

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

SOFTWARE PRO ŘÍZENÍ ZAPALOVÁNÍ A VSTŘIKOVÁNÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

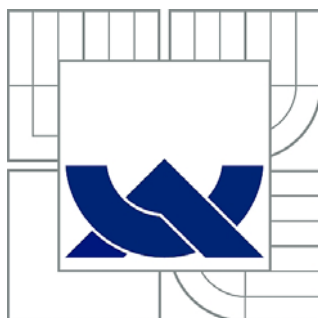
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

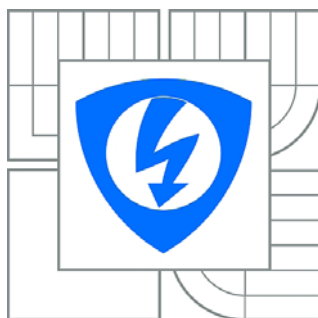
Bc. LUKÁŠ HUŠKA

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

SOFTWARE PRO ŘÍZENÍ ZAPALOVÁNÍ A VSTŘIKOVÁNÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ

ENGINE MOTORMANAGEMENT SOFTWARE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. LUKÁŠ HUŠKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. VÍTĚZSLAV HÁJEK, CSc.

BRNO 2010



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Bc. Lukáš Huška

ID: 89174

Ročník: 2

Akademický rok: 2009/10

NÁZEV TÉMATU:

Software pro řízení zapalování a vstřikování spalovacích motorů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Uveďte základní možnosti regulace předstihu zážehu.
2. Analyzujte současně používané systémy zapalování a vstřikování paliva.
3. Vypracujte zjednodušený příklad řízení zapalování.
4. Navrhněte způsob realizace cvičení z předmětu BAEB.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle doporučení vedoucího

Termín zadání: 1.10.2009

Termín odevzdání: 20.05.2010

Vedoucí práce: prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení §11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato diplomová práce nás seznamuje se zapalovacími systémy používanými v automobilech se spalovacími motory a s problematikou nastavování správné doby zapálení směsi ve válcích. Také jsou zde popsány používané způsoby vstřikování paliva u zážehových motorů a jejich řízení. Další kapitola se zabývá řídicí jednotkou a popisuje hlavní činnosti, které musí u dnešních motorových vozidlech vykonávat. Jako ukázka slouží příklad posloupnosti dějů, nutných k výpočtu a nastavení správné velikosti předstihu. Na závěr je vypracována názorná animace pro použití ve cvičeních předmětu Automobilová elektrotechnika. Slouží ke snadnějšímu pochopení již popsaných činností vykonávaných řídicí jednotkou. Pro laboratorní cvičení je zde ještě uvedena možnost měření výkonu motoru při změnách parametrů řídicí jednotky.

Abstract

This master thesis deals with ignition systems which are used in cars vehicles with gas engines and also with setting of the best moment of ignition of gasoline-air mixture in cylinders of engine. Ways of gas injection at diesel engines and their control systems are also described in this thesis. Next chapter deals with control unit and describes main actions which are necessary for today's motor vehicles. As illustration is used example of succession of actions which are necessary for calculation and setting regular value of pre-ignition. At the end is shown animation, which can be used for practice lessons in a subject Automobile Electric and Electronic Systems as a example. It will simplify understanding of described activities which are all accomplished by central control unit. For purposes of laboratory lessons is in this thesis also discussed measuring of engine performance with changes of parameter of central control unit.

Klíčová slova

detonační hoření; kompresor; předstih; řídicí jednotka; směs; směšovací poměr; snímač; škrtková klapka; turbodmychadlo; vstřikování; zapalovací cívka; zapalovací svíčka; zapalování

Keywords

blend; butterfly valve; compressor; control unit; detonation combustion; ignition; ignition advance; ignition coil; injection; mixing ratio; scanner; spark plug; turbocharger

Bibliografická citace

HUŠKA, L. *Software pro řízení zapalování a vstřikování spalovacích motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 59 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma *Software pro řízení zapalování a vstřikování spalovacích motorů* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

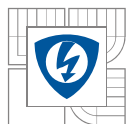
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Vítězslavovi Hájkovi, CSc za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

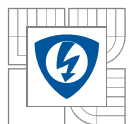
V Brně dne

Podpis autora



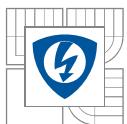
OBSAH

1 ÚVOD.....	11
2 VÝZNAM ZAPALOVÁNÍ A VSTŘIKOVÁNÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ.....	12
3 VÝZNAM A MOŽNOSTI REGULACE PŘEDSTIHU ZÁŽEHU	14
3.1 VÝZNAM REGULACE PŘEDSTIHU ZÁŽEHU	14
3.2 ZPŮSOBY REGULACE PŘEDSTIHU ZÁŽEHU	17
4 ZPŮSOBY ZAPALOVÁNÍ U SPALOVACÍCH MOTORŮ	21
4.1 MAGNETOELEKTRICKÉ ZAPALOVÁNÍ	21
4.2 BATERIOVÉ ZAPALOVÁNÍ.....	22
4.2.1 ZÁKLADNÍ ČÁSTI ELEKTRONICKÉHO ZAPALOVÁNÍ	24
4.3 KAPACITNÍ ZAPALOVÁNÍ.....	30
5 ZPŮSOBY VSTŘIKOVÁNÍ U SPALOVACÍCH MOTORŮ.....	31
5.1 ZÁKLADNÍ POJMY	31
5.2 PŘÍPRAVA SMĚSI CENTRÁLNÍM VSTŘIKOVÁNÍM (SPI)	32
5.3 VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA DO SACÍCH KANÁLŮ VÁLCŮ (MPI).....	34
5.3.1 ZPŮSOBY OVLÁDÁNÍ VSTŘIKOVACÍCH TRYSEK	35
5.3.2 DUÁLNÍ VSTŘIKOVÁNÍ	37
5.4 PŘÍMÉ VSTŘIKOVÁNÍ DO VÁLCŮ MOTORU (FSI).....	38
5.4.1 PŘÍMÉ VSTŘIKOVÁNÍ DO VÁLCŮ TSI	41
6 SOFTWAREVÉ ŘEŠENÍ PRO ŘÍZENÍ ZAPALOVÁNÍ A VSTŘIKOVÁNÍ	43
6.1 OBECNĚ	43
6.2 STRUKTURA ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY	44
6.3 SOFTWAREVÉ ŘÍZENÍ	46
6.4 POSLOUPNOST OPERACÍ PŘI NASTAVOVÁNÍ ZAPALOVÁNÍ	50
7 MOŽNÉ ZPŮSOBY REALIZACE CVIČENÍ Z PŘEDMĚTU BAEB.....	52
7.1 ZNÁZORNĚNÍ ČINNOSTI ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY POMOCÍ ANIMACE	52
7.1.1 POPIS ANIMACE ECU_VOLNOBEH.SWF	52
7.1.2 POPIS ANIMACE ECU_ZATIZENI.SWF	53
7.2 ZMĚNA ÚDAJŮ V ŘÍDÍCÍ JEDNOTCE A PŘÍMÉ MĚŘENÍ VÝKONU MOTORU.....	56
8 ZÁVĚR.....	57
LITERATURA	58

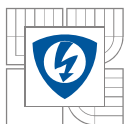


SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 2.1 Princip čtyřdobého motoru</i>	<i>13</i>
<i>Obrázek 3.1 Vliv předstihu na tlakový diagram</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 3.2 Zjištění regulační křivky předstihu z charakteristik motoru</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 3.3 Závislost podtlaku v sacím potrubí na otáčkách motoru</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 3.4 Příklad společného působení základních regulací předstihu</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 3.5 Odstředivý regulátor předstihu</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 3.6 Mechanismus podtlakového regulátoru předstihu</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 3.7 Srovnání datového pole uloženého v řídicí jednotce s polem mechanického systému</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 4.1 Schéma magnetoelektrického zapalování</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 4.2 Schéma bateriového zapalování</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 4.3 Snímač otáček klikové hřídele</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 4.4 Potenciometr škrtkové klapky</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 4.5 Řez dvou-vývodovou zapalovací cívkou</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 4.6 Způsob zapojení cívky s dvojitou jiskrou</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 4.7 Způsob zapojení cívky se čtyřnásobnou jiskrou</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 4.8 Řez zapalovací cívkou s jednou jiskrou</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 4.9 Způsob zapojení cívky s jednou jiskrou</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 4.10 Řez zapalovací svíčkou BRISK</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 5.1 Složení směsi zážehových motorů</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 5.2 Rozdíl mezi vícebodovým (vlevo) a centrálním vstřikováním (vpravo)</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 5.3 Umístění vstřikovací trysky v sacím kanálu</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 5.4 Porovnání různých způsobů časování vstřikování</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 5.5 Schéma duálního vstřikování</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 5.6 Způsob tvorby vrstveného složení směsi</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 5.7 Způsob tvorby rovnoměrného složení směsi</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 5.8 Dvojité přeplňování u vstřikování TSI</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 5.9 Funkce regulační klapky</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 6.1 Schéma řídicí jednotky</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 6.2 Třírozměrné pole charakteristik předstihu</i>	<i>47</i>
<i>Obrázek 6.3 Korekce velikosti předstihu v závislosti na teplotě</i>	<i>48</i>



<i>Obrázek 6.4</i>	<i>Systém dvou škrticích klapek</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 6.5</i>	<i>Princip odečítání polohy plynového pedálu</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 6.6</i>	<i>Třírozměrné pole charakteristik vstřikování</i>	<i>50</i>
<i>Obrázek 7.1</i>	<i>Schéma z animace ECU_volnobeh</i>	<i>54</i>
<i>Obrázek 7.2</i>	<i>Schéma z animace ECU_zatizeni.....</i>	<i>55</i>
<i>Obrázek 7.3</i>	<i>Možný způsob změny hodnot v řídicí jednotce pomocí softwaru</i>	<i>56</i>

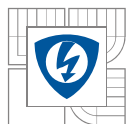


SEZNAM SYMBOLŮ

Symbol	Veličina	Jednotka
n	Otáčky	min^{-1}
λ	Součinitel přebytku vzduchu	-

SEZNAM ZKRATEK

Zkratka	Význam
ASR	Anti-Slip Regulation (protiskluzová regulace)
CAN	Controller-Area Network (datová sběrnice)
CDI	Capacitive Discharge Ignition (zapalování s vybíjecím kondenzátorem)
ECU	Electronic Control Unit (elektronická řídící jednotka)
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (elektronicky mazatelná programovatelná paměť určená pouze pro čtení)
EPROM	Erasable Programmable Read-Only Memory (mazatelná programovatelná paměť určená pouze pro čtení)
FSI	Fuel Stratified Injection (přímé vstřikování paliva)
MPI	Multi-Point Injection (více-bodové vstřikování paliva)
RAM	Random-Access Memory (paměť s libovolným přístupem)
ROM	Read Only Memory (paměť určená pouze pro čtení)
SPI	Single Point Injection (jedno-bodové vstřikování paliva)
TCI	Transistor Controlled Ignition (zapalování řízené tranzistorem)
TSI	Twincharger Stratified Injection (přímé vstřikování paliva s dvojitým přeplňováním)



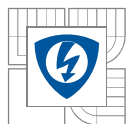
1 ÚVOD

Všechna motorová vozidla jsou poháněna spalovacími motory, které pracují na principu přeměny chemické energie, vázané v palivu, na energii mechanickou. Pro správnou funkci je ale zapotřebí připravit kvalitní směs, která shoří s největší účinností, a tu poté ve správný okamžik zapálit. Proto se budu v diplomové práci mimo jiné zabývat způsoby zapálení této směsi a stejně tak určováním správného okamžiku, kdy má dojít k zažehnutí.

Moderním trendem je neustálé zpřísňování emisních limitů, které udávají maximální množství zdravý škodlivých látek obsažených ve výfukových plynech. Ty jsou závislé na složení směsi a kvalitě promíchání paliva se vzduchem. Tuto činnost zajišťují systémy vstřikování paliva, jimiž se bude zabývat příslušná kapitola.

Určování správného množství potřebného paliva by však nebylo možné bez důkladného vyhodnocování provozních stavů motoru. K tomu slouží snímače a elektronická řídicí jednotka, které budou v této práci taktéž podrobněji popsány.

Na závěr budou uvedeny možnosti realizace cvičení pro předmět Automobilová elektrotechnika, které by pomohly studentům lépe pochopit veškeré děje a okolnosti vedoucí ke správnému řízení chodu motoru. Především pak činnost elektronické řídicí jednotky, která má v dnešní době na starosti nejenom nastavování zapalování a vstřikování. První možností je vytvoření animace s nejdůležitějšími prvky potřebnými k určování správné doby zážehu a množství paliva. K ještě lepšímu dokreslení dané problematiky bude sloužit podrobný popis všech dějů vyskytujících se v této animaci. Jako druhá možnost se naskýtá přímé fyzikální měření vlastností motoru v laboratoři při změnách nastavení důležitých hodnot v řídicí jednotce. Jedná se však o dosti náročné měření především z hlediska technického vybavení.

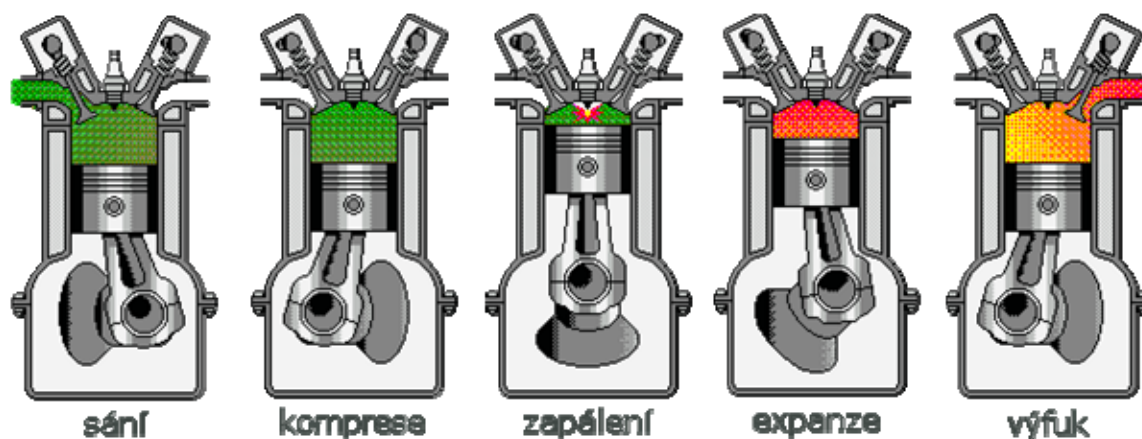


2 VÝZNAM ZAPALOVÁNÍ A VSTŘIKOVÁNÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ

Abychom mohli začít hovořit o celkovém pojednání a způsobu řízení zapalování a vstřikování spalovacích motorů, musíme si nejdříve objasnit význam těchto pojmů, popřípadě význam pojmů s těmito úkony spojenými.

Zapalování a vstřikování se dnes týká výhradně čtyřdobých zážehových motorů. U čtyřdobých vznětových motorů není zapalování zapotřebí, protože k zapálení směsi dochází samovolně v důsledku vysokého tlaku a teploty při vstřikování nafty. Řízení vstřikování je zde ovšem podobné jako u zážehových motorů. Opačně je tomu u dvoudobých zážehových motorů, kde nelze použít žádné vstřikování, protože princip dvoudobého motoru je založen na samovolném nasávání výbušné směsi pomocí podtlaku v klikové skříně. Výjimkou je pouze dnes již nepoužívaný dvoudobý vznětový motor, který má stejné vstřikování jako čtyřdobý motor, pouze je zde jinak řešen přívod vzduchu do spalovacího prostoru a mazání motoru. Ani v minulosti ovšem nedošlo k příliš velkému masovému používání. U dvoudobých zážehových motorů lze tedy také řídit zapalování, ovšem jedná se daleko složitější proces, než je tomu u čtyřdobých. V minulosti, kdy byly dvoudobé motory daleko více rozšířené, a to především ve sportovních motocyklových odvětvích, se uskutečňovaly různé zkoušky a testy závislosti výkonu motoru při různé změně parametrů zapalování, respektive změně velikosti předstihu zážehu, o kterém bude pojednáno později. Zkoušky ovšem ukázaly zvláštní skutečnost. Výkon dvoudobého motoru závisí na parametrech zapalování pouze ve velmi malé míře. Proto se upustilo od řízení zapalování v závislosti na ostatních parametrech a velikost předstihu zážehu se vždy kvůli složitosti řízení nastavovala na konstantní pevnou hodnotu pro všechny provozní stavy motoru. Zásadní vliv na výkon těchto motorů má totiž časování otevírání a zavírání sacích, přepouštěcích a výfukových kanálů, zobrazované v tzv. rozvodovém kruhovém diagramu. Tyto parametry je totiž nutné pro správné využití plného výkonového potenciálu motoru měnit v závislosti na otáčkách. Jedná se však o velmi náročnou činnost, a to především z konstrukčního a mechanického hlediska. Nastavovací prvky jsou například ve výfukových kanálech vystavované vysokým teplotám, stejně tak velkým teplotním změnám. Větší rozebírání této problematiky však není cílem této diplomové práce a nebude zde již dále řešeno. Chtěl jsem pouze nastínit problémy, které musí vývojáři motorů řešit pro správné využití a průběh výkonu. S nástupem elektroniky a řídicích jednotek se však i u dvoudobých motorů provádí řízení zapalování v závislosti na různých provozních stavech motoru. Hlavním důvodem je ovšem spíše zpřísnění emisních limitů, které jsou na kvalitě hoření směsi velmi závislé. I tak ale toto řízení umožnilo zvětšení výkonu u stávajících motorů. V dnešní době jsou však již dvoudobé motory pomalu na ústupu, a to především z již zmiňovaného hlediska škodlivých emisí, které tyto motory i přes různé řízení elektronickými jednotkami produkují. Dle mého názoru je to ovšem škoda, protože je u těchto motorů stále široké pole možností pro inovace stávajících problémů. Oproti čtyřdobým motorům totiž obsahují daleko menší množství rotačních součástí a jsou tak jednodušší na výrobu a následnou údržbu. Opět se ale jedná o myšlenky hodné jiného tématu. Proto se dále budu zabývat především čtyřdobými zážehovými motory.

Abych tedy mohl správně objasnit pojmy spojené se zapalováním a vstřikováním, uvedu zde stručně princip a funkci takového motoru. Vše je dobře patrné z obrázku 2.1.



Obrázek 2.1 Princip čtyřdobého motoru [17]

Sání – do válce je samočinně nasávaná výbušná směs otevřeným sacím ventilem, tvořená vzduchem a rozprášeným palivem ve správném poměru, při kterém je zaručeno optimální spalování. U vozidel bez turbodmychadla se tak děje podtlakem ve spalovacím prostoru, vznikajícím při pohybu pístu do dolní úvratě.

Kompresa – nasátá směs se stlačuje (oba ventily jsou uzavřené) a dochází tak k růstu tlaku a teploty, která zvyšuje účinnost spalování.

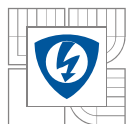
Zapálení – pro zažehnutí stlačené směsi vzduchu a rozprášeného paliva je nutné dodat soustavě další energii, a to v podobě elektrické jiskry, kterou vytváří zapalovací svíčka. Tak dojde k zapálení směsi a tím k přeměně energie, vázané v palivu, na mechanickou práci.

Expanze – zažehnutá výbušná směs hoří, roste tlak i teploty a píst je tlačěn dolů do dolní úvratě. Toto je jediná fáze celého cyklu čtyřdobého motoru, kdy dochází ke konání práce.

Výfuk – spaliny, vzniklé shořením směsi, se otevřeným výfukovým ventilem vytlačují pohybujícím se pístem směrem do výfuku.

