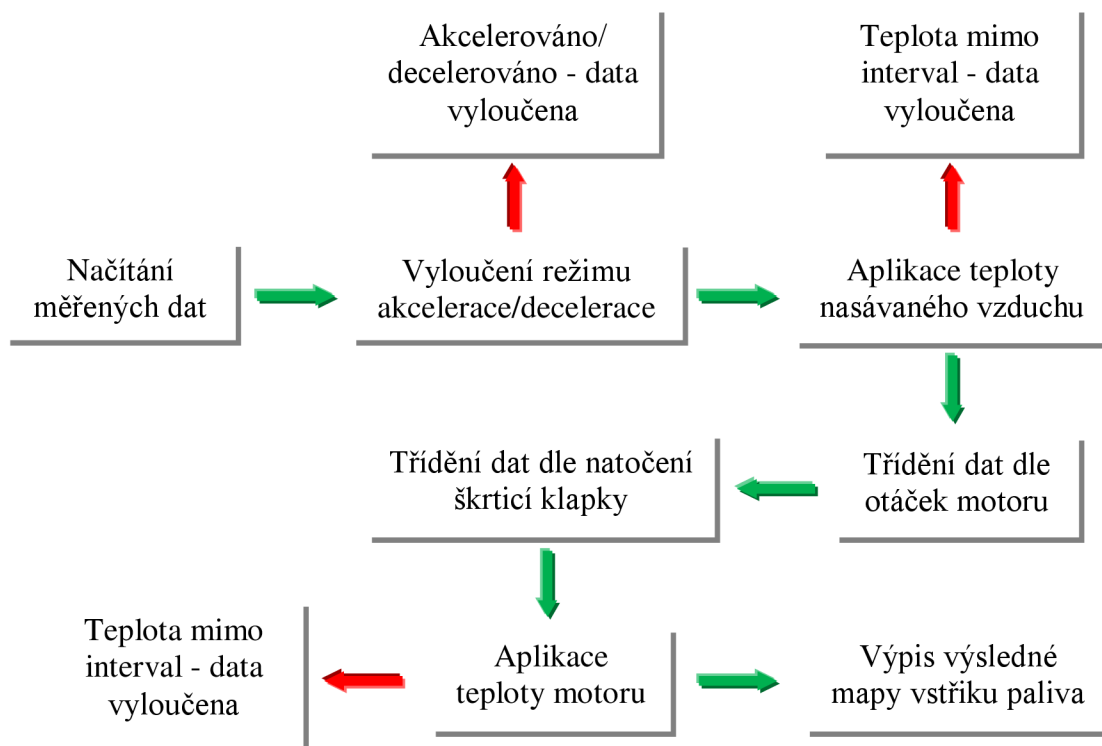
4 METODIKA STANOVENÍ PARAMETRŮ

Na základě zadání mé diplomové práce a možnosti daného experimentu byly určeny cíle práce. Základním cílem bylo vytvořit metodiku pro stanovení parametrů řídicí jednotky, v našem případě stanovení mapy vstřiku u daného motoru, určení teplotních korekcí na změnu teploty motoru a vytvoření metodiky pro výpis nastavení funkčních parametrů (doby vstřiku paliva, předstihu a natočení škrticí klapky) na základě uživatelských požadavků otáček motoru a jeho výkonu. Programování těchto jednotlivých metodik probíhalo v prostředí programu Matlab R2012a.

4.1 STANOVENÍ MAPY VSTŘIKU

Základní mapa vstřiku je jednou z hlavních parametrů uložených v řídicí jednotce motoru, stejně jako jedním z daných parametrů, které řeší a ovlivňuje téma emisí ve spalovacích motorech. Hlavní mapa vstřiku uložena v ŘJ je soubor hodnot doby vstřikování paliva na základě otáček a natočení škrticí klapky (příp. tlak vzduchu v sání) při základních provozních parametrech motoru. Jakmile se začnou tyto provozní parametry jakkoliv měnit, do doby vstřiku začínají vstupovat jednotlivé korekce na jednotlivé parametry, viz obr. 28.

Při tvorbě a stanovování metodiky určení mapy vstřiku jsem se držel dané zvolené strategie, viz obr. 22. Během tvorby celého programu jsem narazil na několik úskalí, které jsem musel operativně v daném programu programově ošetřit, aby bylo docíleno co nejlepšího výsledku a funkčnosti.



Obr.28 Metodika programu pro stanovení mapy vstřiku



4.1.1 NAČÍTÁNÍ MĚŘENÝCH DAT

Program byl vytvořen formou skriptu v programu Matlab, ve kterém při zadání vstupního datového souboru a spuštění výpočtu dojde ke stanovení výsledné mapy vstříku na základě měřených dat v tomto souboru.

V úvodu skriptu bylo vytvořeno načítání dat z vnějšího datového souboru (data), viz obr. 29. Zároveň se zde nachází základní nastavení vstupních teplot nasávaného vzduchu (t_vzduch) a teploty motoru (t), pro které má být daná mapa vstříku vytvořena. Je však hlavní předpoklad, že hledáme základní mapu vstříku řídicí jednotky motoru, která platí pro provozní teploty motoru.

```
data='Data_motor.txt';

M = importdata(data, '\t', 1);
RPM=M.data(:, 1);
```

```
%% Nastavení mezních hodnot

t_vzduch_1=20;           % Teplota vzduchu - minimální
t_vzduch_2=45;           % Teplota vzduchu - maximální

t_1=70;                  % Teplota vody - minimální
t_2=85;                  % Teplota vody - maximální
```

Obr.29 Ukázka z programu pro čtení vstupních dat

4.1.2 VYLOUČENÍ REŽIMU AKCELERACE/DECELERACE

Prvním parametrem, který je načítán, jsou otáčky motoru (RPM). Jelikož jsme prováděli simulaci jízdního procesu, docházelo tak ke značným akceleracím, resp. deceleracím motoru, které by výslednou mapu vstříku zatížily chybou změny vstříku paliva do spalovacího prostoru na základě těchto režimů. Proto je nutné tyto režimy ze souboru dat (M.data) pro výpočet vyloučit, viz obr. 30.

```
RPM_a(i)=RPM(i)-RPM(i-1);

if RPM_a(i) >= -10 & RPM_a(i) <= 10
    RPM_0=M.data(i, 1);
    T_voda_0=M.data(i, 4);
    T_vzduch_0=M.data(i, 5);
    Skrt_klap_0=M.data(i, 3);
    Vstrik_0=M.data(i, 7);
    RPM_sel_0(i)=[RPM_0];
    T_voda_sel_0(i)=[T_voda_0];
    T_vzduch_sel_0(i)=[T_vzduch_0];
    Skrt_klap_sel_0(i)=[Skrt_klap_0];
    Vstrik_sel_0(i)=[Vstrik_0];
```

Obr.30 Ukázka z programu pro vyloučení režimu akcelerace/decelerace



4.1.3 APLIKACE TEPLoty NASÁVANÉHO VZDUCHU

V tomto následném kroku dochází k první aplikaci přednastaveného rozsahu teplot nasávaného vzduchu (t_{vzduch}). Na základě této podmínky ($T_{\text{vzduch_sel_0}}$) jsou vyloučeny z programu všechna změřená data nevyhovující těmto požadovaným teplotám, viz obr.31.

```
if T_vzduch_sel_0(i) >= t_vzduch_1 & T_vzduch_sel_0(i) < t_vzduch_2
    T_voda=T_voda_sel_0(i);
    RPM=RPM_sel_0(i);
    Skrt_klap=Skrt_klap_sel_0(i);
    Vstrik=Vstrik_sel_0(i);
    T_voda_sel(i)=[T_voda];
    RPM_sel(i)=[RPM];
    Skrt_klap_sel(i)=[Skrt_klap];
    Vstrik_sel(i)=[Vstrik];
end
```

Obr.31 Ukázka z programu pro aplikace teploty nasávaného

4.1.4 TŘÍDĚNÍ DAT DLE OTÁČEK MOTORU

Změřená data, která vyhověla požadavkům na vyloučení akcelerace a teplotu nasávaného vzduchu, za kterého byla změřena, jsou načítána do dalšího následného kroku ($T_{\text{voda_sel}}$, Skrt_klap_sel , Vstrik_sel). Zde nastává setřídění dat do jednotlivých skupin podle rozmezí stanovených otáček motoru pro mapu vstřiku, viz obr. 32, kde do jakého rozmezí otáček se data řadí, značí číselný údaj za názvem daného parametru (např. doba vstřiku do 2000 ot/min - Vstrik_{1999} atd.).

```
elseif RPM_sel(i) >= 1500 & RPM_sel(i) < 2000
    T_voda_1999=T_voda_sel(i);
    Skrt_klap_1999=Skrt_klap_sel(i);
    Vstrik_1999=Vstrik_sel(i);
    T_voda_sel_1999(i)=[T_voda_1999];
    Skrt_klap_sel_1999(i)=[Skrt_klap_1999];
    Vstrik_sel_1999(i)=[Vstrik_1999];
```

Obr.32 Ukázka z programu pro třídění dat dle otáček motoru

4.1.5 TŘÍDĚNÍ DAT DLE NATOČENÍ ŠKRTICÍ KLAPKY

Po projití procesem setřídění dle otáček motoru, viz obr. 32, vstupují tyto jednotlivé skupiny dat do druhé fáze třídění, viz obr. 33, a to dle natočení škrticí klapky. Získáme tak opět skupiny dat podle rozmezí stanoveného zatížení pro mapu vstřiku. Zde však již máme data tříděná z předchozího kroku a tak máme výsledné hodnoty doby vstřiku v každém



rozmezí otáček motoru za příslušné hodnoty natočení škrtkovací klapky (např. do 70% natočení škrtkovací klapky - Vstrik_sel_1499_do70).

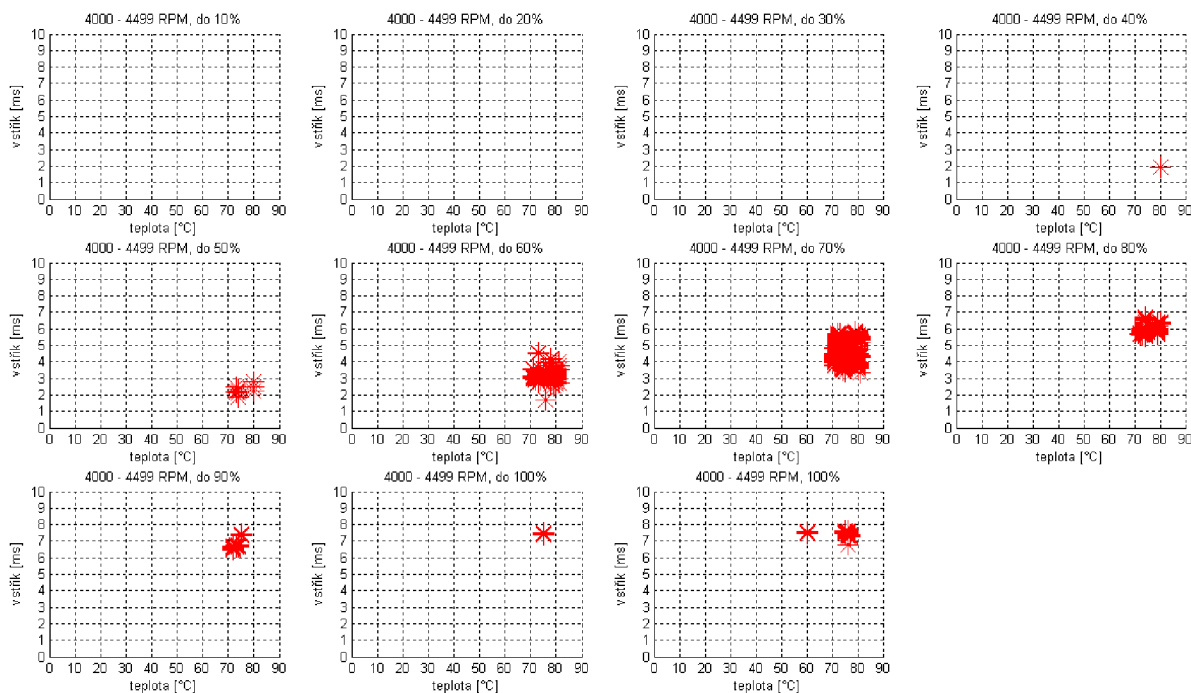
```
elseif Skrt_klap_sel_1499(i) >= 60 & Skrt_klap_sel_1499(i) < 70
    T_voda_1499_do70=T_voda_sel_1499(i);
    Vstrik_1499_do70=Vstrik_sel_1499(i);
    T_voda_sel_1499_do70(i)=T_voda_1499_do70;
    Vstrik_sel_1499_do70(i)=Vstrik_1499_do70;
```

Obr.33 Ukázka z programu pro třídění dat dle natočení škrtkovací klapky

Takto rozříděná data si můžeme pro představu vykreslit, viz obr. 34, a zkontrolovat si, v jakých hodnotách teplot motoru a dobách vstřiku jsme se v měření pohybovali v každé skupině režimu motoru. Na obr. 35, je patrné, že v některých režimech motoru je absence dat, což je způsobeno nedosažením těchto režimů (viz kap. 5.1) nebo zanedbáním dat nevyhovující podmínkám, viz obr. 30, 31.

```
subplot(3, 4, 4)
    hold on
    plot(T_voda_sel_1499_do40,Vstrik_sel_1499_do40,'r*', 'MarkerSize', 15)
    title('1000 - 1499 RPM, do 40%')
    xlabel('teplota [°C]')
    ylabel('vstřik [ms]')
    xlim([0, 90])
    ylim([0, 10])
    set(gca, 'XTick', 0:10:90)
    set(gca, 'YTick', 0:1:10)
    grid on
    hold off
```