Z uvedeného popisu je nutno zdůraznit dva základní děje. Zaprvé nasávání výbušné směsi. Na jejím složení totiž velmi závisí kvalita hoření a následné využití tepelné energie. Dalším významným kritériem, které složení směsi ovlivňuje, je množství produkovaných škodlivých exhalací, které jsou v dnešní době velmi diskutovaným problémem. A právě složením směsi se zabývá vstřikování, které je v dnešní době ovládáno řídicí jednotkou, která vyhodnocuje provozní stavy motoru a množství škodlivých emisí a podle toho upravuje množství vstřikovaného paliva. Podrobněji budou jednotlivé systémy vstřikování popsány v příslušné kapitole.

Jako další, pro nás významná činnost u tohoto typu motoru, je zapálení připravené výbušné směsi. Toto obstarává zapalování, které je v dnešní době již také nastavováno výhradně řídicí jednotkou. Čas zapálení je totiž nutno měnit s ohledem na mnoho parametrů z důvodů dosažení optimálního průběhu výkonu. Podrobněji je tato problematika popsána v následující kapitole.



3 VÝZNAM A MOŽNOSTI REGULACE PŘEDSTIHU ZÁŽEHU

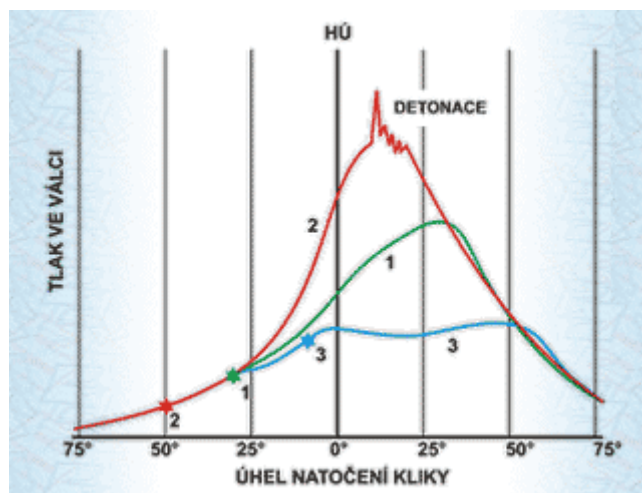
3.1 Význam regulace předstihu zážehu

Elektrická jiskra, která přeskočí mezi kontakty zapalovací svíčky a která musí zapálit výbušnou směs v pracovním prostoru spalovacího motoru, musí obecně splňovat tři požadavky: musí k ní dojít ve vhodný okamžik, musí být schopna vůbec výbušnou směs zapálit a zároveň ji musí zapálit takovým způsobem, aby byla co nejkratší prodleva mezi okamžikem výboje a skutečným začátkem hoření připravené výbušné směsi, při němž plamen již postupuje rychlostí charakteristickou pro danou palivovou směs a pro daný spalovací motor.

Okamžik zapálení stlačené výbušné směsi ve válci se většinou volí tak, aby plocha tlakového diagramu byla co největší. Tento okamžik zapálení musí být tedy korigován s rychlostí hoření. Příliš brzké nebo opožděné zapálení způsobuje zmenšení výkonu, horší energetické využití paliva a větší spotřebu. Vliv tohoto nastavení doby zapálení ukazují tlakové diagramy na obrázku 3.1. Při optimálním okamžiku zapálení dosahují tlak a teplota svých maximálních hodnot v malém úhlu za horní úvratí na začátku expanzního zdvihu a okamžik zážehu tedy musí nastat dříve o dobu, kterou potřebuje výbušná směs ke shoření (zobrazeno křivkou 1, čtvereček vždy udává okamžik zážehu). Je-li však směs zapálena příliš brzy, dojde v důsledku tlakové vlny k dalším dodatečným vzplanutím směsi na různých místech spalovacího prostoru. Tím dochází k nerovnoměrnému prohořívání směsi, což vede k velkému nárůstu tlaku ve spalovacím prostoru a k jeho silnému kolísání. Tento děj se nazývá klepání nebo také detonační hoření a je zřetelně slyšitelný zejména v nižších otáčkách (zobrazeno křivkou 2). Ve vysokých otáčkách zpravidla tento zvuk přehluší samotný hluk motoru. Avšak právě v tomto rozsahu otáček může detonační hoření vést až k vážnému poškození motoru. Jestliže dojde k zapálení příliš pozdě, dohořívá směs až v expanzním zdvihu a celý děj probíhá při zásadně nižším tlaku a s menší účinností využití tepla pro mechanickou práci. Teplota odcházejících spalín ze spalovacího prostoru je vyšší a motor se tak celkově více zahřívá. Snížením tlaku se zase zmenší rychlost hoření a to tak může vést až k dodatečnému dohořívání směsi ve výfuku, což působí negativně především na výfukový ventil, který je daleko více tepelně namáhán. Může tak snadno dojít k jeho poškození, známému například pod pojmem propálení ventilu.

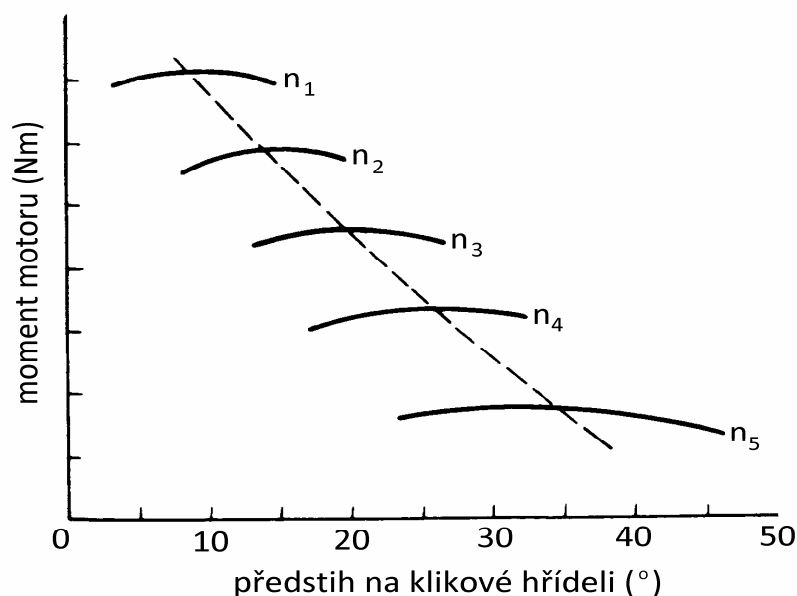
Poloha klikové hřídele před horní úvratí v okamžiku přeskočení jiskry mezi elektrodami zapalovací svíčky udává tzv. předzápal neboli předstih. Je udáván buď ve stupních úhlu natočení klikové hřídele před její horní úvratí nebo v milimetrech vzdálenosti pístu od horní mrtvé polohy. Pro různé pracovní podmínky a pro každý typ motoru je však nejideálnější velikost předstihu různá, protože na rychlost hoření má vliv jak konstrukce motoru, tak jeho okamžité provozní podmínky. Tyto a další, již méně závislé vlivy, jsou však velmi různorodé a nelze stanovit jednoduchou závislost, která by umožnila předem určit přesnou velikost předstihu. V minulosti navíc ani neexistovalo žádné mechanické a konstrukční zařízení, které by umožňovalo provádět přesnou regulaci v provozu. V dnešní době je však již situace zcela odlišná a velikost předstihu se dá snadno nastavovat pro různé provozní stavy motoru. Avšak i přesto se musí závislost regulace pro každý typ motoru zjišťovat empiricky. To se provádí tak, že se měří výkony a momenty daného motoru a jim příslušné specifické spotřeby motoru při různých hodnotách předstihu, otáček a zatížení (což se odvíjí od úhlu otevření škrtící klapky), popřípadě při dalších

kritériích, které mají na průběh výkonů a momentů vliv (jako například teplota motoru, teplota nasávaného vzduchu a jiné). Z optimálních naměřených hodnot se poté určí optimální závislost předstihu na těchto parametrech. Příklad naměřených průběhů momentů při plně otevřené škrtící klapce pro stanovení křivky odstředivé regulace (závislost velikosti předstihu na otáčkách motoru) je na obrázku 3.2. Zpravidla bývá velikost předstihu menší než 60° před horní úvratí klikové hřídele a nejčastěji bývá mezi 10° a 40° .



Obrázek 3.1 Vliv předstihu na tlakový diagram [9]

1 – optimální okamžik zážehu; 2 – předčasný zážeh; 3 – opožděný zážeh



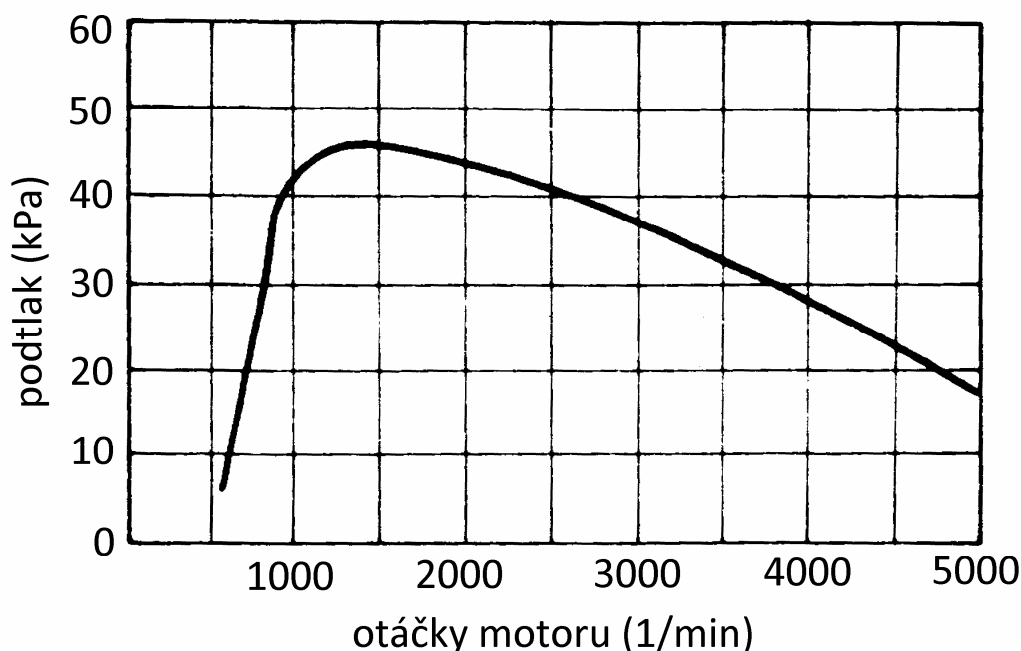
Obrázek 3.2 Zjištění regulační křivky předstihu z charakteristik motoru [1]

n_1 – nejmenší otáčky; n_5 – největší otáčky

Největší vliv na velikost předstihu mají dvě základní kritéria. Jsou jimi otáčky motoru a podtlak v sacím potrubí.

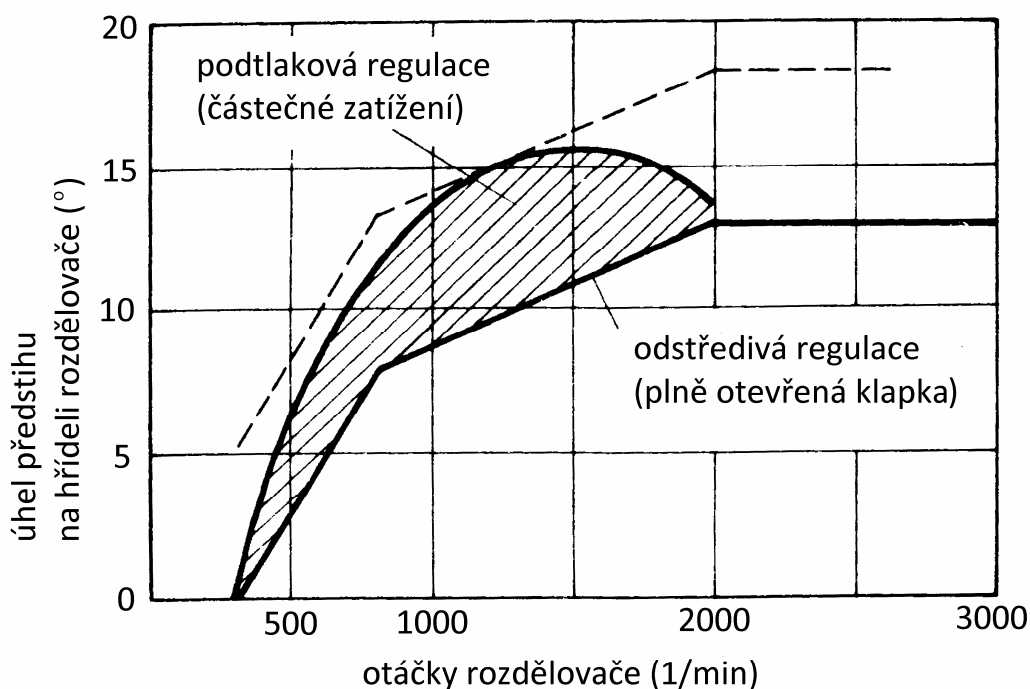
Se vzrůstající rychlostí je třeba předstih zvětšovat, protože píst v době hoření směsi urazí delší dráhu. Postupuje-li plamen např. průměrnou rychlostí 30 m.s^{-1} v kompresním prostoru, jehož nejvzdálenější místo je 60 mm od elektrod svíčky, trvá hoření 2 ms, a jsou-li otáčky motoru 2000 min^{-1} , což odpovídá úhlové rychlosti $12\,000 \text{ }^\circ.\text{s}^{-1}$, otočí se kliková hřídel o 24° . Má-li směs shořet nejpozději do okamžiku, kdy je kliková hřídel 20° za horní úvratí, musíme ji zapálit 4° před horní úvratí. Pokud by rychlost hoření byla stálá, zvětšoval by se potřebný předstih úměrně s otáčkami motoru. Rychlost hoření však stálá není. [1]

Rychlost hoření závisí na několika dalších činitelích, jako např. složení směsi, rychlost jejího víření ve válci, teplota apod., a tyto činitele zpravidla vykazují vždy nějakou souvislost s tlaky v sacím potrubí. Tento podtlak u hrdla sacího potrubí je přímo závislý na otáčkách motoru a na úhlu otevření škrtkové klapky. Tato závislost je zobrazena na obrázku 3.3. Na tomto podtlaku byla u motorů s karburátorem závislá bohatost směsi. Při plně otevřené škrtkové klapce byl podtlak v sacím potrubí nižší, směs se tak stala bohatší a ve spalovacím prostoru motoru nastaly podmínky pro rychlé hoření a tudíž pro menší předstih. Při částečně otevřené škrtkové klapce se podtlak v sacím potrubí zase zvětšil, ale do válce přicházelo méně paliva a předstih bylo tak nutné opět zvětšit.



Obrázek 3.3 Závislost podtlaku v sacím potrubí na otáčkách motoru [1]

Proto se vždy provádí regulace předstihu na těchto dvou základních parametrech (otáčky motoru a zatížení – podtlak v sacím potrubí). V dnešní době se tyto parametry ještě dále korigují v závislosti na dalších parametrech, které mají na rychlost hoření vliv, jako např. teplotě motoru, teplotě nasávaného vzduchu, relativní vlhkosti a dalších. Příklad základního společného působení regulace podle otáček a podtlakové regulace prováděné mechanickými systémy ukazuje obrázek 3.4.



Obrázek 3.4 Příklad společného působení základních regulací předstihu [1]

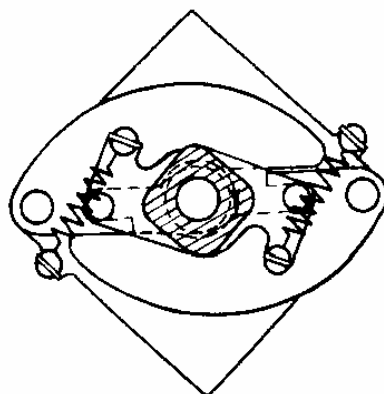
Na správnou hodnotu předstihu však mají ostatní parametry vliv přibližně v této míře:

- teplota motoru – 10°
- relativní vlhkost vzduchu – 10°
- atmosférický tlak – 10°
- směšovací poměr nasávané směsi – 10°
- oktanové číslo paliva – 5° až 10°

Čím více vlivů se používá k dodatečné korektuře základní hodnoty předstihu, dané z velikosti zatížení a počtu otáček motoru, tím lepšího průběhu spalování – a tím i lepšího průběhu výkonu a menšího množství škodlivých exhalací – můžeme dosáhnout.

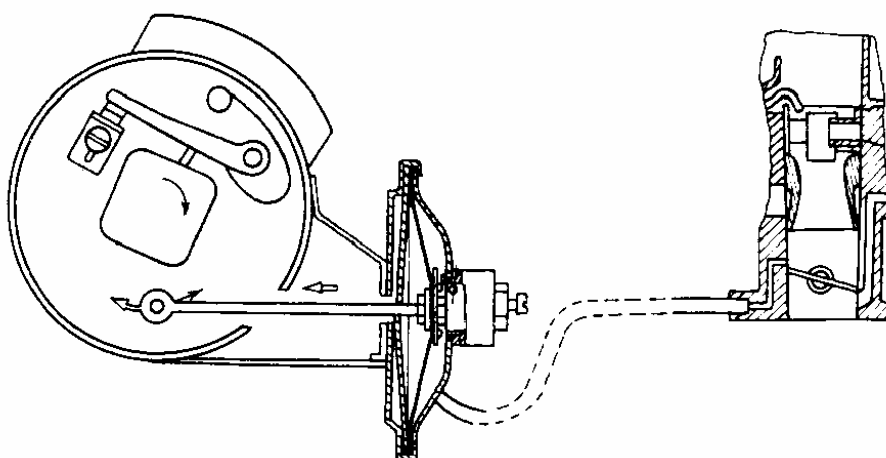
3.2 Způsoby regulace předstihu zážehu

K mechanické regulaci předstihu zážehu v závislosti na otáčkách se dříve používaly převážně odstředivé regulátory, které natáčely vačku přerušovače nebo otáčející se část jiného zařízení plnící stejný účel (např. snímače k řízení elektronického přerušovače u elektronických zapalovacích soustav) po směru otáčení o potřebný úhel. Příklad takového mechanismu ukazuje obrázek 3.5.



Obrázek 3.5 Odstředivý regulátor předstihu [1]

Regulace v závislosti na velikosti podtlaku se zpravidla řešila membránovým silovým mechanismem. Tento mechanismus natačel buď jen deskou s nepohyblivou částí přerušovače (nebo řídicího snímače), nebo přímo celým rozdělovačem. Podtlakový prostor membrány se připojoval na karburátor v blízkosti hrany škrťací klapky. Možné provedení je zobrazeno na obrázku 3.6.