Obr.34 Ukázka z programu pro vykreslení setříděných dat



Obr.35 Ukázka vykreslení skupin setříděných dat



4.1.6 APLIKACE TEPLoty MOTORU

V závěrečném kroku, viz obr. 36, na seskupená, vytříděná data aplikujeme druhou podmínku přednastaveného rozsahu provozních teplot motoru (t_1 , t_2). Na základě této podmínky jsou vyloučena z daných skupin všechna změřená data nevyhovující tomuto provoznímu rozmezí teplot motoru a získáme tak pouze skupiny dat vyhovující pro základní mapu vstřiku (Vstrik_sel_2499_do20_voda).

```
if T_voda_sel_2499_do20(i) >= t_1 & T_voda_sel_2499_do20(i) < t_2
    Vstrik_sel_2499_do20_v=Vstrik_sel_2499_do20(i);
    Vstrik_sel_2499_do20_voda(i)=[Vstrik_sel_2499_do20_v];
else
    Vstrik_sel_2499_do20_v=0;
    Vstrik_sel_2499_do20_voda(i)=[Vstrik_sel_2499_do20_v];
end
```

Obr.36 Ukázka z programu pro aplikace teploty motoru

Z takového množství dat bylo nutné vytvořit co nejpřijatelnější určení hodnoty doby vstřiku paliva. Bylo nutné vyloučit z výpočtu nulové hodnoty vzniklé selekcí nevyhovujících teplot motoru, aby nedocházelo k ovlivnění výsledné hodnoty.

Pro získání výsledné hodnoty základní doby vstřiku paliva v každé skupině pro určení a seskládání mapy vstřiku jsem na základě množství funkčních dat a jejich rozmezí aplikoval statistickou funkci *medián*, která je pro tato data vhodnější než aritmetický průměr, viz obr. 37.

Základní výhodou je fakt, že medián není ovlivňován extrémními hodnotami, na rozdíl od aritmetického průměru, který zahrnuje všechny hodnoty do výpočtu, čímž bychom mohli obdržet nevhodné výsledky. Medián je hodnota, která seřazené hodnoty rozdělí na dvě stejně početné poloviny.

```
Vstrik_sel_2499_do40_voda (Vstrik_sel_2499_do40_voda == 0) = [];
Vstrik_sel_2499_do40_voda=median(Vstrik_sel_2499_do40_voda);
```

Obr.37 Ukázka z programu pro výpočet výsledné hodnoty vstřiku

4.1.7 VÝPIS VÝSLEDNÉ MAPY VSTŘIKU PALIVA

Posledním bodem programu je již jen seskupení jednotlivých výsledných hodnot časů vstřiku paliva a programové vypsání výsledné mapy doby vstřiku, viz obr. 38.



```

Mapa_vstřiku =

Columns 1 through 7

    NaN    NaN    5.0200    5.5450    6.0050    6.2550    NaN
    NaN    3.3550    3.4900    4.0900    6.0000    6.1150    6.4400
    NaN    NaN    3.1100    4.3200    4.8700    5.4900    6.4300
    NaN    NaN    2.8300    3.5200    4.2400    4.8700    5.9900
    NaN    NaN    2.8000    2.9200    3.7700    4.2200    5.6400
    NaN    NaN    NaN    2.9000    3.0900    3.8100    5.4900
    NaN    NaN    NaN    2.3700    2.9800    3.4000    4.8800
    NaN    NaN    NaN    1.9600    2.2400    3.0500    4.6800
    NaN    NaN    NaN    NaN    NaN    NaN    4.6200

Columns 8 through 11

    NaN    NaN    NaN    NaN
    NaN    NaN    NaN    NaN
    6.6800    NaN    NaN    7.4150
    6.7200    NaN    NaN    7.3500
    6.8900    NaN    NaN    7.3900
    6.7300    NaN    NaN    7.3300
    6.2000    6.7200    NaN    7.3400
    5.9500    6.6500    7.4800    7.4800
    5.7900    7.2600    7.5000    7.5300

```

Obr.38 Ukázka z programu vypsání výsledné mapy vstřiku paliva

4.2 STANOVENÍ KOREKCE DOBY VSTŘIKU NA ZÁKLADĚ TEPLoty MOTORU

Na základě teploty motoru dochází k úpravě množství vstřikovaného paliva do válce. Když je motor studený, dochází k regulaci a zvýšení dávky vstřikovaného paliva. Jedním ze základních důvodů je, že nízká teplota způsobí kondenzaci paliva na studených stěnách válců a stěnách sacího kanálu, což způsobí ochuzení směsi ve válci. Vstříknutím vyšší dávky paliva toto ochuzení směsi eliminujeme a zachováme tak potřebné složení směsi. Druhým důvodem pro zvýšení množství paliva je fáze zahřívání motoru. Navýšením vstřikovaného množství paliva získáme mírně bohatou směs, která hoří s vyšší spalovací teplotou a rychleji tak zahřívá motor. Záměrem je snaha dostat motor v krátkém časovém úseku na provozní teplotu, kdy by měl motor pracovat nejefektivněji a s nejmenší spotřebou paliva.

Takové navýšení vstřikovaného množství paliva se děje na základě korekcí základního parametru vstřiku. Velikost korekce se odvíjí od aktuální teploty motoru, čím je motor chladnější, tím dochází k vyššímu procentuálnímu navýšení množství vstřikovaného paliva.

4.2.1 NAČÍTÁNÍ MĚŘENÝCH DAT

Stejně jako v předchozím případě byl vytvořen program formou skriptu, na jehož základě, po dodání vstupních dat, dojde k výpočtu procentuální korekce na vstřik paliva pro parametr teploty motoru.

Prvním krokem bylo načtení dat z vnějšího datového souboru, viz obr. 39, prvním načítaným parametrem byla teplota vzduchu (T_{vzduch}).



```
data='Korekce_data.txt';

M = importdata(data, '\t', 1);
T_vzduch=M.data(:, 5);
```

Obr.39 Ukázka z programu pro načítání vstupních dat

4.2.2 VYLOUČENÍ NEPOUŽITELNÝCH DAT

Ze souboru teplot nasávaného vzduchu (T_vzduch) jsme vyloučili ta data, která by mohla vlivem vyšší hodnoty teplot ovlivnit výsledné hodnoty korekcí zanesením chyb na základě vlastní vstupující korekce na tento parametr. Po zanesení této podmínky byla načtena do programu, viz obr. 40, pouze věrohodná data doby vstřiku paliva (Vstrik_sel) dle teploty motoru T_voda_sel).

```
if T_vzduch(i) >= 15 & T_vzduch(i) < 25
    T_voda=M.data(i, 4);
    Vstrik=M.data(i, 7);
    T_voda_sel(i)=[T_voda];
    Vstrik_sel(i)=[Vstrik];
end
```

Obr.40 Ukázka z programu pro vyloučení nepoužitelných dat

4.2.3 APROXIMACE DAT

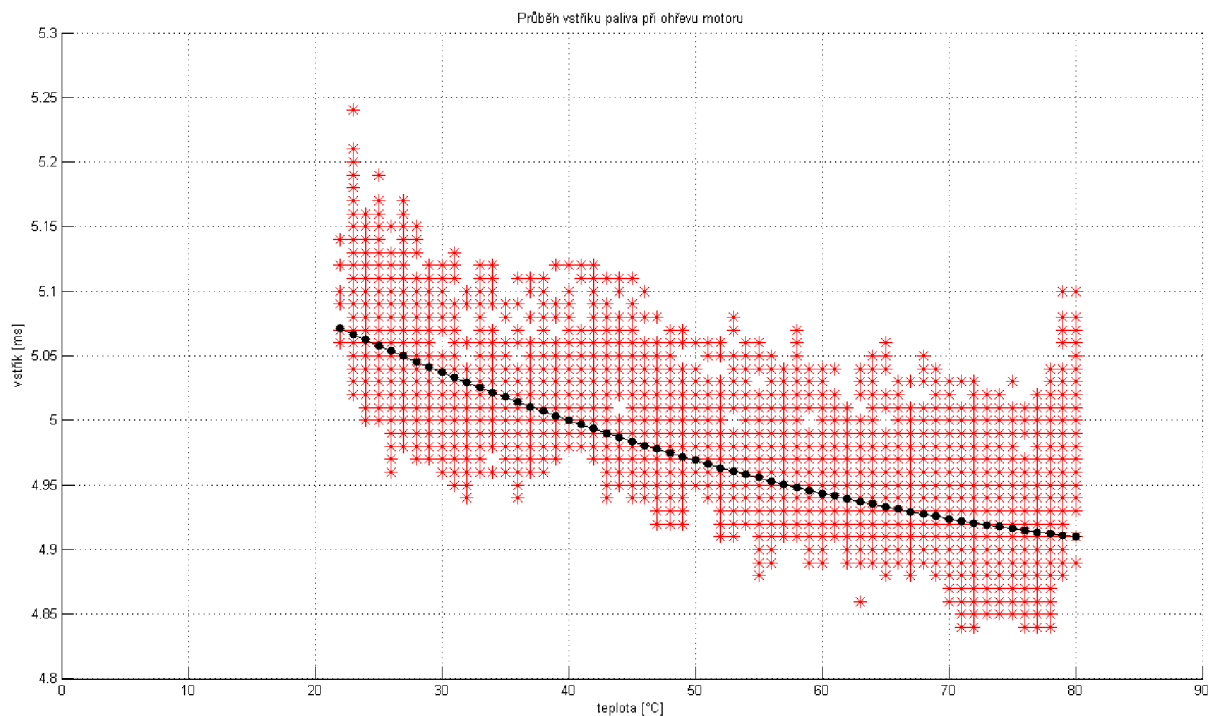
Na základě velkého počtu dat čítajících 5955 hodnot jsme zvolili pro přesnější hodnotu výpočtu aproximaci dat. Tato aproximace byla řešena formou aplikace polynomu 2. stupně, viz obr. 41 (polyfit), kdy na základě změřených vypovídajících dat byly pomocí funkce programu nalezeny koeficienty polynomu 2. stupně (p), který prokládá tato data podle kritéria nejmenších čtverců.

Na základě těchto nalezených koeficientů polynomu (p) a zadáním příslušných bodů (T_voda_sel) jsme definovali podmínku, za které budou aproximace počítány. Na základě těchto informací byly interní funkcí programu vypočítány příslušné body polynomiální interpolací (polyval), na jejímž základě jsme dostali odpovídající data (v_aprox).

```
p=polyfit(T_voda_sel, Vstrik_sel, 2);
v_aprox=polyval(p, T_voda_sel);
```

Obr.41 Ukázka z programu pro aproximaci dat

Pro kontrolu, zdali požadované proložení dat je věrohodné, bylo provedeno následné grafické vykreslení, viz obr. 42.



Obr.42 Ukázka vykreslení proložení dat polynomem

4.2.4 VÝPOČET HODNOT KOREKČÍ

Na základě hodnot doby vstřiku paliva získaných polynomiální interpolací (v_{aprox}), byla tato data rozříděna do skupin podle intervalů teplot motoru, viz obr. 43 ($v_{\text{aprox_do50_voda}}$). V jednotlivých skupinách pak data byla zprůměrována v jednu vypovídající hodnotu vstřiku paliva pro dané rozmezí teploty motoru, viz obr. 44.

```

if T_voda_sel(i) >= 40 & T_voda_sel(i) < 50
    v_aprox_do50_v=v_aprox(i);
    v_aprox_do50_voda(i)=[v_aprox_do50_v];
else
    v_aprox_do50_v=0;
    v_aprox_do50_voda(i)=[v_aprox_do50_v];
end

```

Obr.43 Ukázka z programu pro třídění dle teplot motoru

```

v_aprox_do50_voda (v_aprox_do50_voda == 0) = [];
vstrik_do50=mean(v_aprox_do50_voda);

```

Obr.44 Ukázka z programu pro výpočet hodnot korekčí



4.2.5 VÝPIS VÝSLEDNÝCH KOREKČÍ VSTŘIKU PALIVA

V závěru programu byl naprogramován výpočet procentuální korekce vstřiku paliva na základě teploty motoru, viz obr. 45. Za referenční hodnotu byla považována hodnota doby vstřiku v provozní teplotě motoru (vstrik_do90), na jejímž základě byla korekce dopočítána.

```
korekce_do70=(vstrik_do70/(vstrik_do90/100))-100;  
korekce_do80=(vstrik_do80/(vstrik_do90/100))-100;  
korekce_do90=0;
```

Obr.45 Ukázka z programu pro výpis výsledných korekci

A následně byly tyto výsledné korekce programově vypsány, viz obr. 46.

```
Korekce vstřiku paliva na teplotu vody  
  
Teplota 0 - 10°C: NaN %  
Teplota 10 - 20°C: NaN %  
Teplota 20 - 30°C: 3 %  
Teplota 30 - 40°C: 2.3 %  
Teplota 40 - 50°C: 1.5 %  
Teplota 50 - 60°C: 0.95 %  
Teplota 60 - 70°C: 0.48 %  
Teplota 70 - 80°C: 0.16 %  
Teplota 80 - 90°C: 0 %
```

Obr.46 Ukázka z programu vypsání korekci dle teplot motoru

4.3 STANOVENÍ PARAMETRŮ NA ZÁKLADĚ POŽADAVKŮ ŘIDIČE

U moderních řídicích jednotek probíhá stanovování parametrů motoru při jízdě na základě chování řidiče. Řídicí jednotka sleduje parametry otáček motoru a rychlost sešlápnutí plynového pedálu atd., na jejímž základě vyhodnocuje předpokládaný požadavek řidiče na určitý výkon, resp. točivý moment motoru. Na základě tohoto vyhodnocení přizpůsobuje ostatní parametry motoru tak, aby bylo tohoto předpokladu u motoru docíleno.