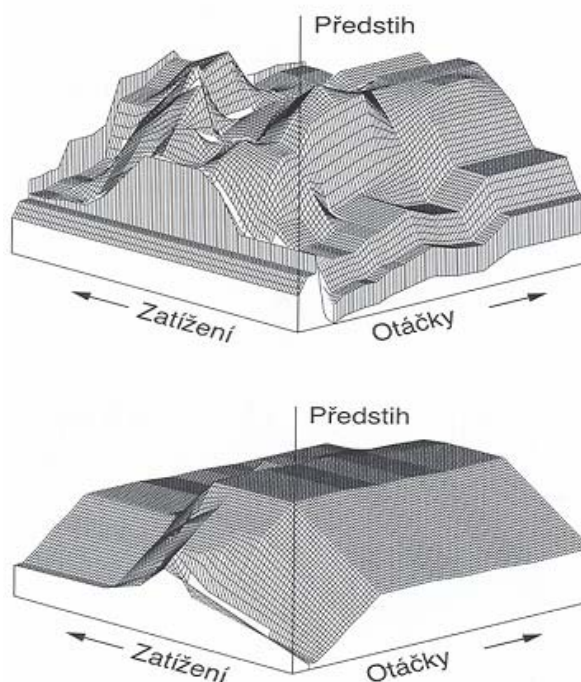
Obrázek 3.6 Mechanismus podtlakového regulátoru předstihu [1]

Tyto způsoby regulace předstihu zážehu běžným požadavkům vyhovovaly, optimální řízení však nezajišťovaly, protože jsou vztaženy jen na dvě řídicí hodnoty – otáčky a podtlak. Jak již bylo dříve poznamenáno, vliv na optimální hoření má však i teplota nasávaného vzduchu, teplota motoru, atmosférický tlak a další. Navíc bylo pro dlouhodobé zachování charakteristik nevýhodou značné opotřebovávání mechanických pohyblivých částí regulace. Přesnost regulace, která byla přímo závislá na vlastnostech rozdělovače, tak byla velmi nejistá. Rozdělovače se sice vyráběly s přesností regulace $\pm 1^\circ$ ($\pm 2^\circ$ na klikové hřídeli motoru), ale nutnými vůlemi, které se navíc vlivem opotřebovávání zvětšovaly, a nežádoucími kmity v rozvodu a kmity samotné klikové hřídele se mohly odchylky několikanásobně zvětšit. A jelikož na přesnosti regulace předstihu závisí kvalita a účinnost spalování směsi ve válci, odvíjí se od ní tudíž i množství

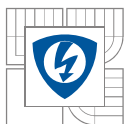
škodlivých exhalací, jejichž limity se v dnešní době neustále zpřísňují. Nekvalitní spalování také způsobuje větší spotřebu paliva.

Z tohoto důvodu se tak upustilo od mechanické regulace předstihu zážehu. Nešlo by to ovšem bez současného rozvoje elektroniky a počítačových procesorů. Stejně tak došlo k rozvoji různých druhů snímačů a senzorů, převádějící nám fyzikální a mechanické vlastnosti na elektrické, které již můžeme velmi snadno zpracovávat. I přesto ovšem není možné stanovit naprosto přesné požadavky motoru pro všechny pracovní stavy motoru. Ty nejsou odlišné jenom pro každý druh motoru, ale mohou vznikat odlišnosti i u naprosto stejných motorů vlivem možných tolerančních odchylek při sériové výrobě. Stejně tak má na kvalitu spalování, a tím potřebnou regulaci předstihu, velikost kompresního poměru (který je přímo závislý na opotřebením motoru, používané palivo a mnoho dalších vlivů, které nelze nikdy při návrhu regulačních křivek předstihu zcela zohlednit a předvídat.

Jelikož se v dnešní době používá k řízení zapalování elektronických řídicích jednotek, nejsme již limitováni mechanickými systémy, které měly určité meze, ve kterých mohly provádět korekci hodnoty předstihu. Řídicí jednotka nám vyhodnocuje všechny důležité veličiny, mající vliv na velikost předstihu, a podle toho nastavuje dobu zažehnutí směsi na neoptimálnější možnou hodnotu. V paměti řídicí jednotky jsou uloženy datová pole, tzv. mapy. Jsou to vlastně hodnoty velikosti předstihu pro dvě hlavní řídicí veličiny (otáčky motoru a podtlak v sání). Těchto hodnot mohou být v závislosti na velikosti paměti a rychlosti použitého procesoru tisíce. Čím více hodnot zde máme uloženo, tím více provozních stavů můžeme vyhodnotit a nastavit tak optimální velikost předstihu. Příklad takového pole hodnot nám ukazuje obrázek 3.7.



Obrázek 3.7 Srovnání datového pole uloženého v řídicí jednotce s polem mechanického systému



Horní obrázek znázorňuje pole charakteristik uložené v paměti řídicí jednotky. Spodní obrázek je vlastně převedená charakteristika mechanického systému (zobrazená na obrázku 3.4) do trojrozměrného datového pole. Zde je již na první pohled patrné, jakého regulačního rozsahu dosahuje mechanický systém. Jeho regulační charakteristika je velmi plochá a hodnoty předstihu se mění dosti plynule, což je dáno mechanickou konstrukcí. Navíc zde nejsou zohledněny mechanické vůle, které tyto charakteristiky dále deformují. Potřeby motoru jsou však jiné. I při malé změně otáček při současné změně zatížení může být pro optimální průběh spalování vyžadována velká změna hodnoty předstihu. To právě ukazuje horní obrázek, kde je možno rozeznat několik takřka skokových změn.

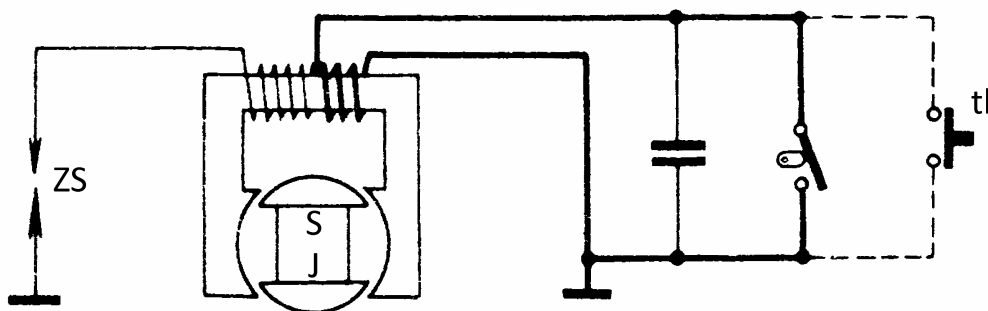
I přesto, že jsme v dnešní době schopni zanést do paměti řídicí jednotky velké množství dat, nabízí se otázka, jak jsou tyto hodnoty zjištěny. Nelze je totiž nijak vypočítat (resp. pouze ve velmi přibližné míře) a jediná možnost je tudíž empirické měření. Měřit však průběhy momentů motoru, jak je například znázorněno na obrázku 3.2, pro tisíce různých hodnot otáček a zatížení motoru, není příliš reálná. Na tyto měření navíc neustále působí další vnější vlivy, které mohou mít vliv na výslednou změřenou charakteristiku, popřípadě nejsme schopni zohlednit v měření okolnosti, které mohou nastat při již běžném používání motoru. I přes tyto určité problémy při sestavování datového pole hodnot však dosahuje regulace předstihu pomocí řídicí jednotky nesrovnatelně kvalitnější možnosti optimalizování spalovacího procesu v motoru. To byl také jeden z hlavních cílů při nahrazování mechanických systémů těmito elektronickými řídicími jednotkami. Jedině tak lze co možná nejúčinněji využít tepelnou energii připravené výbušné směsi a tím tak zvýšit dosavadní výkon motoru při současném snížení škodlivých exhalací.

4 ZPŮSOBY ZAPALOVÁNÍ U SPALOVACÍCH MOTORŮ

U všech zážehových motorů je směs paliva a vzduchu zapalována cizím zdrojem. K tomu nám slouží zapalovací svíčka, mezi jejímiž kontakty přeskóčí elektrická jiskra. V okamžiku zapálení jsou tyto kontakty obklopené výbušnou směsí paliva a stlačeného vzduchu. Při těchto podmínkách však klade prostředí k přeskoku jiskry velký odpor. Zapalovací zařízení má za úkol zapálit směs tohoto paliva a vzduchu za všech provozních podmínek, ve kterých motor pracuje, a zahájit tak spalování. Využívá se k tomu vysoké napětí (v rozmezí 8000 V až 24000 V), které se získává přetransformováním napětí akumulátoru (nejčastěji 12 V). Zároveň se musí vytvořit dostatek zápalné energie, aby se v každém kompresním zdvihu vytvořila zápalná jiskra s co nejdelší možnou dobou hoření. Způsobů transformace napětí a výroby zapalovací jiskry je velmi mnoho a s rozvojem elektroniky se postupně vyvíjely, stejně tak jako zanikaly systémy, které již svými vlastnostmi nevyhovovaly dnešním potřebám. Především se jednalo o způsoby s mechanickými spínacími prvky, které podléhaly opotřebování a tudíž měly vliv na výsledné nastavení celého systému.

4.1 Magnetoelektrické zapalování

Toto zapalování se sice nepoužívá v automobilovém průmyslu, ale uvádím je zde z důvodu stále velké rozšířenosti u malých spalovacích motorů. Najdeme jej u veškeré zahradní techniky, jako například motorové pily a sekačky (dnes již bez kontaktního přerušovače). Důvod je velmi jednoduchý, ke své činnosti totiž není zapotřebí vnější zdroj elektrické energie (akumulátor). Energie potřebná k vytvoření jiskry se totiž odebírá prostřednictvím generátoru s trvalým magnetem přímo z mechanické práce motoru. Vysoké napětí se však nevyrábí přímo jako napětí indukované rotačním pohybem. Využívá se zde opět akumulace energie do magnetického pole a její transformaci přerušením primárního proudu na stranu vysokého napětí.



Obrázek 4.1 Schéma magnetoelektrického zapalování [1]

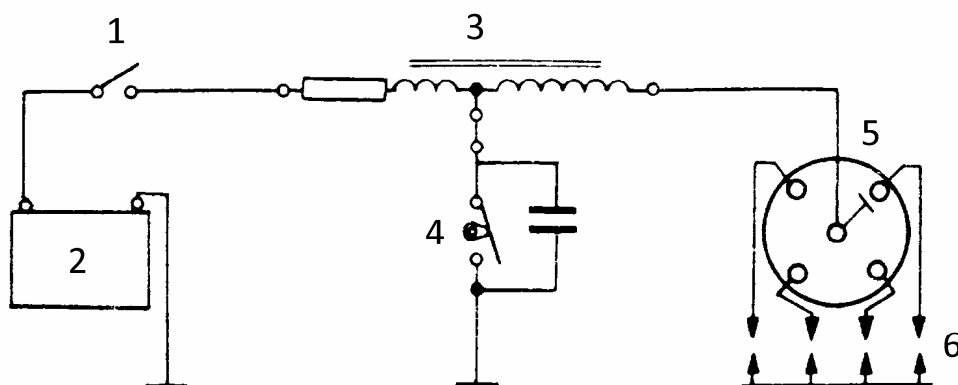
ZS – zapalovací svíčka; tl – tlačítko pro zkratování primárního obvodu

Potřebná energie pro vytvoření zapalovací jiskry se akumuluje v průběhu otáčení rotoru přímo do energie magnetického pole jádra magnetu. Částečně ji lze akumulovat i mimo vlastní prostor generátoru, např. do magnetického obvodu oddělené indukční cívky, ale přímá akumulace do magnetického obvodu magnetu je energeticky výhodnější.

Základní schéma magnetoelektrického zapalování je na obrázku 4.1. Otáčí-li se rotor s trvalým magnetem v magnetickém obvodu s cívkou spojenou kontakty nakrátko, brání proud indukovaný v cívce změnám magnetického pole v cívce. To způsobí, že se v části otáčky zvýší magnetické tahy působící proti pohybu magnetu v porovnání s tahy ve stejné části otáčky při rozpojené cívce. Zvětšuje tím energii, kterou je nutné při tomto pohybu do soustavy dodat jako mechanickou práci a která se převádí na energii magnetického pole obvodu. Tento přírůstek energie pole lze již snadno převést přerušením proudu do obvodu s vysokým napětím. Na obrázku je znázorněn mechanický přerušovač, který se však již nepoužívá. Místo mechanického kontaktu se v dnešní době používá bezkontaktní spínání, např. pomocí tranzistorů (zapalovací cívky s integrovaným spínačem). Okamžik otevírání a zavírání tranzistoru je dán impulsem, který vytváří snímač v určité poloze natočení klikové hřídele.

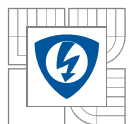
4.2 Bateriové zapalování

Bateriové (konvenční) zapalování je souhrnný název pro soustavy, které odebírají potřebnou energii z akumulátoru, narozdíl od magnetoelektrického zapalování popsaného v předchozí kapitole. Zapojení klasického bateriového zapalování se všemi nezbytnými částmi je na obrázku 4.2. I když se již v dnešní době nepoužívá mechanický přerušovač (4) a rozdělovač (5), pomůže nám tento obrázek pochopit základní činnost, která je stejná i u dnešních elektronických systémů zapalování.



Obrázek 4.2 Schéma bateriového zapalování [1]

1 – spínač zapalování; 2 – akumulátor; 3 – indukční cívka; 4 – mechanický přerušovač;
5 – mechanický rozdělovač; 6 – zapalovací svíčky



Jelikož potřebujeme pro přeskok zapalovací jiskry mezi elektrodami zapalovací svíčky vysoké napětí (řádově v kilovoltech), musíme nějakým vhodným způsobem přetransformovat stejnosměrné napětí akumulátoru (nejčastěji 12 V). K tomu je určena zapalovací cívka, což je vlastně autotransformátor s jádrem se vzduchovou mezerou, kde se rychlou změnou magnetického toku získává elektromagnetickou indukci vysoké napětí. Při sepnutých kontaktech přerušovače prochází proud primárním vinutím zapalovací cívky a vytváří tak v jádře magnetický tok. Jakmile nastane rozepnutí kontaktů, začne docházet k rychlému zániku primárního proudu, což způsobí indukování vysokého napětí do sekundárního vinutí cívky vlivem změny magnetického toku. Kondenzátor u přerušovače se zde používal z důvodů snížení opalování kontaktů při jejich oddalování. Zabraňoval tak vzniku oblouku, který by zpomaloval zánik primárního proudu, a tudíž menší indukované napětí. Nejdříve se indukovaným napětím nabíjejí kapacity zapalovací cívky, vedení a samotné zapalovací svíčky, které tak slouží jako akumulátor náboje. Po dosažení průrazné hodnoty vysokého napětí, které je potřebné ke vzniku výboje na elektrodách zapalovací svíčky, se tyto kapacity spolu se zbytkovou energií magnetické obvodu vybijí. Po rozpojení kontaktů přerušovače se již nemůže energie doplňovat z akumulátoru, a proto musí být celá soustava navržena tak, aby k akumulaci potřebné energie na zapalovací jiskru a přídavných ztrát došlo při sepnutých kontaktech. Mechanický rozdělovač zde pouze postupně přivádí vysoké napětí k jednotlivým svíčkám tak, aby došlo k výboji na svíčke toho válce, který právě koná pracovní zdvih.

Jelikož je jakýkoliv mechanický spínač zdrojem poruch a vlivem opotřebení se mění jeho parametry, byla vždy snaha o nahrazení těchto částí přesnějšími a méně poruchovějšími systémy. První taková snaha byla použitím tzv. zapalování s odlehčenými kontakty. Jednalo se o totožné zapojení jako na obrázku 4.2, pouze zde byl ke spínání hlavního primárního proudu cívkou použit tranzistor. Mechanický přerušovač tak spínal pouze proud do báze tranzistoru, což vedlo k menšímu opalování kontaktů, avšak i přesto nedošlo k výraznému zlepšení a tento systém se příliš nerozšířil. Proto došlo k vývoji bezkontaktního tranzistorového zapalování. U tohoto typu byl již odstraněn mechanický přerušovač a místo něho se použil určitý druh snímače. Používaly se tři typy – indukční, Hallův nebo optoelektronický snímač. Ty vytvářely řídicí impulsy pro spínací jednotku, která z těchto signálů vyhodnotila přesné otáčky motoru a nastavila tak správný okamžik napájení indukční cívky. Tato jednotka však neuměla měnit předstih, a proto se nadále používalo otáčkové a podtlakové regulace. Tento nedostatek však odstranilo plně elektronické zapalování, které již pro řízení a nastavování správného bodu zápalu nepoužívá žádné mechanické ani kontaktní prvky. Obsahuje pouze snímač otáček motoru, který je nejčastěji proveden jako ozubený kotouč a má označenou horní úvrať. Může to být provedeno například chybějícím zubem nebo naopak jedním zubem navíc, což způsobí změnu snímaného napětí snímačem. Možností „značkování“ horní úvrati je velmi mnoho a každý výrobce používá svůj způsob. Druhým hlavním kritériem pro výpočet bodu zápalu je pro řídicí jednotku zatížení motoru. Tlak v sacím potrubí (relativní podtlak) se hadicí přivádí na tlakový snímač. Ten předává řídicí jednotce signál, kterým lze pomocí zadaného algoritmu vypočítat příslušné zatížení motoru. Z těchto signálů je poté vytvořeno třírozměrné pole charakteristik předstihu, které umožňuje pro každý bod otáček a každý bod zatížení určit nejvýhodnější předstih. V celém poli charakteristik je podle požadavků naprogramováno asi 1000 až 4000 samostatně vyvolatelných hodnot předstihu.

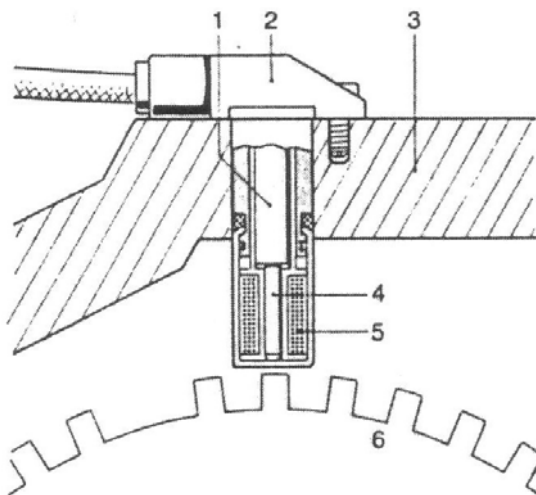
4.2.1 Základní části elektronického zapalování

Řídící jednotka

Řídící jednotka obsahuje procesor, který vyhodnocuje provozní stavy motoru z jednotlivých snímačů a nastavuje tak velikost předstihu, kterou si načítá z paměti, kde jsou tyto hodnoty uloženy. Obsahuje také koncové zesilovací stupně pro přímé napájení zapalovacích cívek. Podrobněji bude tato problematika rozebrána v příslušné kapitole.

Snímače otáček a polohy klikové hřídele

Pro správné nastavení hodnoty předstihu je nutné přesně znát otáčky motoru. Nejčastěji se používají indukční, popř. hallovy snímače. Na věnci setrvačníku jsou vytvořeny zuby s konstantní šířkou, které tak při otáčení indukují ve snímači střídavé napětí. Frekvence a napětí je závislá na otáčkách, takže lze již snadno převodníkem získat ze snímače skutečnou hodnotu otáček. Pro označení horní úvratě se například odstraní jeden zub, což snímač registruje jako delší prodlevu mezi změnami indukovaného napětí. Příklad takového snímače je na obrázku 4.3.

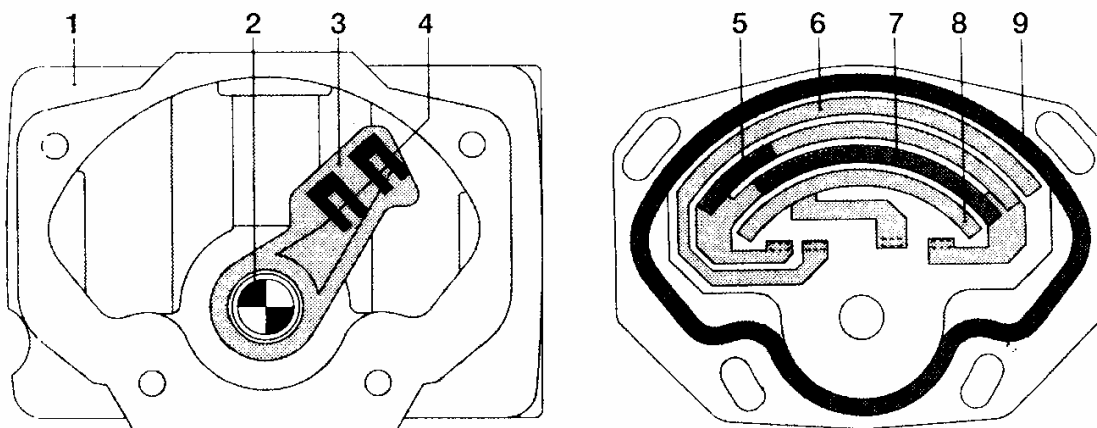


Obrázek 4.3 Snímač otáček klikové hřídele [4]

- 1 – permanentní magnet; 2 – těleso snímače; 3 – blok motoru; 4 – železné jádro; 5 – vinutí;
6 – setrvačník s výřezy

Snímač podtlaku a natočení škrtké klapky

Pro posuzování velikosti zatížení motoru se používá snímač podtlaku v sacím potrubí. Jelikož však při rychlých a velkých změnách tlaku v přechodových stavech (dané natočením škrtké klapky) nestačí tento snímač správně reagovat, používá se také snímač natočení škrtké klapky. Jedná se o potenciometr, jehož jezdec je umístěn na hřídeli škrtké klapky. Napětí na jezdcí potenciometru je potom úměrné natočení škrtké klapky. Příklad tohoto snímače je na obrázku 4.4. Potenciometr má vždy hlavní a opravnou dráhu, aby se předešlo možným výpadkům signálu při možném špatném kontaktu jednoho z jezdců.