Mým úkolem bylo vytvořit zjednodušenou verzi takového řízení, kdy na základě vstupní hodnoty otáček motoru a daného výkonu motoru budou získána potřebná data otevření škrticí klapky, hodnoty předstihu a doby vstřiku paliva, při kterých by bylo těchto vstupních požadavků u motoru dosaženo.



4.3.1 NAČÍTÁNÍ MĚŘENÝCH DAT

Ve skriptu dojde k načtení měřených dat, viz obr. 47, kdy prvním referenčním parametrem, který byl načten, je hodnota otáček motoru (RPM).

```
M = importdata(data, '\t', 1);  
RPM=M.data(:, 1);
```

Obr.47 Ukázka z programu pro čtení vstupních dat

Zároveň do programu vstupují vstupní požadavky otáček motoru a výkonu motoru, pro které byly výstupy požadovány, viz obr. 48.

```
%% Nastavení požadovaných hodnot  
  
Otacky=3500;           % Požadované otáčky  
  
Vykon=25;              % Požadovaný výkon
```

Obr.48 Ukázka z programu pro vstup požadovaných hodnot

4.3.2 VÝBĚR DAT DLE POŽADOVANÝCH OTÁČEK

Na základě požadavku otáček motoru (RPM) jsou ostatní parametry načítány, viz obr. 49, splňují-li tento požadavek v definovaném intervalu (Otacky_1, Otacky_2, interval parametru Otacky). Tato data jsou následně filtrována tak, aby do výpočtu byla použita pouze data splňující požadavek provozního režimu, tedy za provozní teploty motoru a dané teploty nasávaného vzduchu.

```
RPM(i) > Otacky_1 & RPM(i) < Otacky_2  
P_vykon=M.data(i, 9);  
Skrt_klap=M.data(i, 3);  
Vstrik=M.data(i, 7);  
Predstih=M.data(i, 8);  
Teplota_vody=M.data(i, 4);  
Teplota_vzduchu=M.data(i, 5);
```

Obr.49 Ukázka z programu pro výběr dat dle požadovaných otáček

4.3.3 VÝBĚR DAT DLE POŽADOVANÉHO VÝKONU

Tříděný soubor dat v provozních teplotách motoru a definovaný v požadovaném režimu otáček byl dále filtrován dle požadavků na výsledný výkon motoru (Vykon) za daných otáček (Otacky), viz obr. 50.



Touto filtrací byl získán výsledný soubor dat s počtem přibližně 300 hodnot, ze kterých byly vypočteny výsledné parametry pro motor (Skrť_klap_XXX, Vstrik_XXX, Predstih_XXX). Tímto experimentem nelze získat naměřená data ve všech režimech provozu motoru, proto není možné zjistit příslušné parametry pro všechny možné kombinace požadovaných dat.

```
P_vykon_sel_xx(i) >= Vykon_1 & P_vykon_sel_xx(i) <= Vykon_2  
Skrť_klap_XXX=Skrť_klap_sel_xx(i);  
Vstrik_XXX=Vstrik_sel_xx(i);  
Predstih_XXX=Predstih_sel_xx(i);
```

Obr.50 Ukázka z programu pro výběr dat dle požadovaného výkonu

4.3.4 VÝPOČET A VYPSÁNÍ PARAMETRŮ

Z výsledného souboru parametrů byla vytvořena průměrná hodnota pro každý parametr a dále pak tyto zjištěné parametry byly programově vypsány, viz obr. 51.

```
Otáčky: 3500 min-1  
Výkon: 25 kW  
  
Škrťící klapka: 100 %  
Předstih: 27 °  
Doba vstřiku: 7.3 ms
```

Obr.51 Ukázka z programu vypsání zjistitelných parametrů

V případě, že jsou zadány požadavky, kterým měřené hodnoty nevyhoví, je programově definováno vypsání - není požadovaná hodnota (NaN), viz obr. 52.

```
Otáčky: 1500 min-1  
Výkon: 25 kW  
  
Škrťící klapka: NaN %  
Předstih: NaN °  
Doba vstřiku: NaN ms
```

Obr.52 Ukázka z programu vypsání nezjistitelných parametrů



5 VYHODNOCENÍ

Na základě získaných dat z jednotlivých naprogramovaných metodik jsem provedl porovnání a vyhodnocení se skutečnými daty nalézajícími se v řídicí jednotce.

5.1 MAPA VSTŘIKU PALIVA

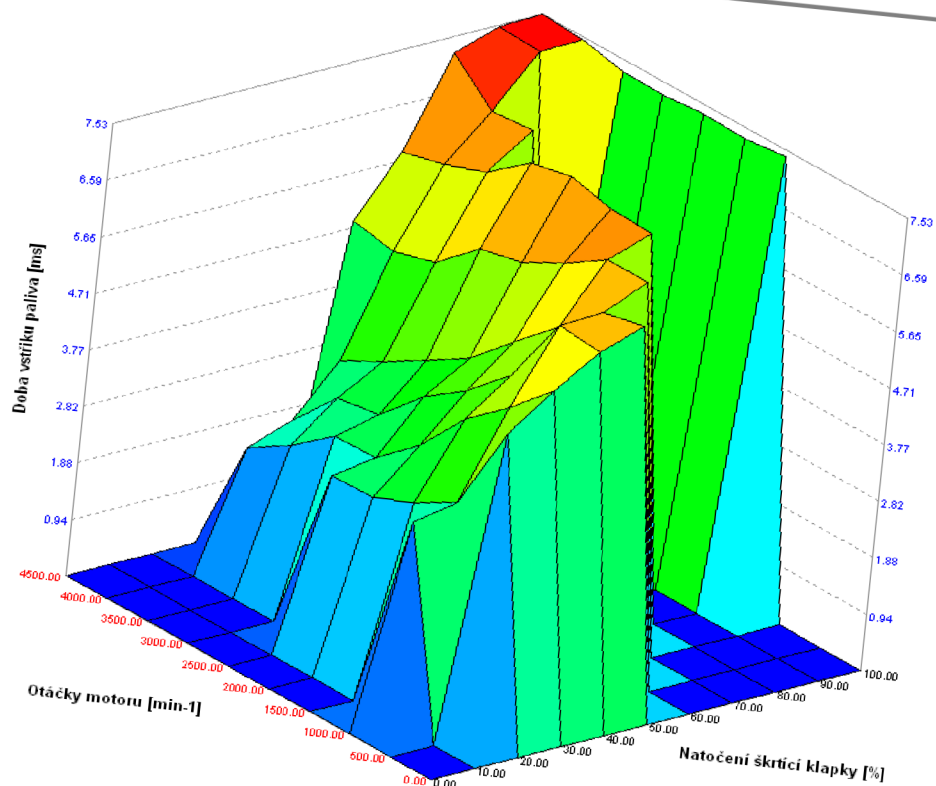
Základním cílem bylo získat na základě vstupních a výstupních dat řídicí jednotky zpětným přístupem na základě zvolené metodiky základní mapu vstřiku paliva bez přidavných korekcí, viz tab. 2. Tohoto cíle bylo úspěšně dosaženo.

Tab. 2 Základní mapa vstřiku bez přidavných korekcí - stanovená programem [ms]

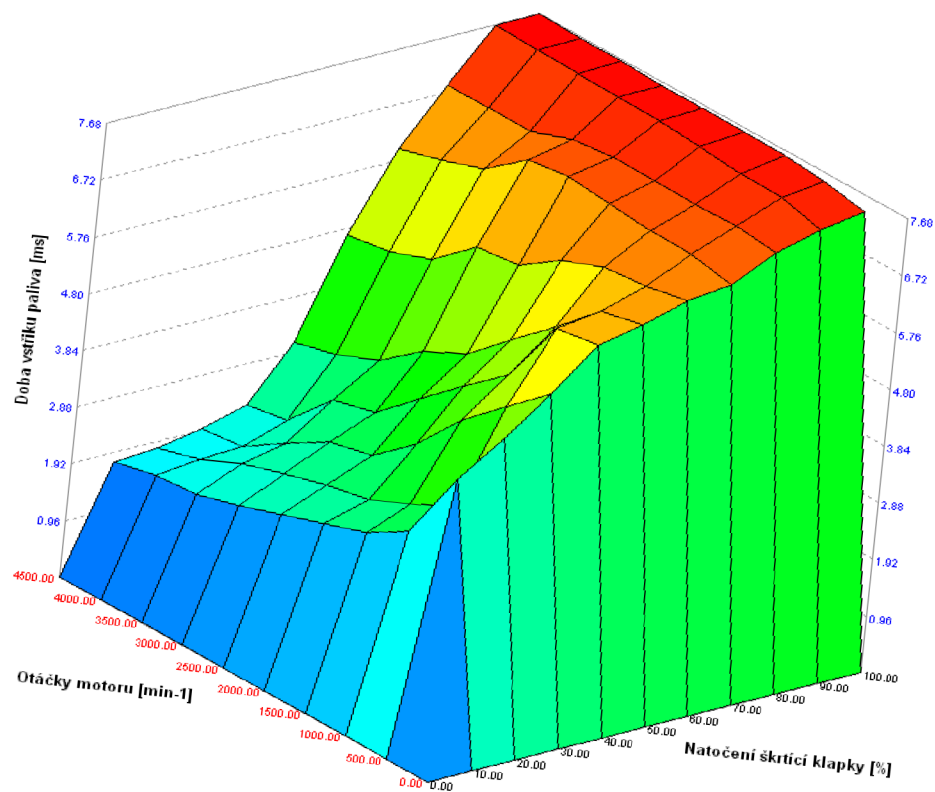
Otáčky [min ⁻¹]	Škrtilcí klapka [%]									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
500	-	5,02	5,55	6,01	6,26	-	-	-	-	-
1000	3,36	3,49	4,89	6,08	6,12	6,44	-	-	-	-
1500	-	3,11	4,32	4,87	5,49	6,43	6,68	-	-	7,42
2000	-	2,83	3,52	4,24	4,87	5,99	6,72	-	-	7,35
2500	-	2,80	2,92	3,77	4,22	5,64	6,89	-	-	7,39
3000	-	-	2,90	3,09	3,81	5,49	6,73	-	-	7,33
3500	-	-	2,37	2,98	3,40	4,88	6,20	6,72	-	7,34
4000	-	-	1,96	2,24	3,05	4,68	5,95	6,65	7,48	7,48
4500	-	-	-	-	-	4,82	5,79	7,26	7,50	7,53

Tab. 3 Základní mapa vstřiku bez přidavných korekcí - z řídicí jednotky [ms]

Otáčky [min ⁻¹]	Škrtilcí klapka [%]									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
500	4,56	5,07	5,63	6,26	6,43	6,64	6,73	7,08	7,28	7,41
1000	3,28	3,53	5,02	6,17	6,28	6,51	6,86	7,16	7,45	7,55
1500	2,89	3,17	4,41	4,99	5,62	6,45	6,88	7,14	7,48	7,59
2000	2,64	2,87	3,62	4,41	5,02	6,18	6,96	7,16	7,54	7,62
2500	2,41	2,72	3,05	3,82	4,39	5,72	7,02	7,16	7,59	7,62
3000	2,18	2,54	2,88	3,21	4,05	5,64	6,92	7,08	7,62	7,62
3500	1,99	2,31	2,49	3,02	3,52	5,03	6,38	6,84	7,63	7,65
4000	1,92	2,00	2,04	2,29	3,23	4,78	6,14	6,84	7,65	7,65
4500	1,76	1,81	1,95	2,17	3,05	4,69	5,96	6,85	7,68	7,68



Obr.53 Mapa vstřiku paliva stanovená metodikou



Obr.54 Mapa vstřiku paliva v měřené řídicí jednotce



Při porovnání mapy vstřiku získané pomocí metodiky naprogramované v prostředí programu Matlab, viz tab. 2, a mapy vstřiku z měřené řídicí jednotky, viz tab. 3, bylo vyhodnoceno, že daná zvolená metodika je správná.

Při simulovaných jízdních cyklech motoru na motorové brzdě nebylo možné dosáhnout všech provozních oblastí motoru, z tohoto důvodu nebyly dané hodnoty vstřiku paliva v těchto oblastech zjištěny a nebylo tak možné docílit zisku kompletní mapy vstřiku paliva u daného motoru. Avšak při srovnání tab. 2 a tab. 3 je patrné, že data navzájem korespondují, taktéž je tato podobnost viditelná porovnáváním grafických zobrazení map vstřiku viz obr. 53 a obr. 54.

Hodnoty ve stanovené vstřikovací mapě se odlišují, avšak maximálně do 5% od hodnoty udané v měřené řídicí jednotce. Tato hodnota maximálního rozdílu se dá považovat za chybu přijatelnou.

Způsobení této neshody se dá připisovat několika zásadním faktorům. První z nich je zvolená strategie výpočtu doby vstřikování, viz obr. 22, kdy ve skutečnosti doba vstřiku paliva závisí na více sledovaných parametrech (např. napětí v palubní elektrické síti, což může ovlivnit dobu otevření vstřikovačů, nadmořská výška atd.), o které byla tato strategie výpočtu zjednodušena. V případě našeho experimentu byla hodnota napájení ze zdroje konstantní, stejně jako neměnná nadmořská výška motoru na zkušebně (viz kap. 2.2), proto nebyly tyto korekce uvažovány. Dalším zásadním faktorem způsobujícím nepřesnost byla regulace lambda, kdy řídicí jednotka v krajních režimech nebyla schopná již regulovat na hodnotu $\lambda = 1$, resp. stechiometrickou směs. V neposlední řadě je třeba také uvést, že se jednalo o experiment prováděný na měřicím stanovišti ve zkušebně a tedy nebylo možné po celou dobu měření dodržet konstantní parametry teplot vzduchu, tlaku a teplot paliva aj., což tyto výsledky měření také mohlo ovlivnit.