Obrázek 4.4 Potenciometr škrtící klapky [4]

1 – těleso škrtící klapky; 2 – hřídel škrtící klapky; 3 – jezdec; 4 – sběrný kontakt; 5 – dráha odporu 1; 6 – dráha kolektoru 1 (opravná dráha); 7 – dráha odporu 2; 8 – dráha kolektoru 2 (opravná dráha); 9 – těsnění

Snímač klepání motoru

Tzv. knock senzor, snímá vibrace motoru při hoření zapálené směsi. Detonační hoření, kdy postupující plamen ve spalovací komoře narazí do pohybujícího se pístu, který ještě nepřekonal horní úvrať, způsobuje specifické vibrace, které jsou tímto senzorem snímány. Detonační hoření může být způsobeno nekvalitním palivem, velkým množstvím úsad ve spalovacím prostoru, ale především nesprávně nastaveným předstihem. Proto je reakce na detonační hoření snížení velikosti předstihu řídicí jednotkou. Snímač obsahuje piezoelektrické krystaly, které při vibracích vytváří napětí. Toto napětí pak porovnává řídicí jednotka a posoudí, jestli dochází k detonačnímu hoření. Bývá umístěn na bloku motoru a může být použit pro každý válec zvlášť.

Snímač teploty motoru

Velikost předstihu se také mění s teplotou motoru, především kritické může být přehřátí motoru. V takovémto případě totiž může docházet k samozápalům, detonačnímu hoření, což snižuje výkon, způsobuje ještě větší nárůst teploty a především může dojít k poškození celého motoru. Proto je nutné při překročení určité teploty snižovat velikost předstihu oproti stanovené hodnotě, určené z počtu otáček motoru a velikosti zatížení. Většinou se používají termistory.

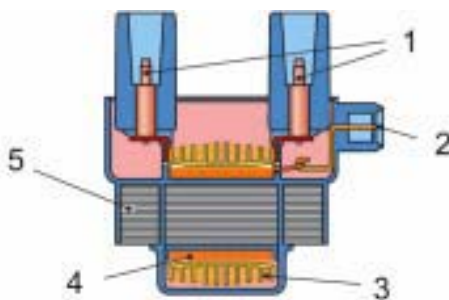
Zapalovací cívka

U kontaktního bateriového zapalování se používala ve většině případů pouze jedna indukční cívka a vysoké napětí se rozvádělo k jednotlivým zapalovacím svíčkám pomocí rozdělovače. Ve snaze odstranit veškeré kontaktní a mechanické části se však přešlo na systém používání většího počtu zapalovacích cívek, obvykle více-vývodových, které jsou uzpůsobeny na vytváření dvou jisker současně. Je zde ovšem nutné podotknout jeden základní parametr, který je stejný pro všechny typy zapalovacích cívek, a tím je tzv. doba plnění (známá též jako úhel sepnutí). Je to doba, po kterou prochází primárním vinutím proud a který vytvoří v jádře cívky magnetický tok. Tato doba je pro všechny cívky konstantní a činí asi 3 ms. Při kratší době by došlo k menšímu

nasycení jádra a tudíž využitelná energie by byla menší. Při překročení by se zase procházející proud zbytečně měnil v teplo a zahříval by vinutí cívky. Proto musí být tato doba stále udržována na konstantní hodnotě v celém rozsahu otáček, což má v dnešní době na starosti řídicí jednotka.

Zapalovací cívka s dvojitou jiskrou

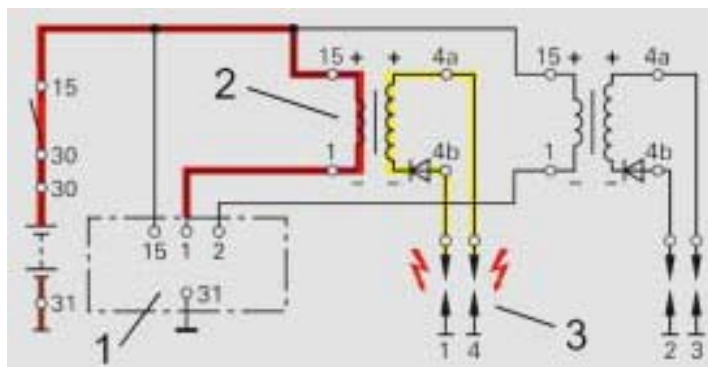
Používají se u motorů se sudým počtem válců. Tato cívka vždy napájí vysokým napětím dvě svíčky současně, proto musí druhá, neúčinná jiskra, proběhnout u válce, který je ve výfukovém cyklu. U klasického čtyřválcového motoru se tak jedna cívka připojí na zapalovací svíčky prvního a čtvrtého válce, druhá cívka na druhý a třetí válec. Řídicí jednotka již ze snímače polohy klikové hřídele určí, kterou cívku v daném okamžiku aktivovat. Řez takovouto cívkou je na obrázku 4.5.



Obrázek 4.5 Řez dvou-vývodovou zapalovací cívkou [13]

- 1 – vysokonapěťové přípojky; 2 – nízkonapěťová přípojka; 3 – sekundární vinutí;
4 – primární vinutí; 5 – železné jádro

Obrázek 4.6 ukazuje obvodové zapojení těchto cívek. Červeně je zvýrazněn proud primárním vinutím (nízko-napěťová část) a žlutě proud sekundárním vinutím (vysoko-napěťová část).

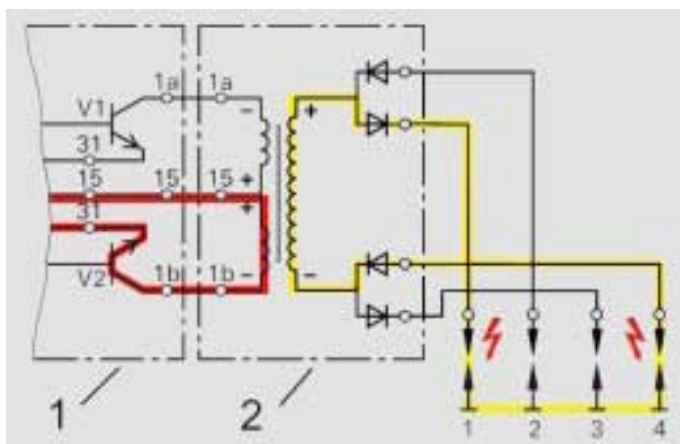


Obrázek 4.6 Způsob zapojení cívky s dvojitou jiskrou [13]

- 1 – řídicí jednotka elektronického zapalování; 2 – zapalovací cívka; 3 – zapalovací svíčky

Zapalovací cívka se čtyřnásobnou jiskrou

Tato cívka nahrazuje dvě cívky s dvojitou jiskrou u čtyřválcového motoru. Má dvě primární vinutí (respektive jedno s vyvedeným středem), které je ovládáno koncovým stupněm řídicí jednotky. Na výstupu sekundárního vinutí je vlastně můstkový usměrňovač, který umožňuje aktivaci vždy pouze dvou zapalovacích svíček podle toho, jaká část primárního vinutí je právě napájena. Obvodové zapojení je znázorněno na obrázku 4.7. Červeně je opět znázorněn průchod proudu žádanou částí primárního vinutí, žlutě cesta průchodu proudu sekundárním vinutím přes diody.



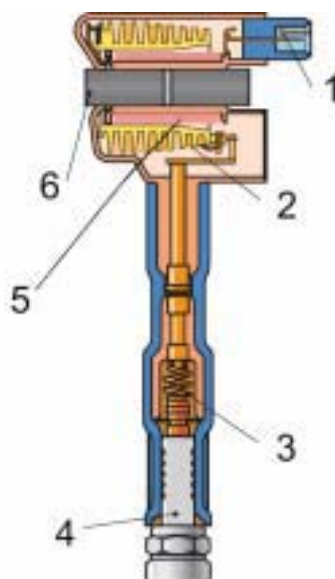
Obrázek 4.7 Způsob zapojení cívky se čtyřnásobnou jiskrou [13]

1 – řídicí jednotka elektronického zapalování; 2 – zapalovací cívka

Zapalovací cívky s jednou jiskrou

U tohoto systému má každá zapalovací svíčka svou vlastní cívku, která je umístěna přímo na hlavě válců a připojena tak na svíčku. Řídicí jednotka tak aktivuje vždy pouze potřebnou zapalovací cívku, takže nedochází k neúčinnému přeskoku jiskry na druhé zapalovací svíčke, jako tomu je u předchozích více-vývodových cívek. Zvětšuje se tak životnost elektrod zapalovacích svíček a šetří energie. Do sekundárního obvodu se umísťuje vysokonapěťová dioda pro potlačení tzv. vedlejší jiskry. Ta může vzniknout vlastní indukcí při připojování primárního vinutí, má však opačnou polaritu a tudíž ji dioda nepropustí.

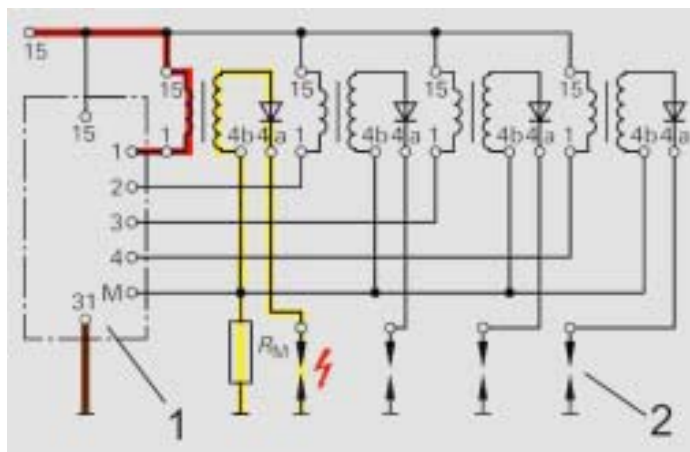
Dále se zde může provádět kontrola jiskry vřazeným měřicím odporem do sekundárního vinutí. Při přeskoku jiskry na něm vzniká průchodem proudu úbytek napětí, jehož velikost se přivádí do řídicí jednotky. Pokud nedojde k přeskočení jiskry, nebo je jiskra slabá, řídicí jednotka to zaznamená změnou tohoto napětí a může signalizovat poruchu v zapalovacím okruhu. Řez touto cívkou je na obrázku 4.8.



Obrázek 4.8 Řez zapalovací cívkou s jednou jiskrou [13]

- 1 – nízkonapěťová přípojka; 2 – sekundární vinutí; 3 – vysokonapěťová přípojka;
4 – zapalovací svíčka; 5 – primární vinutí; 6 – železné jádro

Na obrázku 4.9 je opět znázorněno obvodové zapojení a barevně naznačen průchod proudu jako u předešlých zapojení.



Obrázek 4.9 Způsob zapojení cívky s jednou jiskrou [13]

- 1 – řídicí jednotka elektronického zapalování; 2 – zapalovací svíčky

Zapalovací svíčka

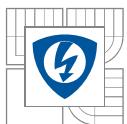
U zážehového motoru se spalování stlačené směsi vzduchu a paliva vyvolává elektrickou jiskrou. Výrobu této jiskry obstarává zapalovací svíčka, která je zašroubována do hlavy válce. Musí bezpečně zapalovat při všech provozních režimech motoru, zajišťuje spouštění studeného motoru, zabezpečuje nepřerušované hladké zrychlení a dlouhodobý provoz při nejvyšším

zatížení. Například šestiválcový motor při otáčkách $5\,000\text{ min}^{-1}$ potřebuje v jedné minutě 15 000 jisker. Každá jednotlivá svíčka tedy zapaluje za 1 minutu 2 500 krát, tj. více jak 40 krát za sekundu. Navíc musí zapalovací svíčka odolávat spalovacím teplotám až $2500\text{ }^{\circ}\text{C}$, tlaku až 6 MPa, zatímco při sání je ve válci velký podtlak a teplota okolo 80°C . Dále je svíčka vystavena vysokým napěťovým rázům okolo 30 kV. Svíčka musí odolávat chemickým vlivům agresivního prostředí spalovacího prostoru a musí být tepelně pružná, tj. zajistit start při nízkých teplotách a spolehlivou provozuschopnost při vysokém přehřátí motoru. [1]

Přeskokem jiskry na zapalovací svíčce dojde k zapálení směsi paliva se vzduchem ve spalovacím prostoru. Zapalovací svíčka je keramicky izolovaná, plynotěsná průchodka do spalovacího prostoru. Prostor mezi střední a vnější elektrodou se při překročení přeskokového napětí stává vodivý a přeměňuje se zde energie zapalovací cívky na elektrickou jiskru. Velikost přeskokového napětí závisí na vzdálenosti elektrod, geometrii elektrod, tlaku ve spalovacím prostoru a poměru vzduchu a paliva v okamžiku zapálení. Příklad konstrukce svíčky BRISK je na obrázku 4.10.

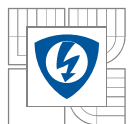


Obrázek 4.10 Řez zapalovací svíčkou BRISK [14]



4.3 Kapacitní zapalování

Předchozí elektronické zapalování se označuje také jako tranzistorové induktivní, nebo zkratkou TCI (Transistor Controlled Ignition). Tranzistorem se řídí napájení indukční cívky. Existuje však ještě kapacitní zapalování, označované zkratkou CDI (Capacitive Discharge Ignition). Jedná se vlastně o upravené magnetoelektrické zapalování z kapitoly 4.1. Ke své činnosti nepotřebuje akumulátor a k vytvoření vysokého napětí využívá energie nahromaděné v kondenzátoru. Napětím, které se indukuje v napájecí cívice na statoru při otáčení magnetického rotoru (obrázek 4.1), se nabíjí kondenzátor na poměrně vysoké napětí (až 300 V). V okamžiku, kdy má dojít k přeskočení jiskry na zapalovací svíčce, se kondenzátor vybije do primárního vinutí zapalovací cívky. Jako ovládací prvek se nejčastěji používá tyristor. Tím se na sekundární straně indukuje vysoké napětí, které může dosahovat až hodnoty 40 kV, což je podstatně více než u bateriového zapalování. Výboj však trvá kratší dobu, což je ale kompenzováno vyšší předanou energií při výboji. Toto zapalování se používá u určitých druhů motocyklů, například plochodrážních nebo krosových.



5 ZPŮSOBY VSTŘIKOVÁNÍ U SPALOVACÍCH MOTORŮ

5.1 Základní pojmy

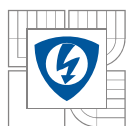
Spalovacího motor pracuje na principu přeměny chemické energie, vázané v použitém palivu, na mechanickou práci. Je tedy nutné vytvořit zápalnou směs paliva se spalovacím vzduchem, která se následně stlačí ve spalovacím prostoru válce na nejmenší objem a pak zapálí. K přípravě této směsi se dříve používaly karburátory. Jejich výhoda tkvěla v poměrně kvalitním rozprášení paliva, stejně tak jako mechanická jednoduchost a s ní související cena. Kvalita takto vytvořené směsi však nevyhovovala emisním předpisům a pro zlepšení vytvářené směsi bylo nutné přidávat ke karburátorům další doplňky a úpravy. Především se jednalo o požadavky na přesné dávkování paliva, zejména během studeného startu a v přechodových režimech motoru. To vedlo k příliš velké složitosti karburátorů. Především pro vozidla vyšších tříd a vyšších obsahů válců. Snižovala se tak původní cenová výhoda oproti vstřikování benzínu do sacích kanálů jednotlivých válců motoru.

Ovšem ani první systémy vstřikování nedosahovaly přílišných výhod oproti karburátorům. Jednalo se totiž o kontinuální dodávku paliva do sacího potrubí, založenou převážně na mechanických principech bez jakékoliv elektronické regulace, jehož množství se nastavovalo změnou průřezu palivového potrubí. Docházelo tak, stejně jako u karburátorů, k přílišnému smáčení stěn sacího potrubí a tím k velkým odchylkám složení směsi při různých provozních stavech motoru. K účinnému využití vstřikování paliva tak došlo až s rozvojem elektroniky a snímačů neelektrických veličin, které nám umožňují co nejlépe popsat chování motoru a z těchto údajů poté přesně měnit složení směsi množstvím vstřikovaného paliva.

Existují tři základní způsoby vstřikování:

- centrální vstřikování
- vstřikování paliva do sacích kanálů válců
- přímé vstřikování do válců motoru

Abychom dosáhli u zážehového motoru ideálního průběhu spalování připravené směsi, musíme připravovat hmotnostní podíl vzduchu a paliva ve správném poměru. To byl u karburátorů problém, protože nebylo možné měnit dávku paliva přesně s potřebami motoru. Většinou se totiž uvažuje s provozem motoru v oblasti středního zatížení a jsou proto navrženy tak, aby měly v této oblasti nejmenší spotřebu paliva. V dalších režimech již pracují s větším přebytkem paliva. Tyto variabilní požadavky však nemohly karburátory splňovat. Docílilo se toho až použitím jednotek vstřikování. Teoreticky probíhá ideální spalování při hmotnostním poměru vzduchu a paliva 14,7:1. Je označován jako stechiometrický směšovací poměr. Různé provozní stavy a režimy motoru však vyžadují korekci této hodnoty směšovacího poměru. Významně totiž ovlivňuje specifickou spotřebu paliva.



Jestliže chceme dosáhnout dokonalého spálení, co nejmenší spotřeby a optimálního složení emisí ve výfukových plynech, musíme vždy udržovat určitý přebytek vzduchu. Zápalnost směsi se pohybuje v rozmezí směšovacího poměru 10,29 – 19,11:1. V dnešní době pracují motory přibližně s poměrem 15 – 18:1.

Pro správný průběh spalování je také důležitá homogenita směsi, dokonalé promíchání paliva se vzduchem a rozvření této směsi ve spalovacím prostoru. Palivo musí být také velmi dobře atomizováno (rozděleno na co nejmenší částice), což je přímo závislé na rychlosti proudění vzduchu. U karburátorů tak docházelo k usazování paliva na stěnách potrubí vlivem velké délky sacího potrubí, což způsobovalo nedokonalé plnění válce a muselo se tak pracovat s přebytkem paliva. Při brzdění motorem (deceleraci) navíc docházelo k vysoušení sacího potrubí a tudíž k další změně směšovacího poměru, která se nedala nijak dodatečně korigovat.

Abychom rozlišili skutečný poměr paliva a vzduchu, byla zavedena hodnota Lambda (λ). Ta nám přesněji udává rozdíl mezi skutečným a teoretickým směšovacím poměrem. Je určena poměrem dodané hmoty vzduchu k teoretické potřebě vzduchu pro stechiometrický směšovací poměr a charakterizuje tak složení směsi. Pohybuje se ve třech základních intervalech:

- $\lambda=1$ – množství vzduchu odpovídá teoretické spotřebě
- $\lambda<1$ – jedná se o přebytek paliva a tudíž bohatou směs
- $\lambda>1$ – Jedná se o přebytek vzduchu a tudíž chudou směs

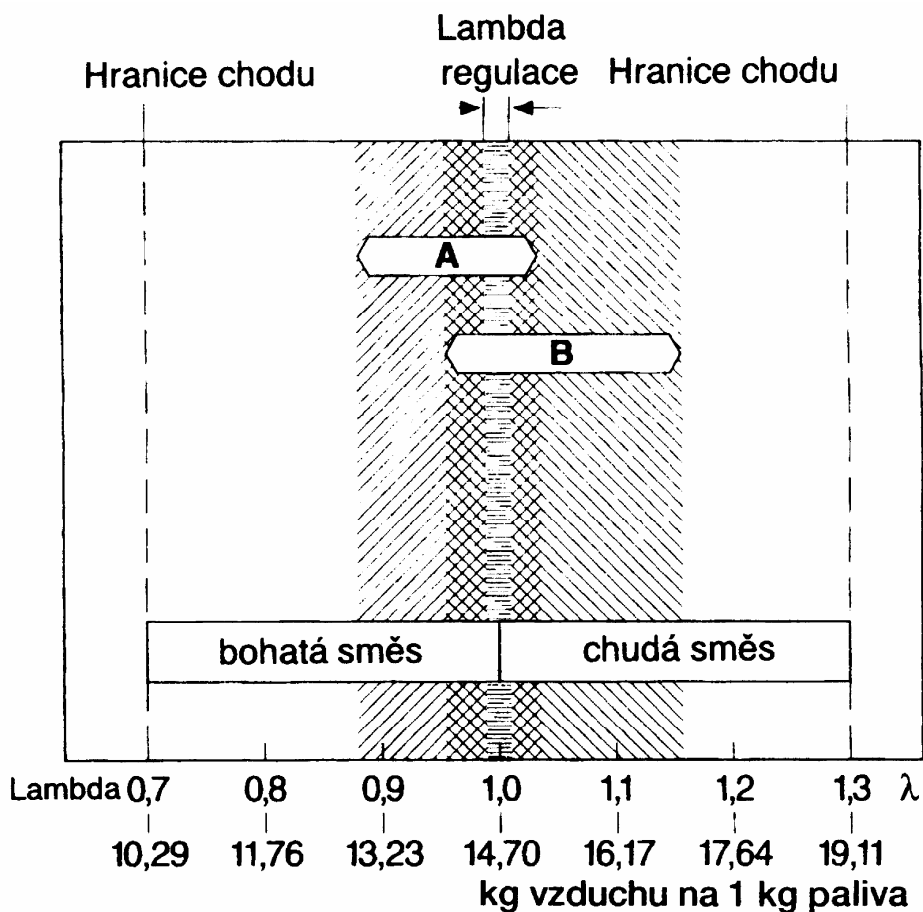
Pro dosažení nejvyššího výkonu motoru je potřeba udržovat hodnotu λ v rozmezí 0,95 – 0,85 (tj. 5 – 15 % přebytku paliva). Naopak pro nejnižší spotřebu je nutná hodnota λ v rozmezí 1,1 – 1,2 (tj. 10 – 20 % přebytku vzduchu). Pro dosažení nejideálnějšího množství obsahu škodlivých emisí a bezproblémového chodu je hodnota $\lambda=1$. Dobře je to patrné z obrázku 5.1. Oblast A představuje dosahované složení směsi u motorů s použitím karburátorů, oblast B pak složení směsi při použití vstřikování.

Z tohoto zobrazení již jasně plyne, že vstřikování umožňuje nižší spotřebu paliva a tím pádem menší množství produkovaných škodlivých exhalací při zachovaných vlastnostech motoru (při správné regulaci naopak ještě lepší využití výkonového potenciálu motoru).

5.2 Příprava směsi centrálním vstřikováním (SPI)

Prvním možným způsobem vstřikování, nahrazující původní karburátory, je centrální vstřikování, které přivádí palivo přímo do nasávaného vzduchu proudícího mezerami mezi tělesem škrtící klapky a stěnami sacího potrubí. Množství vstřikovaného paliva, a tudíž složení směsi, je dáno dobou otevření vstřikovací trysky a tlakem paliva. Palivová tryska je vlastně elektromagnetický ventil, který se otevírá impulsy z řídicí jednotky. Pro určení správného množství paliva, daného délkou otevření vstřikovací trysky, je však nutné udržovat konstantní

tlak paliva. Proto jednotka obsahuje elektrické palivové čerpadlo, které vytvoří v rozvodném potrubí dostatečný tlak a zároveň neustálý přísun čerstvého paliva.



Obrázek 5.1 Složení směsi zážehových motorů [4]

Hlavním představitelem tohoto typu vstřikování je soustava Bosch **Mono-Jetronic**. Jedná se o nízkotlaký systém elektronicky řízeného vstřikování benzínu. Tvoří hlavní část systému **Mono-Motronic**, které se u nás používali na vozidlech koncernu VW, především u první řady vozidel Felicia.

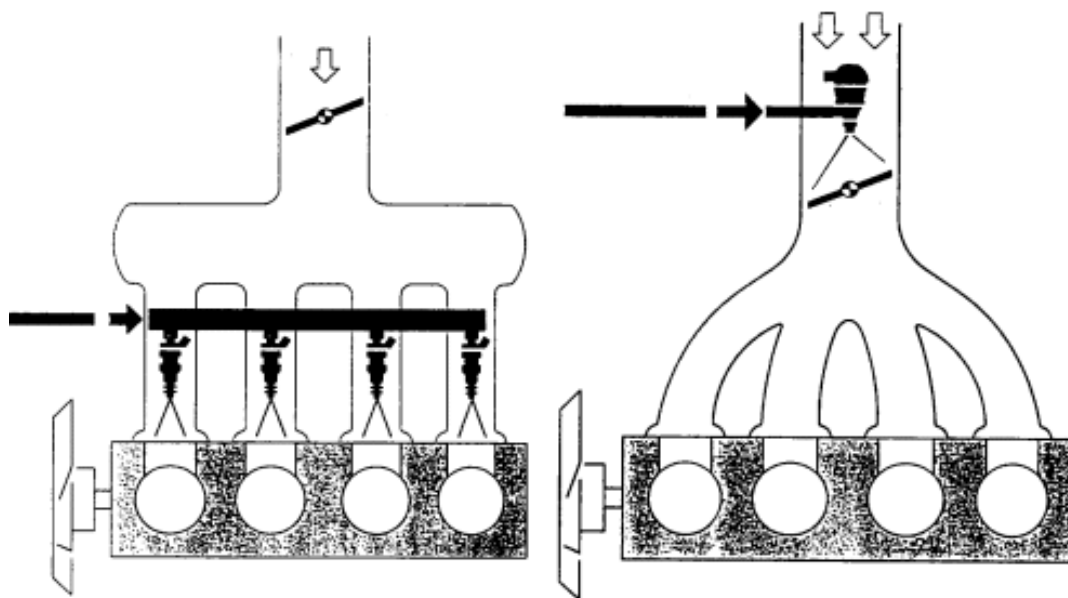
Palivová soustava je umístěna přímo na tělese škrtkové klapky a tudíž není palivo příliš ohříváno. Nehrozí tak vzniku párových polštářů paliva (bublin) a tlak paliva tak nemusí být příliš velký. Regulátor paliva nastavuje tlak přibližně na 100 kPa. Palivo se dávkuje podle množství nasávaného vzduchu motorem během sacího zdvih. Toto množství je určené otáčkami motoru a natočením škrtkové klapky.

Řídící jednotka tak vypočítává dobu otevření vstřikovací trysky (množství paliva) podle signálů ze snímačů těchto dvou veličin (úhel natočení škrtkové klapky a otáčky motoru). Množství vstřikovaného paliva pro tyto zjištěné provozní stavy jsou závislé na konkrétním typu motoru a jsou stanoveny při jeho vývoji ve zkušební laboratoři.

5.3 Vstřikování paliva do sacích kanálů válců (MPI)

Tvorba směsi v jednom centrálním místě má však několik nedostatků, které pak zhoršují parametry motoru. Fyzické uspořádání válců totiž způsobuje rozdílnou délku sacího potrubí k jednotlivým válcům. Aerodynamické vlastnosti potrubí tak způsobují nerovnoměrné rozdělení připravené směsi k jednotlivým válcům motoru. Pokud navíc není sací potrubí zahřáté na určitou teplotu, dochází na chladných stěnách ke kondenzaci kapiček, které tak vytváří palivový film. Tato „vrstvička“ paliva má poté nepříznivý vliv na chod motoru, který se projevuje zejména v přechodových stavech motoru. Další problém nastává při měření složení spalin ve výfukovém potrubí snímačem obsahu kyslíku (λ sondou). Mezi tímto místem měření a přívodem paliva do nasávaného vzduchu je totiž velká vzdálenost a při regulaci tak dochází k velkému časovému zpoždění, což má opět za následek zvětšení škodlivého obsahu spalin vypouštěných do ovzduší.

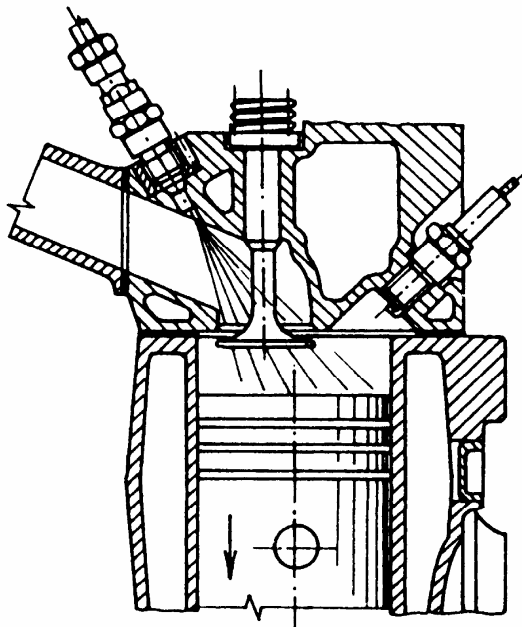
Z tohoto důvodu došlo k vývoji soustav vstřikování paliva, které jsou umístěny co nejbližší spalovacímu prostoru. Rozdíl oproti jednobodovému systému vstřikování nám dobře ilustruje obrázek 5.2. Škrticí klapka tak ovládá pouze množství přiváděného vzduchu v centrálním místě sacího potrubí. V automobilovém průmyslu se nejčastěji používá vstřikování paliva bezprostředně k sacímu ventilu.



Obrázek 5.2 Rozdíl mezi vícebodovým (vlevo) a centrálním vstřikováním (vpravo) [16]

Palivo se vstřikuje, stejně jako u centrálního vstřikování, v přesných dávkách určených dobou otevření vstřikovací trysky. Okamžik tohoto vstřiku je vždy přesně stanoven. Přesto je způsob regulace množství paliva a konstrukce trysky dána druhem vstřikování. Nerovnoměrnost dodávky paliva ke vstřikovacím tryskám se zde neprojevuje, protože soustava obsahuje regulátor tlaku, který udržuje tlak ve vysokotlakém rozvodu na konstantní hodnotě. Každý válec má přiřazenu jednu trysku a přívod vzduchu obstarává geometricky stejné sací potrubí. Možná

rozdílnost složení směsi mezi jednotlivými válci je tak minimální. Umístění vstřikovací trysky v sacím kanálu je znázorněno na obrázku 5.3.



Obrázek 5.3 Umístění vstřikovací trysky v sacím kanálu [4]

5.3.1 Způsoby ovládání vstřikovacích trysek

Jelikož jsou vstřikovací trysky v podstatě elektromagnetické ventily, jejichž otvírání a zavírání způsobuje elektrický impuls s řídící jednotky, vyvinulo se několik možných způsobů ovládání okamžiku aktivace jednotlivých vstřikovacích trysek. Pokud je navíc vstřikovací tryska umístěna v blízkosti sacího ventilu, může být palivo vstřikováno přes otevřený ventil přímo do spalovacího prostoru válce. Tento způsob se nazývá polopřímý způsob vstřikování a omezuje usazování paliva na stěnách sacího potrubí, což vede opět ke zlepšení složení výsledné směsi, která se tak částečně vytváří přímo ve spalovacím prostoru. Podmínkou je ovšem správné načasování otevření vstřikovacího ventilu. Musí k němu dojít v době, kdy je otevřen sací ventil a motor koná sací zdvih.

Z tohoto důvodu rozlišujeme tři základní principy vstřikování podle okamžiku aktivace jednotlivých vstřikovacích trysek:

- simultánní vstřikování
- skupinové vstřikování
- sekvenční vstřikování

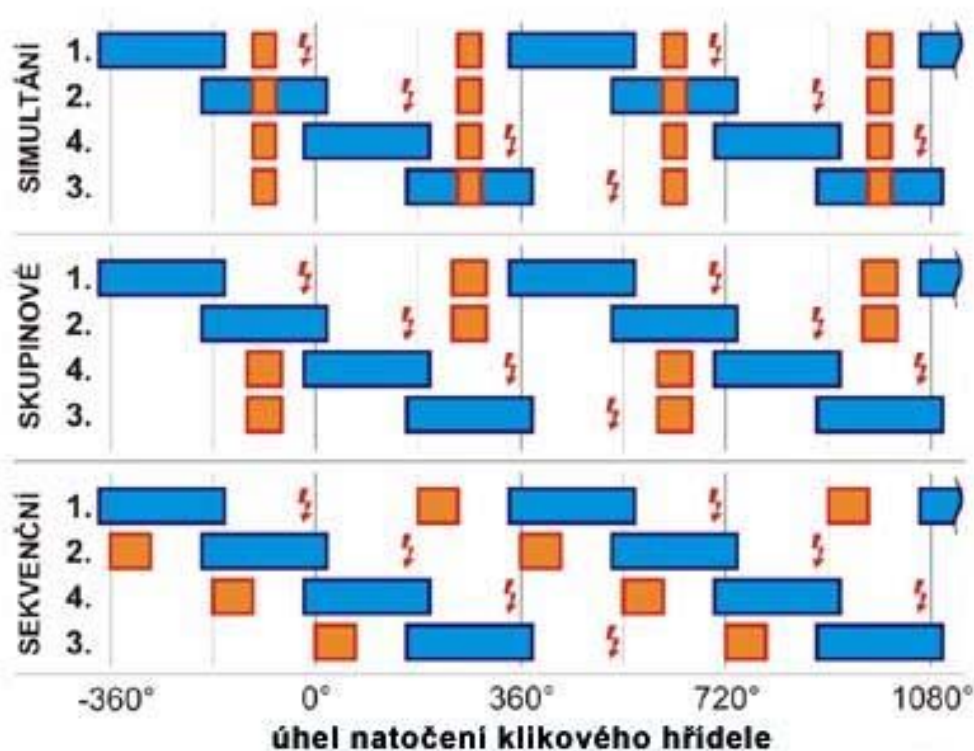
U prvního způsobu (simultánní vstřikování) se vždy aktivují všechny trysky ve stejný okamžik bez ohledu na to, v jaké fázi se jednotlivé válce momentálně nacházejí. Dochází tak ke vstřikování při každé otáčce klikové hřídele. Není tak nutné snímat polohu vačkové hřídele, avšak dochází tak k hromadění paliva u uzavřeného sacího ventilu. Tady dojde k částečnému odpaření a po otevření sacího ventilu nasátí směsi proudícím vzduchem do válce. Nikdy ale není

možné poměrně krátkou dobou sání odsát veškeré připravené palivo, které tak zůstává okolo ventilu a v sacím kanále. Z tohoto důvodu je nutné vstřikovat nepatrně větší množství paliva, než je ve skutečnosti potřeba pro správné hoření směsi ve válci. Odpařování paliva v sacím kanále při uzavřeném sacím ventilu navíc snižuje obsah kyslíku, takže dochází při následném spalování k horšímu prohoření směsi a zhoršení emisí.

Druhý způsob vstřikování (skupinové) se využívá rozdělení vstřikovacích trysek do dvojic, takže se aktivují vždy dvě a dvě tryska současně. Každou dvojici tak není nutné aktivovat při každé otáčce klikové hřídele, ale pouze jednou za dvě otáčky. Pouze se oproti simultánnímu způsobu zdvojnásobí vstřikované dávky paliva (prodlouží se čas otevření trysky). Vlivem tohoto uspořádání nedochází k takovému odpařování paliva v sacím kanále, stále má však vždy jeden z dvojice válců částečně odlišné složení nasávané směsi.

Proto došlo k vývoji sekvenčního vstřikování, u kterého se provádí aktivace každé vstřikovací trysky zvlášť a v předem určený okamžik. Ten je nastaven tak, aby došlo ke vstříknutí paliva těsně před otevřením sacího ventilu, popřípadě aby došlo k částečnému vstříku i přes otevřený sací ventil přímo do válce motoru. Zlepšuje se tak složení směsi ve spalovacím prostoru a navíc vstřikované chladné palivo příznivě ochlazuje sací ventil. Nemůže tak dojít k velkému odpařování paliva v sacím kanále, jako tomu bylo u předchozích dvou způsobů řízení vstřikování.

Porovnání těchto tří druhů je možné z obrázku 5.4. Modrý proužek značí dobu otevření sacího ventilu, žlutý proužek dobu aktivace vstřikovací trysky a symbol blesku značí aktivaci zapalovací cívký (zapálení směsi jiskrou na zapalovací svíčke).

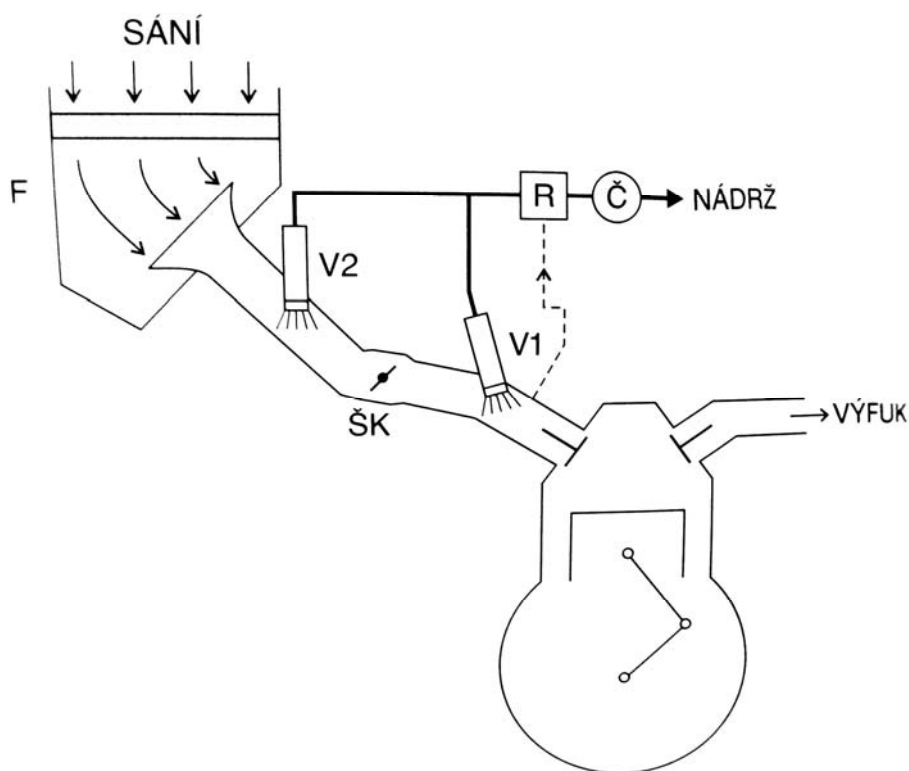


Obrázek 5.4 Porovnání různých způsobů časování vstřikování [10]

5.3.2 Duální vstřikování

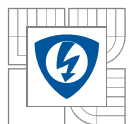
Zvláštním systémem vstřikování je tzv. duální vstřikování, které je v podstatě kombinací centrálního vstřikování a vstřikování do sacího kanálu válců. Čtyřválcový motor tak obsahuje dohromady pět vstřikovacích trysek. Jednu trysku má vždy každý válec umístěnu v sacím kanále (primární vstřikovač) a pátá tryška je společná pro všechny válce a bývá umístěna v sacím potrubí před škrtkicí klapkou (sekundární vstřikovač). V některých případech se však instaluje až přímo do tělesa vzduchového filtru. Dobře je to patrné z obrázku 5.5.