5.2 KOREKCE NA TEPLITU MOTORU

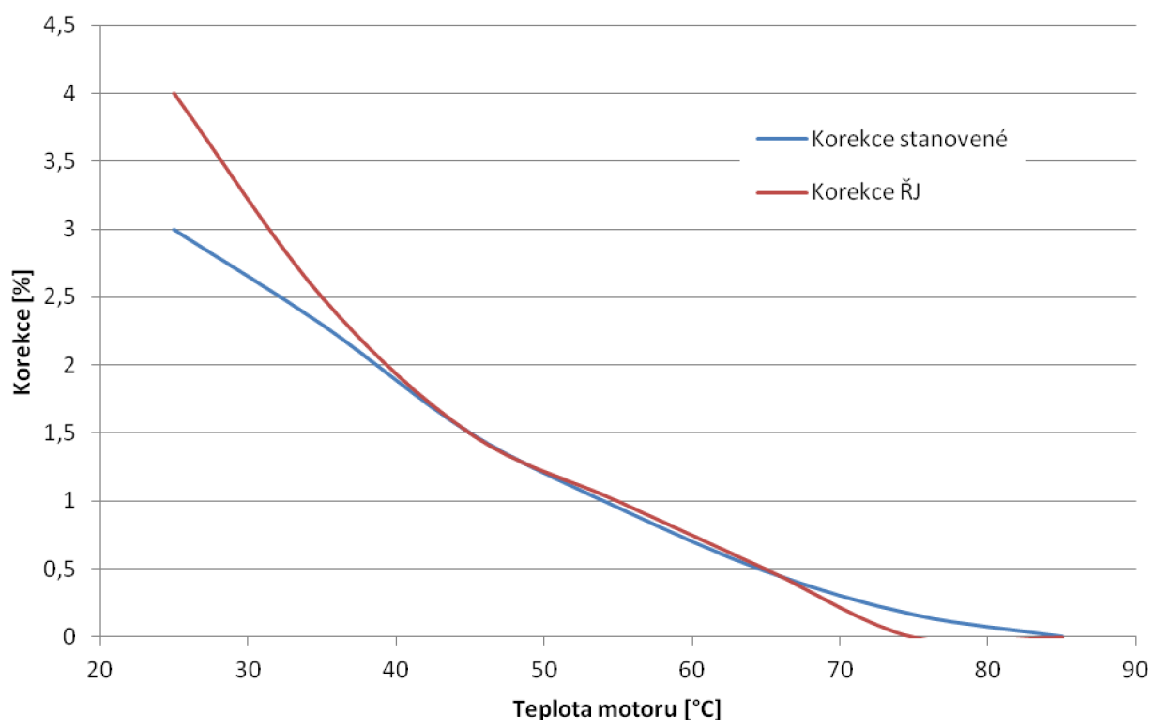
Na základě měření byl požadavek na zjištění korekce doby vstřiku paliva v závislosti s měnící se teplotou motoru. Tento požadavek byl simulován na základě ohřevu motoru od studeného startu za konstantních otáček až do provozních teplot motoru.

Tab. 4 Korekce stanovené

Teplota motoru [°C]	Korekce [%]
0 - 10	-
10 - 20	-
20 - 30	3
30 - 40	2,3
40 - 50	1,5
50 - 60	0,95
60 - 70	0,48
70 - 80	0,16
80 - 90	0

Tab. 5 Korekce z řídicí jednotky

Teplota motoru [°C]	Korekce [%]
0 - 10	15
10 - 20	8
20 - 30	4
30 - 40	2,5
40 - 50	1,5
50 - 60	1
60 - 70	0,5
70 - 80	0
80 - 90	0



Obr.55 Průběh korekcí dle teploty motoru

Na základě porovnání hodnot korekcí na teplotu motoru, viz obr. 55, je patrné, že data spočítaná programem z měřených hodnot, viz tab. 4, korespondují s určitou přesností s reálnými hodnotami, viz tab. 5. Drobná nepřesnost může být způsobena nekonstantní hodnotou teploty nasávaného vzduchu, která mohla dané měření ovlivnit.

5.3 STANOVENÍ PARAMETRŮ NA ZÁKLADĚ POŽADOVANÝCH HODNOT

Pro toto stanovování parametrů nelze provést žádné reálné porovnání a vyhodnocení se skutečnými parametry. Jedná se o experiment, při němž jsou určitá data stanovena na základě jiných dat, která slouží jako omezující parametry.

Tab. 6 Ukázka stanovených parametrů

Parametry požadované		Parametry stanovené		
Otáčky motoru [min ⁻¹]	Výkon motoru [kW]	Natočení škrtkicí klapky [%]	Předstih [°]	Doba vstřiku paliva [ms]
1800	5	32	29	4,1
2300	7,5	44	31	4,3
3100	18	68	30	5,9
3500	25	100	27	7,3
4100	28	100	28	7,4



ZÁVĚR

Náplní této diplomové práce bylo navržení vhodné metodiky pro určení parametrů řídicí jednotky, v našem případě pro ukázání funkce dané metodiky a ověření její správnosti byla tato metodika aplikována na výpočet doby vstřiku paliva. Dále následnou aplikací metodiky na reálném motoru a vyhodnocení získaných údajů při měření.

První část práce je věnována pochopení a vysvětlení funkce řídicí jednotky motoru, tomu, jak probíhá její komunikace s motorem a jaké jsou možnosti snímání parametrů. Další pozornost je zaměřena na sestavení základního přehledu elektronických řídicích jednotek s pohledem na jejich možné řídicí strategie a použitelnost.

Dále práce pojednává o způsobu a skladbě experimentu na motorové zkušebně při měření daného reálného motoru, který je jakožto výukový motor dostatečně vhodný k tomuto měření z důvodu možnosti sledování a kontroly velkého množství parametrů. Taktéž je osazen měřicími snímači pro možnost duplikované kontroly hlavních parametrů dodávaných jak řídicí jednotkou, tak získávaných ze samotného motoru, pro eliminaci případných měřených chyb.

Podstatná část práce se zabývá vhodným zjednodušením řídicí strategie výpočtu a určením doby vstřiku paliva. Jedním z hlavních cílů této práce je získání základní mapy vstřiku tak, aby bylo docíleno ověření správné funkce metodiky na základě porovnání s reálnými daty z řídicí jednotky.

V hlavní části práce je podrobně probírán a vysvětlen postup vytváření metodiky základní mapy vstřiku na základě zjednodušené řídicí strategie. Je zde popisováno, jak byla metodika upravována, sestavena a aplikována na měřená reálná data. Zároveň je zde také podrobně vysvětlena metodika určení korekce doby vstřiku na teplotu motoru, a jak je změnou teploty motor, resp. vstřikováním a spalováním směsi paliva ovlivňováno. V neposlední řadě je zde rozebrána problematika a určení příslušných parametrů motoru na základě požadavků uživatele automobilu, resp. řidiče za jízdy. Na základě snímání určitých základních parametrů řídicí jednotka určí požadovaný potřebný točivý moment, resp. výkon motoru, na jehož základě řídí ostatní parametry tak, aby bylo co nejpřesněji docíleno těchto požadavků. Neboli řídicí jednotka pro daný požadavek zvolí vhodnou dobu vstřiku paliva, vhodné zatížení (natočení škrtecí klapky), předstih atd., ale za současného dodržování své prioritní povinnosti nad kontrolou a dodržováním množství emisí ve výfukových plynech.