Primární vstřikovač je v činnosti po celou dobu běhu motoru a má za úkol připravit správné složení směsi v oblasti částečných zatížení a v přechodových stavech motoru, dané především rychlými změnami natočení škrtkicí klapky. Od těchto požadavků se tudíž odvíjí i spotřeba paliva a množství škodlivých exhalací. Sekundární vstřikovač se naopak používá pro dosažení co největšího maximálního výkonu motoru. Princip totiž spočívá ve skutečnosti, že čím chladnější vzduch, resp. směs, motor nasává, tím větší můžeme dosáhnout plnicí účinnosti motoru. Je to však provázeno zvýšenou spotřebou paliva a zhoršením exhalací. Vstříknutí chladného paliva sekundárním vstřikovačem má tak za následek ochlazování nasávaného vzduchu. Důvod umístění tohoto vstřikovače co nejdále od sacího ventilu je také ten, že se snažíme dosáhnout co možná největší doby styku paliva se vzduchem a tím pádem co největšího ochlazení směsi.



Obrázek 5.5 Schéma duálního vstřikování [6]

V1 – vstřikovač pro malá zatížení motoru; V2 – vstřikovač pro velká zatížení motoru; ŠK – škrtkicí klapka; F – těleso vzduchového filtru; R – regulátor tlaku paliva; Č – palivové čerpadlo



Roste zde však náročnost na správné určení potřebné dávky paliva. Řídící jednotka musí nejdříve rozhodnout, zda již aktivovat sekundární vstřikovač, a poté rozdělit celkové potřebné množství paliva mezi primární a sekundární vstřikovací trysku. I přesto dochází k velkému rozšiřování tohoto systému u supersportovních motocyklů.

5.4 Přímé vstřikování do válců motoru (FSI)

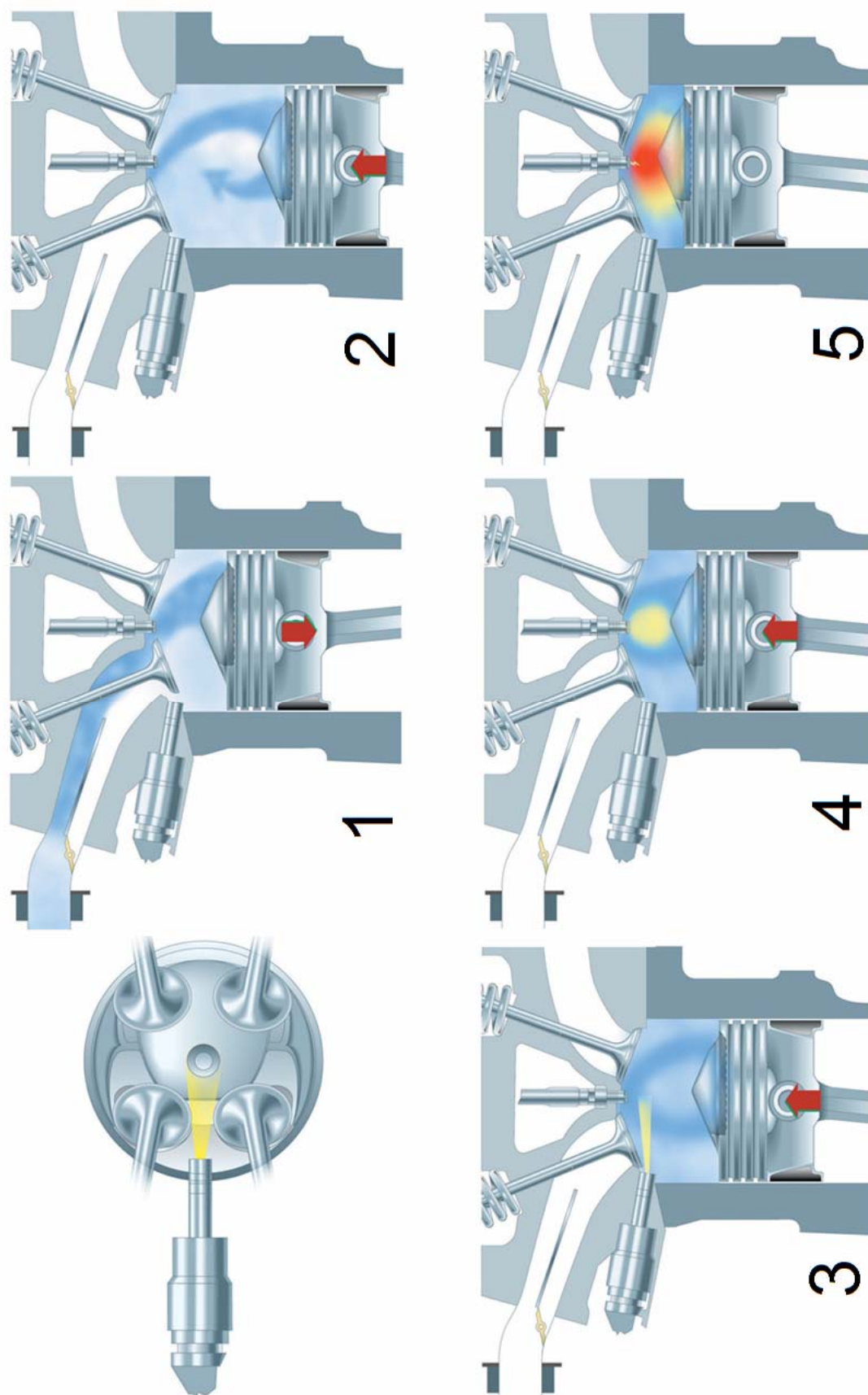
U systému vstřikování do sacích kanálů válců se směs částečně připravuje v sacím kanálu a proudí do spalovacího prostoru až po otevření sacího ventilu. Určité množství vstříknutého paliva se tak usazuje na stěnách sacího kanálu a při studeném startu a při zahřívání motoru musí být o toto množství dávka paliva větší. Po zahřátí motoru se zase toto palivo odpařuje a do spalovacího prostoru se tak dostává menší množství kyslíku. To vede ke zhoršení emisí uhlovodíků a oxidu uhelnatého a zvyšuje se spotřeba paliva.

Proto byly vyvinuty systémy přímého vstřikování paliva (fuel stratified injection), kdy se do válce nasaje čerstvý vzduch a teprve poté se do spalovacího prostoru vstříkne palivo. Směs paliva se vzduchem musí mít takové složení, aby po zažehnutí jiskrou došlo k dokonalému shoření. To je závislé na kvalitě rozprášení paliva ve vzduchu. Aby se dosáhlo co nejjemnějšího rozprášení, používá se vysoký vstřikovací tlak a vhodně uzpůsobený paprsek, daný konstrukcí trysky. Na správnou tvorbu směsi má vliv i způsob proudění nasávaného vzduchu do válce.

Narozdíl od všech předešlých systémů vstřikování se zde neřídí výkon motoru množstvím nasávaného vzduchu, daného natočením škrtkové klapky. Výkon motoru je tak závislý pouze na množství vstřikovaného paliva, což způsobuje proměnlivé složení směsi. Při větším zatížení motoru se vstřikuje takové množství paliva, aby došlo k rovnoměrnému rozložení směsi se složením blízko stechiometrickému poměru v celém spalovacím prostoru. Dojde tak ke snadnému zažehnutí a prohoření směsi, což umožňuje dosáhnout optimálního výkonu motoru.

Při menším zatížení se vlivem malého množství vstřikovaného paliva vytváří ve spalovacím prostoru chudá směs. Ta může dosahovat hodnoty směšovacího poměru až $\lambda=3$, což je podle obrázku 5.1 daleko za hranicí spalitelnosti. Proto je vstříknutí paliva načasováno tak, aby v okamžiku přeskoku jiskry na zapalovací svíčky byla kolem elektrod směs se stechiometrickým poměrem. Zbytek spalovacího prostoru může být vyplněn chudou směsí, popřípadě pouze čerstvě nasátým vzduchem. Tento způsob vstřikování se nazývá vrstvení směsi.

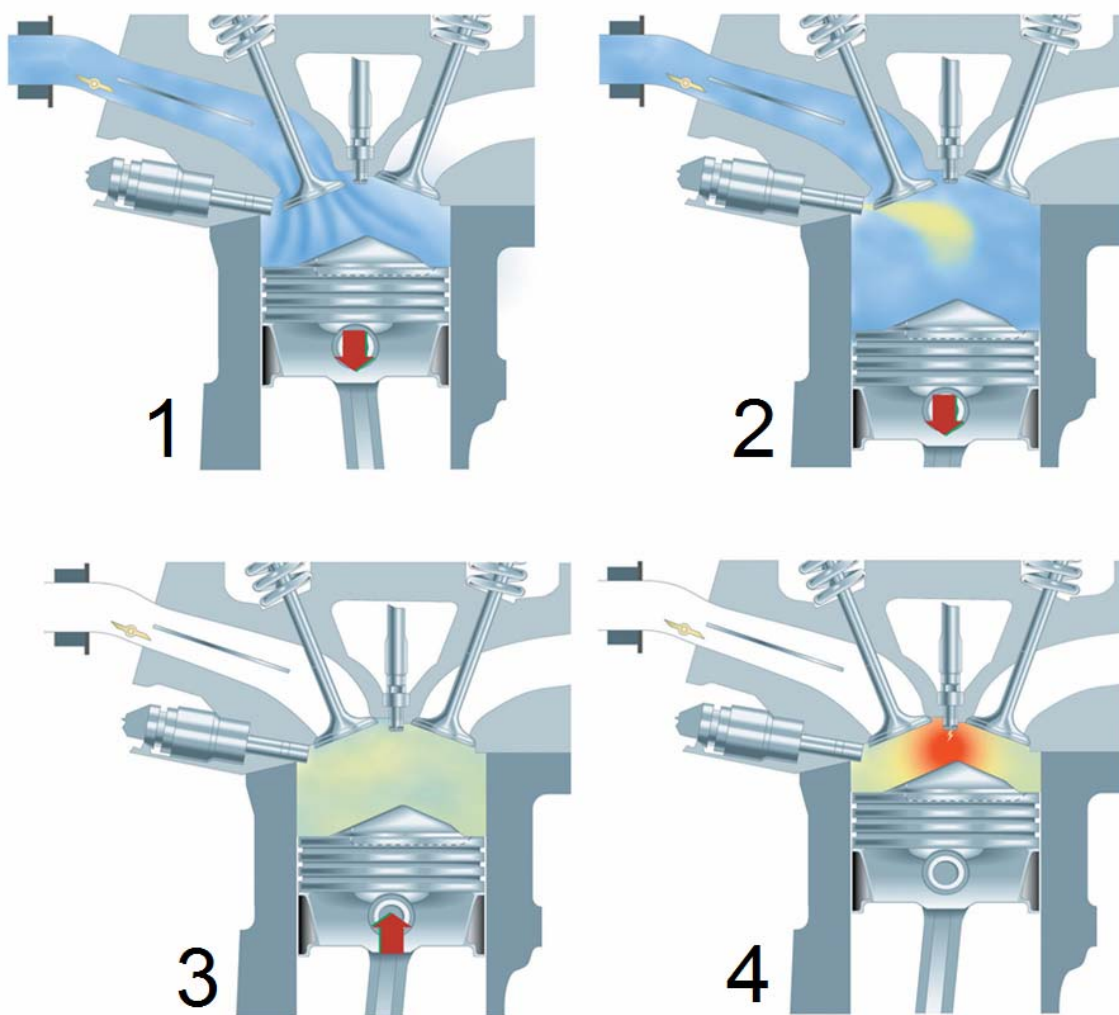
Rozhodujícím faktorem pro vytvoření rovnoměrného nebo vrstveného složení směsi je okamžik vstřiku paliva a správné vnitřní proudění vzduchu ve válci. Pro vytvoření vrstvené směsi je nutné vstříknout palivo do spalovacího prostoru před koncem kompresního zdvihu pístu. Tvar pístu je navržen tak, aby došlo k nasměrování vstříknutého paliva směrem k elektrodám zapalovací svíčky. Poté již stačí správně načasovat zažehnutí takto rozprášeného paliva. Pro lepší víření vzduchu ve válci je ještě možné použít dodatečnou úpravu sacího kanálu, která způsobuje zvětšení rychlosti nasávaného vzduchu. Velice dobře je princip vstřikování s vrstveným složením směsi znázorněn na obrázku 5.6.



Obrázek 5.6 Způsob tvorby vrstveného složení směsi [5]

Fáze 1 znázorňuje sání čistého vzduchu. Zde je dobře vidět funkce pevné dělicí klapky a pohyblivé sací klapky. Při tvorbě vrstvené směsi se totiž tato klapka uzavře a tím se změní průběh proudění vzduchu do válce. Fáze 2 již ukazuje kompresi a víření čistého vzduchu následkem tvarování pístu. Fáze 3 zobrazuje vstříknutí paliva pod vysokým tlakem (5 – 11 MPa) a následné vytvoření palivového mraku v prostoru elektrod zapalovací svíčky (fáze 4). Tato lehce zapalitelná oblast je obklopena v ideálním případě pouze čistým vzduchem. Ve fázi 5 již dojde k zažehnutí a vnější vrstva, tvořená vzduchem popř. velmi chudou směsí, izoluje zapálenou směs a nedochází tak k přílišnému přestupu tepla do stěn válců a bloku motoru.

Pro vytvoření rovnoměrného rozložení směsi je zase nutné vstříknout palivo během sacího zdvihu. Během pohybu pístu do dolní úvratě se tak rozprášené palivo poměrně dobře promíchá s nasátým vzduchem a při kompresi je již ve spalovacím prostoru takřka homogenní směs. Protože je množství paliva takové, že vznikne i při promíchání s veškerým nasátým vzduchem směs s poměrem blízkým stechiometrickému, dojde již snadno k zažehnutí a shoření. Princip tohoto způsobu vytváření směsi je znázorněn na obrázku 5.7.

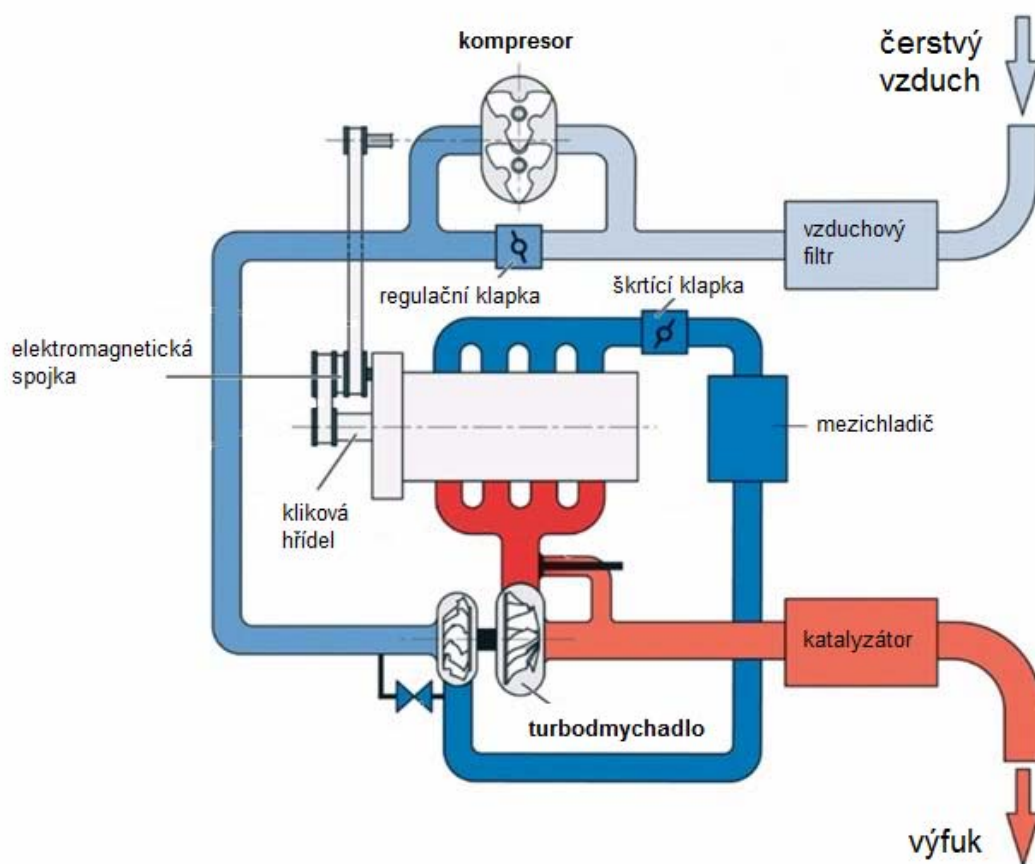


Obrázek 5.7 Způsob tvorby rovnoměrného složení směsi [5]

Fáze 1 ukazuje sání čerstvého vzduchu, přičemž pohyblivá sací klapka je oproti předešlému případu otevřena, takže dochází k rovnoměrnému nasávání bez vzniku přílišného víření. Do tohoto proudu čerstvého vzduchu se ještě před uzavřením sacího ventilu vstříkne palivo (fáze 2), takže dojde k dobrému promíchání paliva s čerstvým vzduchem. Fáze 3 již zobrazuje klasickou kompresi směsi jako u nepřímého vstřikování do sacího kanálu válců a následné zažehnutí zapalovací svíčkou (fáze 4).

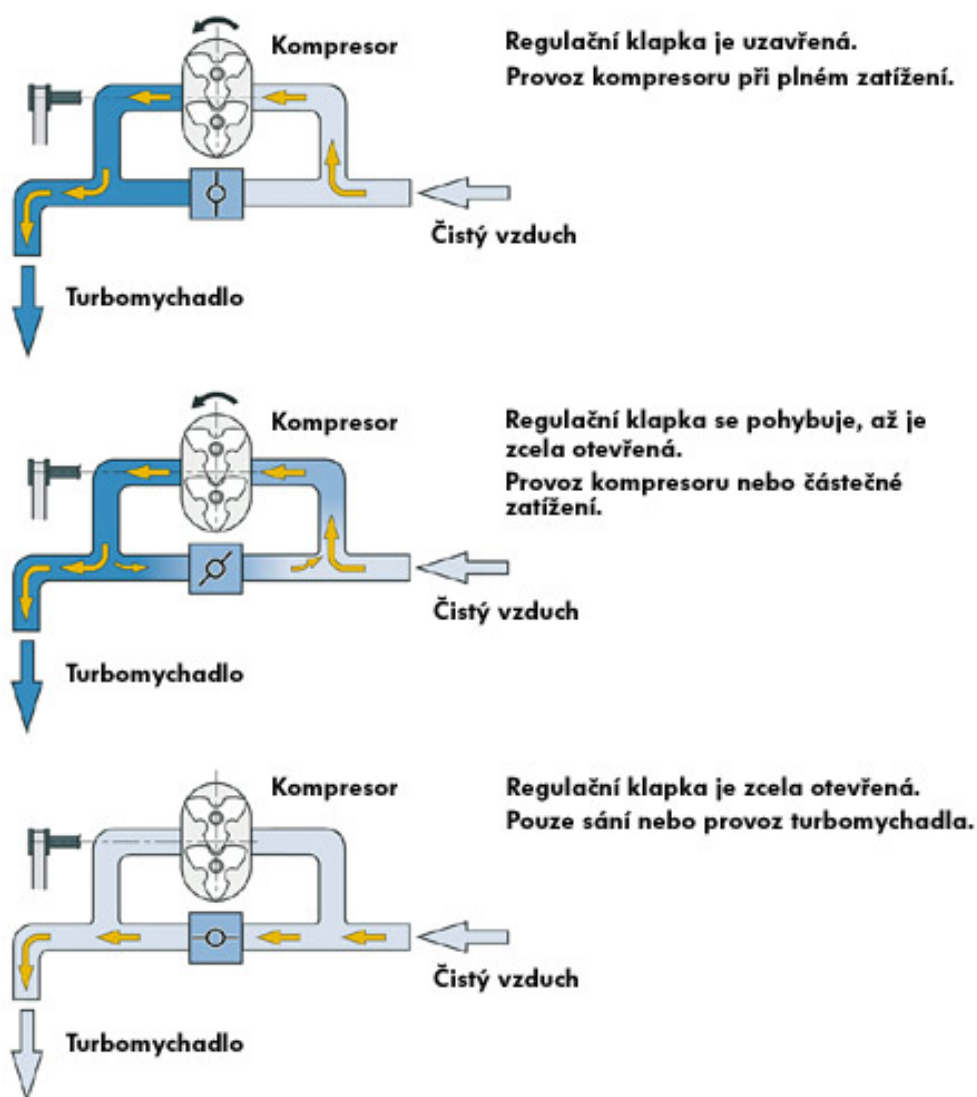
5.4.1 Přímé vstřikování do válců TSI

Jedná se o upravené přímé vstřikování FSI, kde je ovšem použit kompresor a turbodmychadlo, takže vlastně jde o přímé vstřikování benzínu s dvojitým přeplňováním. V nízkých otáčkách totiž nedokáže turbodmychadlo vyvinout dostatečný tlak pro účinné přeplňování, a tak je nutné použít kompresor. Při vysokých otáčkách již turbodmychadlo pracuje s velkou účinností, avšak kompresor spotřebovává velkou část výkonu motoru, což nepříznivě ovlivňuje spotřebu. Proto se používá kombinace těchto dvou systémů přeplňování. Schématicky je toto vstřikování zobrazeno na obrázku 5.8.



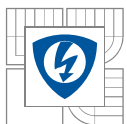
Obrázek 5.8 Dvojitě přeplňování u vstřikování TSI [18]

Kompresor pracuje přibližně do otáček motoru 3500 za minutu a je spojen s klikovou hřídelí přes elektromagnetickou spojku, takže dojde po překročení těchto otáček ke snadnému odpojení. Pro plynulý přechod se ještě používá regulační klapka, která směřuje nasávaný vzduch buď přes kompresor, nebo přímo do turbodmychadla. Při vysokých otáčkách je tak již kompresor odpojen a plnicí tlak obstarává pouze turbodmychadlo. Funkce regulační klapky je zobrazena na obrázku 5.9.



Obrázek 5.9 Funkce regulační klapky [19]

Tímto systémem vstřikování se dosáhlo velkého zvýšení výkonu a točivého momentu při zachování objemu motoru. Došlo také ke snížení spotřeby paliva. Proto je možné vyrobit motor s menším objemem, který má však stejný výkon jako motor s větším objemem a atmosférickým plněním. Dochází tak k menším třecím ztrátám motoru a tím pádem k lepšímu poměru získaného výkonu ku spotřebovanému palivu.



6 SOFTWAREVÉ ŘEŠENÍ PRO ŘÍZENÍ ZAPALOVÁNÍ A VSTŘIKOVÁNÍ

6.1 Obecně

Každé elektronické zapalování a vstřikování v automobilech musí být ovládáno tzv. řídicí jednotkou, která zpracovává vstupní signály a na jejich základě určuje okamžik a délku otevření vstřikovacího ventilu a okamžik přeskočení jiskry na zapalovací svíčky.

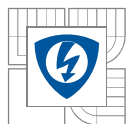
Do řídicí jednotky (známé též jako ECU – Electronic Control Unit) vstupují signály z různých snímačů, které snímají jednotlivé veličiny, na nichž je závislý chod a nastavení zapalovací soustavy. Tyto faktory, které ovlivňují správný chod a chování motoru, byly objeveny postupně s rozvojem použití spalovacích motorů. Ovšem ani tak nebylo v minulosti možné navrhnout řídicí systém, který by plně využíval všech známých faktorů a přizpůsoboval tak zapalovací systém přesně potřebám motoru. Toho se začalo dosahovat až s rozvojem elektroniky a mikroprocesorů, stejně jako zdokonalováním snímačů, popisujících jednotlivé veličiny.

Signály vstupující do řídicí jednotky mají ovšem různou povahu a velikost a dají se rozdělit na tři základní druhy:

- analogové (spojité) signály – jsou definovány jako spojité funkce ve spojitém čase nabývajících jakýchkoliv hodnot. V tomto případě se jedná o různou velikost napětí (samozřejmě v určitých mezích)
- impulsní signály – jsou definované jako spojité funkce pouze v určitém časovém úseku. V ostatních případech nabývají nulových hodnot
- digitální (diskrétní) signály – jsou definované jako nespojité funkce v čase nebo hodnotě. Obvykle nabývají hodnot po určitých skocích

Podle tohoto rozdělení je zřejmé, že analogové signály jsou signály z čidla teploty motoru a teploty nasávaného vzduchu, čidla tlaku v sacím potrubí, senzoru natočení škrtkové klapky a napětí baterie. Impulsní signály jsou signály ze snímače otáček a snímače polohy klikové hřídele, popřípadě ze snímače polohy vačkové hřídele.

Jelikož je ovšem hlavní částí řídicí jednotky mikroprocesor, který umí pracovat pouze s digitálními signály, je nutné nejprve převést signály z odporových snímačů na napěťové úrovně a následně tuto velikost analogového napětí převést na digitální signál. K tomu slouží analogově-digitální převodník.



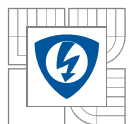
6.2 Struktura řídicí jednotky

Hlavní částí řídicí jednotky je mikroprocesor. Na rychlosti mikroprocesoru závisí kvalita a přesnost řízení. Jelikož se neustále zvyšují nároky a emisní limity spalovacích motorů, je nutná čím dál větší přesnost regulace a její zpětná vazba. Rychlejší mikroprocesor také umožňuje rychlejší zpracování vstupních signálů a tím také výpočet a určení správných výstupních veličin (velikost předstihu zážehu a množství vstřikovaného paliva). Dříve se používaly procesory Intel 8051 s pamětí obvykle 16 kB. Nacházely se v řídicích jednotkách u systému vstřikování Mono-Jetronic, u nás známé jako hlavní část soustavy Mono-Motronic, která byla použita pro řízení chodu motorů vozidel Škoda Favorit a prvních modelů Felicia. V dnešní době se však používají spíše mikroprocesory firem Motorola (např. typ 68376), Philips, Siemens a další, právě z důvodu potřeby vyšší rychlosti a přesnosti výpočetních operací.

Jak již bylo uvedeno, je nutné převádět analogové signály na signály digitální. Většina mikroprocesorů má v sobě již zabudovaný analogově-digitální (A/D) převodník, takže je výsledná struktura jednodušší a obsahuje méně součástek. Každý A/D převodník je charakterizován vzorkovacím kmitočtem a tzv. kvantováním, což udává množství hodnot, jakých může převáděný signál nabývat. Jelikož převádíme signály, které se nemění v čase příliš rychle, může mít A/D převodník vcelku nízkou hodnotu vzorkovacího kmitočtu. Jak plyne z matematických zákonů, musí být vzorkovací kmitočet minimálně dvakrát větší, než jaký kmitočet má vzorkovaný signál (tzv. Nyquistova frekvence). Pokud by tomu tak nebylo, došlo by k vytvoření naprosto odlišného digitálního signálu. Signály z teplotních čidel se mění relativně pomalu z důvodu velkých tepelných setrvačností materiálů, jejichž teplotu měří. Nejrychlejší změny jsou tudíž dány z čidel tlaku v sacím potrubí a snímače natočení škrtkové klapky. Obě dvě hodnoty nám udávají míru zatížení motoru. Jelikož však nedokáže tlakové čidlo, tvořené piezorezistivními odpory, reagovat dostatečně rychle na velké změny tlaku v přechodových stavech, používá se právě k upřesnění snímač úhlu natočení škrtkové klapky. Ten je tvořen potenciometrem, jehož jezdec je umístěn na hřídeli škrtkové klapky. Napětí na jezdcu potenciometru je potom úměrné natočení škrtkové klapky. Z tohoto popisu tedy plyne, že nejrychleji se mění napětí z tohoto snímače. Jelikož je úhel natočení dán polohou plynového pedálu, dá se lehce odhadnout, že nejrychlejší změna trvá maximálně 100 ms, což odpovídá frekvenci 10 Hz. Proto stačí mít vzorkovací kmitočet A/D převodníku např. 1 kHz, a jsme schopni velice dobře sledovat změny zatížení motoru. Na druhou stranu by bylo ovšem vhodné mít vysokou hodnotu kvantování, abychom mohli dosáhnout co nejpřesnějšího odečítání velikosti napětí na potenciometru. Při nízké hodnotě kvantování by mohlo docházet ke skokovému odečítání napěťové úrovně, což by způsobovalo horší nastavení výsledných parametrů zapalování a vstřikování.

Impulsní signály z indukčního snímače otáček a polohy klikové hřídele, popř. Hallova snímače, jsou přímo napěťové signály a pro potřebu mikropočítače se pouze v pomocných obvodech upraví na potřebnou velikost napětí, popř. se převedou na obdélníkový průběh.

Dále obsahuje mikroprocesor řadu pamětí, ve kterých jsou buď uloženy pracovní charakteristiky motoru a nastavení jednotlivých veličin, nebo slouží k dočasnému ukládání hodnot během výpočetních operací.



Jednou z nich je paměť EPROM. Jedná se o elektronicky programovatelnou paměť, která je určena pouze pro čtení. K jejímu přeprogramování je totiž nutné nejdříve vymazání stávajících dat pomocí ultrafialového záření a následné naprogramování pomocí několikanásobně většího napětí, než jaké je určeno pro čtení. Proto je tato paměť určena k trvalému uložení dat, jako jsou např. řídicí charakteristiky motoru, popř. další údaje týkající se vyhodnocování vstupních signálů a chování celé řídicí jednotky. Alternativně může být místo typu EPROM použit typ ROM, který se již nedá přeprogramovat vůbec žádným způsobem a data jsou v této paměti uložena při výrobě bez možnosti změny.

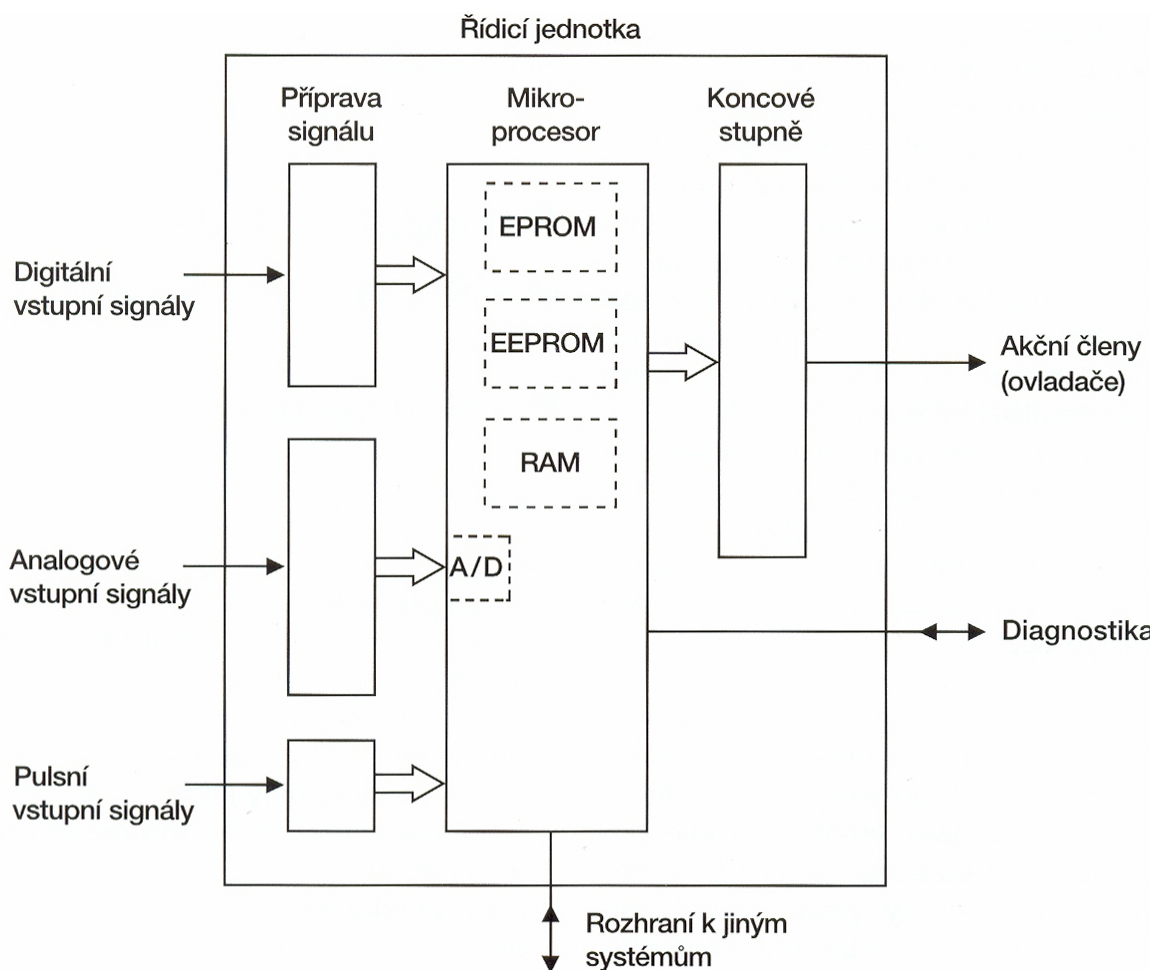
Paměť EPROM bývá většinou umístěna jako čip mimo mikroprocesor, takže je možná její výměna z důvodů změny uložených charakteristik. To je vlastně princip tzv. chiptuningu. Původní čip s uloženými charakteristikami určenými výrobcem se odpájí a místo něho se použije čip s odlišnými charakteristikami, které v určitých mezích mohou zvýšit výkon motoru. Dalo by se o tom však diskutovat, do jaké míry se dají měnit charakteristiky a tím následně i výkon motoru bez negativních následků. Výrobci motoru sice musí počítat s daleko většími tolerancemi opotřebovávání jednotlivých dílů, popř. musí nastavit řídicí jednotku tak, aby byl motor schopný pracovat i v jiných zeměpisných oblastech (především v odlišných teplotách a nadmořských výškách), i tak ale může dojít změnami charakteristik v řídicí jednotce velice snadno ke snížení životnosti motoru. Žádný programátor nových charakteristik nemůže vědět, jak velké rezervy motor má. Navíc nemůže nikdy upravený motor vystavit takovým testům, jaké jsou prováděny výrobcem. Ale vraťme se zpátky k paměti EPROM. V některých případech však může být paměť EPROM přímo součástí mikroprocesoru, takže není možná výměna tohoto čipu. Změna charakteristik je tak možná pouze výměnou celé řídicí jednotky.

Další paměť, která se nachází v řídicí jednotce, je paměť EEPROM. Stejně jako předchozí paměť je elektronicky programovatelná, ovšem má výhodu také v možnosti elektronickém mazání a následném opětovném nahrání nových dat. Tento cyklus přeprogramování má však omezený počet a vždy se musí před nahráním nových dat celý obsah paměti vymazat. Proto se využívá tato paměť spíše jako úložiště dat v případech, kde nedochází často k přepisování. V řídicí jednotce se na ni ukládají chybové stavy a poruchy snímačů a akčních členů. Z těchto údajů je poté možno blíže specifikovat poruchu celého systému. V dnešní době se však již příliš nepoužívá a přechází se spíše na paměti typu flash, které mají takřka neomezený počet zápisů a jejich obsah se nemusí před novým zápisem mazat.

Poslední z hlavních typů je paměť RAM, respektive RAM-RWM. RAM je totiž všeobecné označení pro paměti s libovolným přístupem. Tato paměť má možnost opakovaného zápisu a čtení dat. Narozdíl od předchozích pamětí se ale informace po odpojení napájení smažou. Jejich výhodou je ale vysoká rychlost, tudíž jsou použity k ukládání mezivýsledků při zpracovávání vstupních signálů mikroprocesorem.

Dále obsahuje řídicí jednotka koncové stupně, které upravují výstupní signály z mikroprocesoru. Dochází k jejich zesílení, aby mohli být použity pro akční členy. Jedná se především o signály do zapalovacích cívek a signály ke vstřikovacím ventilům.

Pro použití diagnostických přístrojů a zjišťování závad obsahuje řídicí jednotka speciální rozhraní a v poslední době také sběrnici pro komunikaci s ostatními elektronickými prvky ve vozidle (alarm, imobilizér...), která má označení CAN.



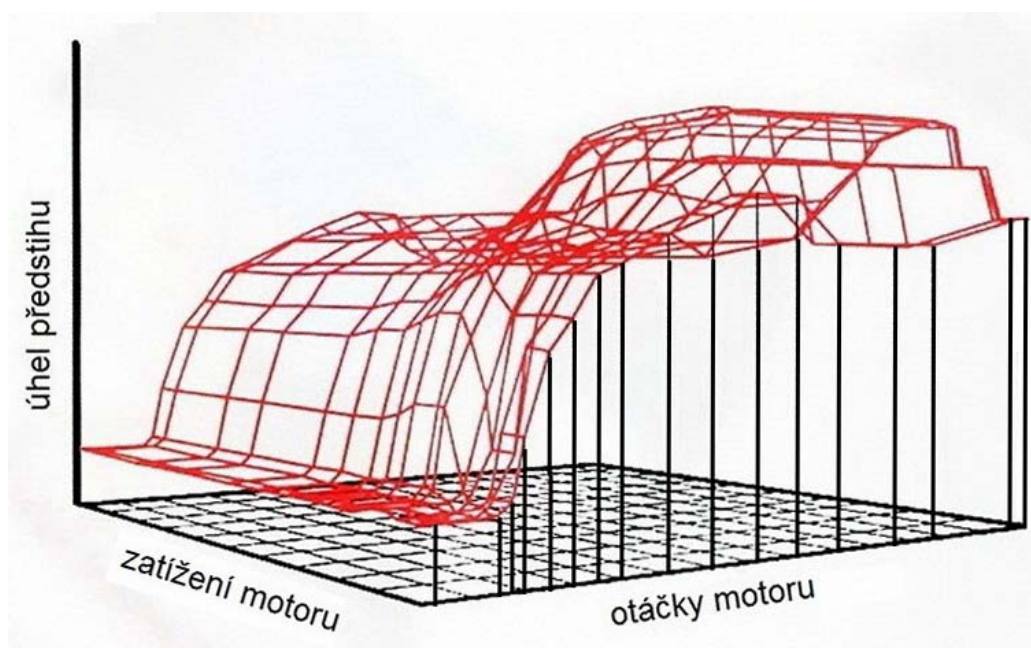
Obrázek 6.1 Schéma řídicí jednotky [8]

6.3 Softwarové řízení

Jak bylo popsáno v předešlé části, o řízení zapalování a vstřikování se stará mikroprocesor. Jeden z mnoha důvodů, proč se dříve nepoužívalo řídicích jednotek, je také fakt, že neexistovaly dostatečně rychlé mikroprocesory. Při běhu motoru se totiž musí spočítat správný předstih ve velmi krátkou dobu, navíc v reálném čase bez zpoždění. Vezměme si například počet impulsů k zapalovacím cívkám při otáčkách 3000 za minutu. Za jednu otáčku klikové hřídele u čtyřdobého čtyřválcového motoru je nutné spočítat předstih a dobu vstřiku pro dva válce, čili dvakrát. To znamená pro zmíněné otáčky, které jsou pro takový motor běžné, výpočet stokrát za vteřinu. Při tom nesmí dojít k vynechání ani jednoho výpočtu, jelikož by mohlo docházet k nerovnoměrnému chodu motoru a zhoršování emisních limitů. To vše klade vysoké nároky na použitý mikroprocesor.