Závěrem je provedeno zhodnocení jednotlivých výstupních dat získaných zvolenými metodikami a dat z řídicí jednotky, ke kterým z důvodu objektivního měření, neovlivnění postupu určení příslušné metodiky a aplikovatelnosti této metodiky jakožto univerzálního nástroje pro určení těchto parametrů, nebyl dán přístup.

Na základě porovnání získané mapy vstřiku pomocí zvolené metodiky s mapou z příslušné řídicí jednotky je vidět, že tato data spolu navzájem korespondují a je docíleno maximálně 5% odchylky od reálné hodnoty, což je na základě uvažované zjednodušené strategie přijatelná chybová odchylka. Určení korekční tabulky vykazuje také značnou shodnost s reálnými daty, avšak pro přesnější a objektivnější získání výsledných dat by bylo zapotřebí rozšířeného



opakovaného měření na základě širšího pásma teplot motoru, aby bylo docíleno všech možných oblastí.

Zhodnocení výsledků z posledního programu pro požadované parametry motoru na základě vstupních požadavků není možné objektivně porovnat, jelikož zkušebna neumožňuje představování těchto parametrů a nelze tedy provést simulaci měření, zdali výstupní parametry splňují vstupní požadavek, ale z hlediska kontroly je patrné, že tyto parametry korespondují se stanovenou mapou vstřiku, resp. dobou vstřiku, otáčkami motoru a natočením škrtecí klapky.

Celkovým srovnáním výsledků jsem došel k závěru, že mnou stanovená a použitá metodika, včetně jednotlivých postupů v ní aplikovaných, je zvolena správně. Na základě tohoto faktu je dosaženo věrohodných a použitelných výsledků. Pro přesnější dosažení výsledků by bylo potřeba uvažovat skutečnou kompletní strategii na dobu vstřiku, která by však byla náročná na měřené množství všech potřebných parametrů, na potřebu a náročnost měřicího zařízení a následnou složitost výsledné metodiky výpočtu.

Tato práce byla zaměřena především na vyhledání správné metodiky, určení vhodného postupu pro zjištění těchto parametrů a ověření, zdali je tímto způsobem možné docílit zisku věrohodných a použitelných dat. Tato problematika je velice zajímavá a přínosná pro vypsání dalšího tématu diplomové práce, aby bylo možné dosáhnout rozvinutí těchto výsledků s určováním jednoho konkrétního parametru, přičemž by se vycházelo z této ověřené metodiky spolu se zahrnutím více korekčních faktorů.

Na základě mých závěrů, bylo docíleno vhodného určení dané metodiky pro stanovení parametrů řídicí jednotky a jejího ověření na základě porovnání skutečných parametrů s parametry získanými právě dle této metodiky výpočtu. Tímto bylo dosaženo konečných výsledků a splnění všech bodů zadání mé diplomové práce.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

Odborná literatura a publikace

- [1] VLK, František. *Automobilová elektronika 3 : Systémy řízení motoru a převodů*. 1. vydání. Brno : Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2006. 355 s. ISBN 80-239-7063-1.
- [2] BOSCH, Systém vstřikování KE-Jetronic. 1.vyd. Praha: Robert Bosch odbytová s.r.o., 1997. 44 s. ISBN 80-902585-1-4
- [3] BOSCH, Systém vstřikování L-Jetronic. 1.vyd. Praha: Robert Bosch odbytová s.r.o., 1999. 44 s. ISBN 80-902585-2-2

Učební texty a sylaby

- [4] HNILIČKA, Bohumil. *Vývoj řídicí jednotky motoru a softwarového vybavení* [online]. Praha, 2010 [cit. 2015-01-20]. Dostupné z: www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2009/2009_044_01.pdf

Akademické práce

- [5] DANIEL, Petr. *Elektronické řídicí jednotky pro závodní motory* [online]. Brno, 2010 [cit. 2015-02-13]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=26723. Bakalářská práce.
- [6] BC. KŘEPELKA, Jan. *Numerický model řídicí jednotky spalovacího motoru* [online]. Brno, 2014 [cit. 2015-02-13]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=86202. Diplomová práce.
- [7] BC. MARTIN, Beran. *Optimalizace provozních režimů zážehového motoru* [online]. Brno, 2008 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=8398. Diplomová práce.

Doplňující zdroje

- [8] DOLINA, Tomáš. *Diagnostika zážehových motorů* [online]. Uherský Brod, 2010 [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: <http://int.spsou-ub.cz/projekty/ov3000/ELEKTRO/Autoelektrikar/AEIII-3.1%20zazeh.odp>
- [9] ING. HLADNÝ, Radek. *Palivová soustava vznětového motoru s rotačním čerpadlem s radiálními písty (VP/VR) s elektronickou regulací* [online]. 2013 [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: http://www.sossoukyjov.cz/data/file/SIV/VY_32_INOVACE_4c/520PS/VY_32_INOVACE_4c17.ppt



- [10] ING. PLŠEK, Petr. *Řídící jednotka* [online]. 2013 [cit. 2015-01-03]. Dostupné z: http://web.spssbrno.cz/web/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_08-20.pdf
- [11] Řídící jednotka EEC. *Ford Escord Fans* [online]. 2012 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <http://www.fordfans.cz/efi/efi.php?p=eec>
- [12] Ford 351C EFI Conversion. *My Pantera stuff* [online]. 2011 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <http://www.hax.se/efi/>
- [13] EFI Technology. *LSC Motorsport - Racing parts and dynotuning* [online]. 2014 [cit. 2015-02-10]. Dostupné z: <http://www.lscmotorsport.cz/prodej/efi-technology.html>
- [14] Euro-4 Engine Management System. *EFI Technology S.r.l.* [online]. 2012 [cit. 2015-02-10]. Dostupné z: http://www.efitechnology.it/Euro4_It.html
- [15] EFITechnology [online]. 2010 [cit. 2015-02-13]. Dostupné z: <http://efitechnology.com/>
- [16] Shop talk forums. *Shop talk forums* [online]. 2012 [cit. 2015-02-13]. Dostupné z: <http://www.shoptalkforums.com/viewtopic.php?t=106056>
- [17] K1 - Řídící jednotka závodních motorů. *ProPDM* [online]. 2012 [cit. 2015-02-13]. Dostupné z: <http://www.propdm.eu/K1.htm>
- [18] Benzínový motor. *Priemyselna revolucia* [online]. 2007 [cit. 2015-02-13]. Dostupné z: http://www.szbajkalska.sk/data/01/projekty/2009_2010/masters/priemyselna_revolucia/benzinovy.xhtml