Při uvedených hlavních výpočtech se totiž musí také kontrolovat zpětná vazba a další korekční členy, které mají vliv na výslednou požadovanou hodnotu akčních členů.

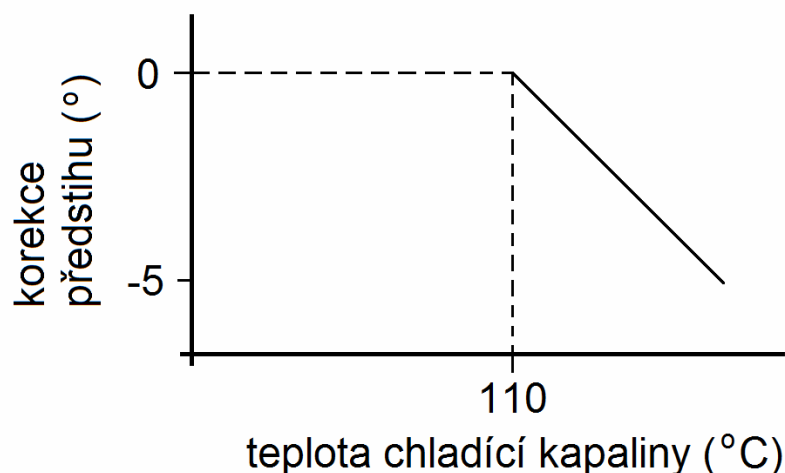
Hodnoty velikosti předstihu a množství paliva se pro danou situaci odečítají z tzv. třírozměrného multidimenzionálního pole charakteristik. Tyto data jsou uloženy právě v nepřepisovatelné paměti EPROM, z nich si mikropočítač tyto data načítá. Základní veličinou jsou zde otáčky a zatížení motoru, výsledná hodnota je pak velikost předstihu, popř. úhlu sepnutí kontaktů přerušovače (doba plnění zapalovací cívky). U vstřikování je ještě korekční veličinou údaj z lambda sondy, která na základě množství kyslíku ve výfukových spalínách upravuje množství vstřikovaného paliva. Příklad této třírozměrné mapy je na obrázku 6.2.



Obrázek 6.2 Třírozměrné pole charakteristik předstihu [11]

Hodnoty načteného předstihu je však ještě nutné dále korigovat v závislosti na teplotě motoru, především pak na teplotě hlavy válců motoru. Při přehřívání motoru se totiž zvyšuje pravděpodobnost vzniku detonačního hoření, což je pro běh motoru samozřejmě škodlivý jev. Když nebereme v potaz kvalitu paliva a jeho oktanové číslo, je detonační hoření závislé převážně na velikosti předstihu. Jakmile tedy dojde ke vzrůstu teploty nad určitou hodnotu, začne se hodnota předstihu (určená pro normální provozní stav) snižovat o určitou hodnotu, která je tím větší, čím větší je teplota. Obrázek 6.3 nám ukazuje příklad takovéto dodatečné korekce velikosti předstihu.

V této souvislosti bych se chtěl ještě zmínit o dalším možném využití dodatečné regulace předstihu, a tou je částečná regulace výkonu motoru. Převážná většina vozidel je v dnešní době již vybavena tzv. systémem regulace prokluzu kol (ASR). Jakmile dojde u hnacích kol ke ztrátě přilnavosti a kola tak začnou vlivem přenášeného momentu prokluzovat, sníží se automaticky výkon motoru, aby se kola přestala protáčet. Snižování výkonu motoru se může provádět buď snížením vstřikované dávky paliva, nebo právě zmenšením velikosti předstihu. Má to ovšem negativní vliv na množství škodlivých exhalací, a proto je nutné tento způsob regulace používat pouze v nejnutnějších případech a co možná nejkratší dobu.



Obrázek 6.3 Korekce velikosti předstihu v závislosti na teplotě [6]

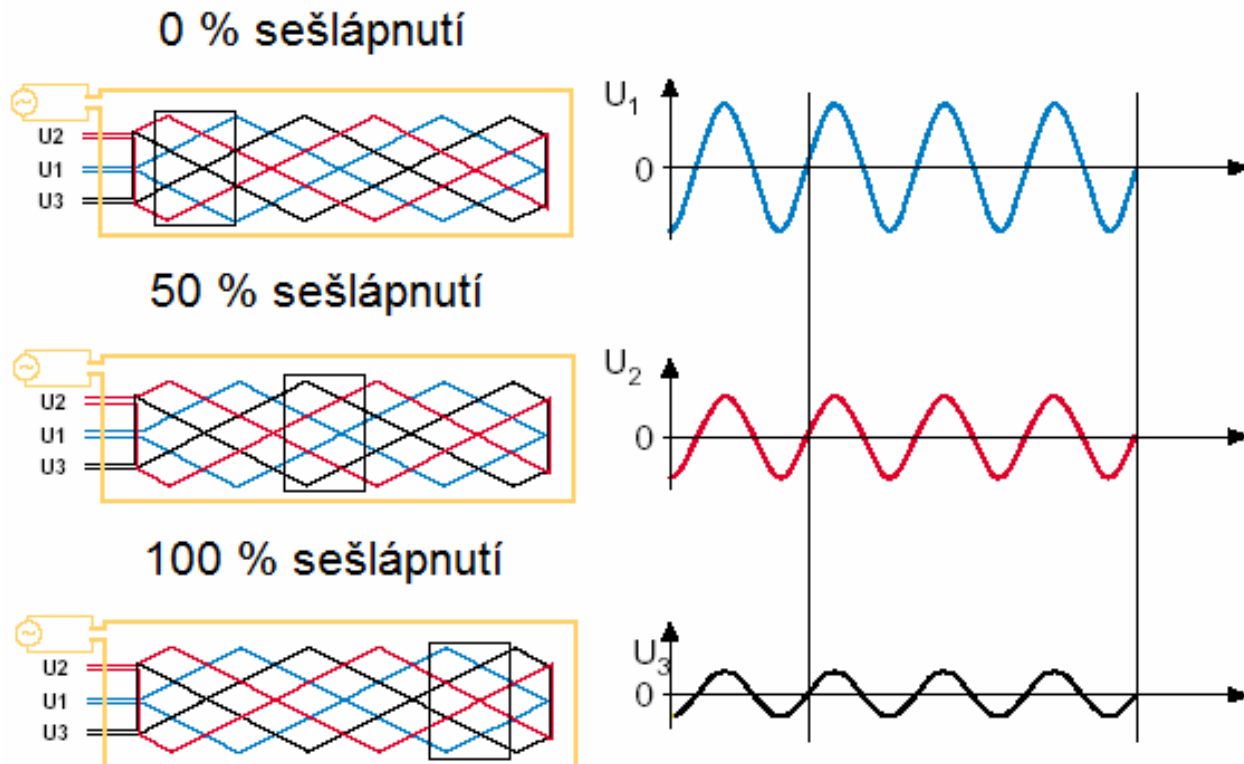
Proto se objevil například systém dvou škrťících klapek. Hlavní klapka je ovládána plynovým pedálem, popřípadě rukojetí, druhá je již ovládána servomotorkem. Velikost natočení určuje řídicí jednotka. Sekundární klapka má tak dvojí význam. Může se jí korigovat výkon motoru bez ohledu na požadavky uživatele a také zlepšuje složení směsi v přechodových oblastech. Při prudkém otevření škrťící klapky u systémů bez sekundární klapky totiž docházelo ke krátkodobému ochuzení směsi. Provedení takového systému je znázorněno na obrázku 6.4.



Obrázek 6.4 Systém dvou škrťících klapek [12]

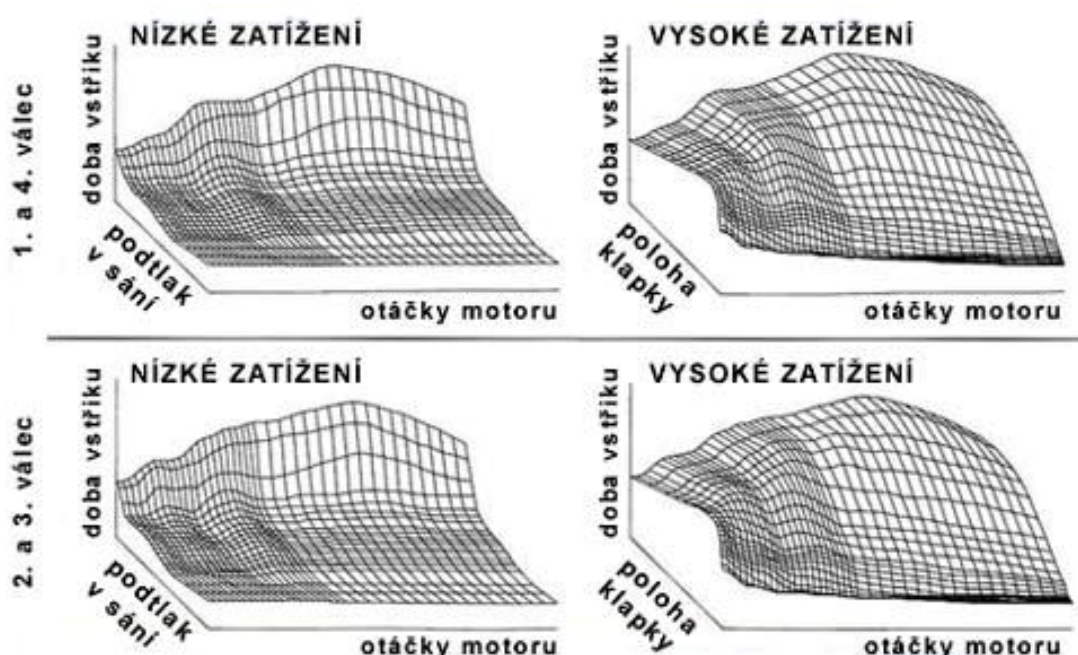
Daleko častěji je však dnes používán systém elektronického plynového pedálu a plně nastavitelné škrticí klapky servomotorkem řídicí jednotkou (tzv. drive-by-wire). Škrticí klapka tak nemá žádné mechanické propojení s plynovým pedálem. Řídicí jednotka sama rozhoduje o výkonu motoru. Uživatel pouze podává informaci o požadovaném výkonu bez ohledu na okolnosti, které mohou znemožnit využití takového výkonu (například již u zmiňovaného prokluzu kol).

Dříve se u plynového pedálu používaly kontaktní potenciometry podobné snímačům natočení škrticí klapky (obrázek 4.4). Dnes se již však přešlo na bezkontaktní snímání pracující na principu elektromagnetické indukce. Těleso pedálu obsahuje elektronickou část, která je napájena z řídicí jednotky napětím 5 V a která vytváří vysokofrekvenční střídavé napětí pro napájení budící cívky. Protékající proud tak vytvoří kolem této cívky elektromagnetické pole, které působí na pohyblivou kovovou destičku. Poloha této destičky je úměrná poloze plynového pedálu. Kolem této destičky se tudíž vytvoří další elektromagnetické pole, které spolu s polem od budících cívek působí na přijímací cívky. V těch se indukuje střídavé napětí o určité velikosti, která je závislá na poloze kovové destičky. To je dobře patrné z obrázku 6.5. Sinusový signál se pak převede v elektronické části pedálu na lineární a je přiveden do řídicí jednotky. Vlivem různého tvarování vinutí a použití tří přijímacích cívek je tak možné bezkontaktně určit přesnou polohu této destičky a tudíž přesný požadavek na výkon uživatelem.



Obrázek 6.5 Princip odečítání polohy plynového pedálu [5]

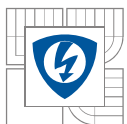
Na následujícím obrázku 6.6 jsou ještě znázorněny třírozměrné mapy pro určování doby otevření jednotlivých vstřikovacích ventilů. Můžeme si všimnout odlišného nastavení hodnot pro jednotlivé válce, resp. první a čtvrtý válec má odlišnou mapu charakteristik než druhý a třetí válec. K tomuto se došlo po řadě zkoušek a měření. Důvod je v geometrickém uspořádání válců u řadových motorů. I přesto, že se pomocí vodního chlazení udržuje teplota motoru na konstantní a neoptimálnější hodnotě, vznikají nepatrné teplotní rozdíly mezi krajními válci, které mají z jedné strany sousední válec a z druhé strany okolní vzduch, a vnitřními válci, které mají z každé strany sousední válec. Proto jsou vnitřní válce více ohřívány a potřebují o trochu jiné složení směsi a velikost předstihu.



Obrázek 6.6 Třírozměrné pole charakteristik vstřikování [10]

6.4 Posloupnost operací při nastavování zapalování

V této kapitole se blíže podíváme na jednotlivé operace, které jsou nutné pro určení správné velikosti předstihu motoru. Signál pro zjištění otáček motoru budeme odebírat z indukčního snímače umístěného na bloku převodové skříně a taktéž polohu klikové hřídele. Ta je většinou určena změnou šířky zubu na setrvačniku, který způsobí změnu indukovaného napětí v indukčním snímači. U systému zapalování Bosch Mono-Motronic se dokonce používají dvě referenční značky, a to 60° před horní úvratí a 6° před horní úvratí. Řídící jednotka si poté vypočte správnou polohu klikové hřídele. Jelikož ale nedokážeme z polohy klikové hřídele určit v jaké pracovní fázi se nachází píst (jelikož je u čtyřtákního motoru pracovní fáze pouze jednou za dvě otáčky), musí zde být i snímač polohy vačkové hřídele. U řízení zapalování se však ve většině případů tento údaj nepoužívá, protože se využívá dvou-vývodových zapalovacích cívek,



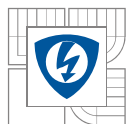
které házejí jiskru pro dva válce zároveň (tudíž jiskra přeskočí pokaždé, když se píst blíží horní úvratí). Signál pro zjištění zatížení motoru budeme odebírat ze snímače natočení škrťací klapky.

Postup nastavení správného předstihu se dá poté popsat do následujících bodů:

- 1) odečet otáček motoru
- 2) odečet zatížení motoru
- 3) odečet ostatních faktorů majících vliv na velikost předstihu (teplota motoru...)
- 4) načtení velikosti předstihu pro tento provozní stav z paměti EPROM
- 5) výpočet zpoždění od referenční polohy natočení klikové hřídele 60° před horní úvratí, po kterém se bude kliková hřídel nacházet přesně v načtené hodnotě úhlu předstihu
- 6) výpočet zpoždění od referenční polohy natočení klikové hřídele 6° před horní úvratí minulé otáčky pro dosažení konstantní doby plnění cívky 3 ms, po kterém má dojít k počátku plnění zapalovací cívky
- 7) spuštění plnění cívky po uplynutí vypočteného zpoždění od referenční polohy natočení klikové hřídele 6°
- 8) ukončení plnění po uplynutí vypočteného zpoždění od referenční polohy natočení klikové hřídele 60°

Z této posloupnosti dějů vidíme složité počítání okamžiku, kdy má dojít ke spuštění plnění zapalovací cívky a k následnému odpojení této cívky od napájení. Je to dáno použitím pouze dvou referenčních značek na setrvačnicku. Proto se dnes používají snímače s daleko větším počtem referenčních značek (zubů), které umožňují určovat přesně polohu klikové hřídele z počtu impulsů ze snímače otáček. Není tak nutné počítat okamžik plnění cívky jako zpoždění od referenční značky minulé otáčky, ale již přímo úhel natočení klikové hřídele. Posloupnost operací při nastavování zapalování by tak byla oproti předchozímu případu odlišná od bodu 5.

- 5) výpočet úhlu otočení, kterou kliková hřídel vykoná za 3 ms (doba plnění cívky) při daných otáčkách
- 6) přičtení tohoto úhlu k již načtenému úhlu předstihu
- 7) spuštění plnění cívky při takto spočítaném úhlu natočení klikové hřídele před horní úvratí
- 8) ukončení plnění cívky po čase 3 ms, popřípadě v úhlu natočení klikové hřídele před horní úvratí odpovídající velikosti předstihu



7 MOŽNÉ ZPŮSOBY REALIZACE CVIČENÍ Z PŘEDMĚTU BAEB

7.1 Znázornění činnosti řídicí jednotky pomocí animace

Pro snadnější pochopení dějů a operací spojených s řízením zapalování a vstřikování jsem se rozhodl vytvořit názornou animaci, která studentům umožní lepší představu o činnosti řídicí jednotky, popřípadě dalších snímačů.

Po dlouhém rozmýšlení a hledání vhodného formátu k vytvoření takovéto animace jsem se rozhodl pro formát **flash**. Umožňuje jednak snadné spuštění v nejpoužívanějších internetových prohlížečích a operačních systémech a jednak poměrně snadnou tvorbu animace s dobrými grafickými možnostmi. Jako program jsem zvolil **Macromedia Flash 8 Professional**, který je navíc volně dostupný ve 30-ti denní zkušební verzi. Obsahuje systém vrstev pracovní plochy a časovou osu, takže se dá poměrně snadno nastavit chování jednotlivých importovaných komponentů. Výsledkem je soubor s příponou **.swf**.

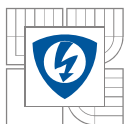
Na tvorbu jednotlivých komponentů jsem zase použil program **Autodesk Inventor Professional 2008**, který je taktéž k dispozici jako 30-ti denní zkušební verze. Jenom podotknu, že celá tvorba animace a postupné ladění trvalo opravdu celých těchto 30 dní.

Vytvořil jsem dvě animace, které jsou přiloženy na CD. Jedna ukazuje činnost řídicí jednotky při běhu naprázdno bez dalších změn a druhá ukazuje odezvu na zvětšení zatížení (přidání plynu) a poté reakci na vznik detonačního hoření. Na závěr dojde opět k přechodu na běh motoru bez zatížení.

Uspořádání jednotlivých komponentů je na obrázku 7.1. Na levé straně jsou jednotlivé snímače, ze kterých si řídicí jednotka zjišťuje provozní podmínky chodu. Znázorněná škrtková klapka v sacím potrubí nám ukazuje stav zatížení motoru (šipka naznačuje směr proudění vzduchu). Na pravé straně jsou jednotlivé generátory impulsů, menší vrchní je umístěn na vačkové hřídeli a větší spodní je zpravidla umístěn na obvodu setrvačníku motoru. Jejich snímače poskytují taktéž řídicí jednotce nutné informace o otáčkách motoru, úhlu natočení klikové hřídele a pracovních fázích jednotlivých válců. Na spodní straně jsou již zobrazeny jednotlivé zapalovací svíčky a vstřikovací trysky. Srdcem celého systému je řídicí jednotka, umístěná uprostřed.

7.1.1 Popis animace ECU_volnobeh.swf

Výchozí stav ukazuje obrázek 7.1. Červeně jsou znázorněny vodiče, které jsou právě aktivní (prochází jimi elektrický proud, popřípadě impulsní signály). Jelikož si řídicí jednotka načítá informace ze snímačů neustále s určitou frekvencí použitého mikroprocesoru, jsou zobrazeny jako stále aktivní. Červený oblouček okolo generátoru impulsů na setrvačníku (9) značí dobu plnění zapalovací cívky, kdy se červeně zobrazí i drát napájející určitou cívku. Modrý oblouček pak značí velikost předstihu, která se získá z již uváděných třírozměrných map. Zde je dobře



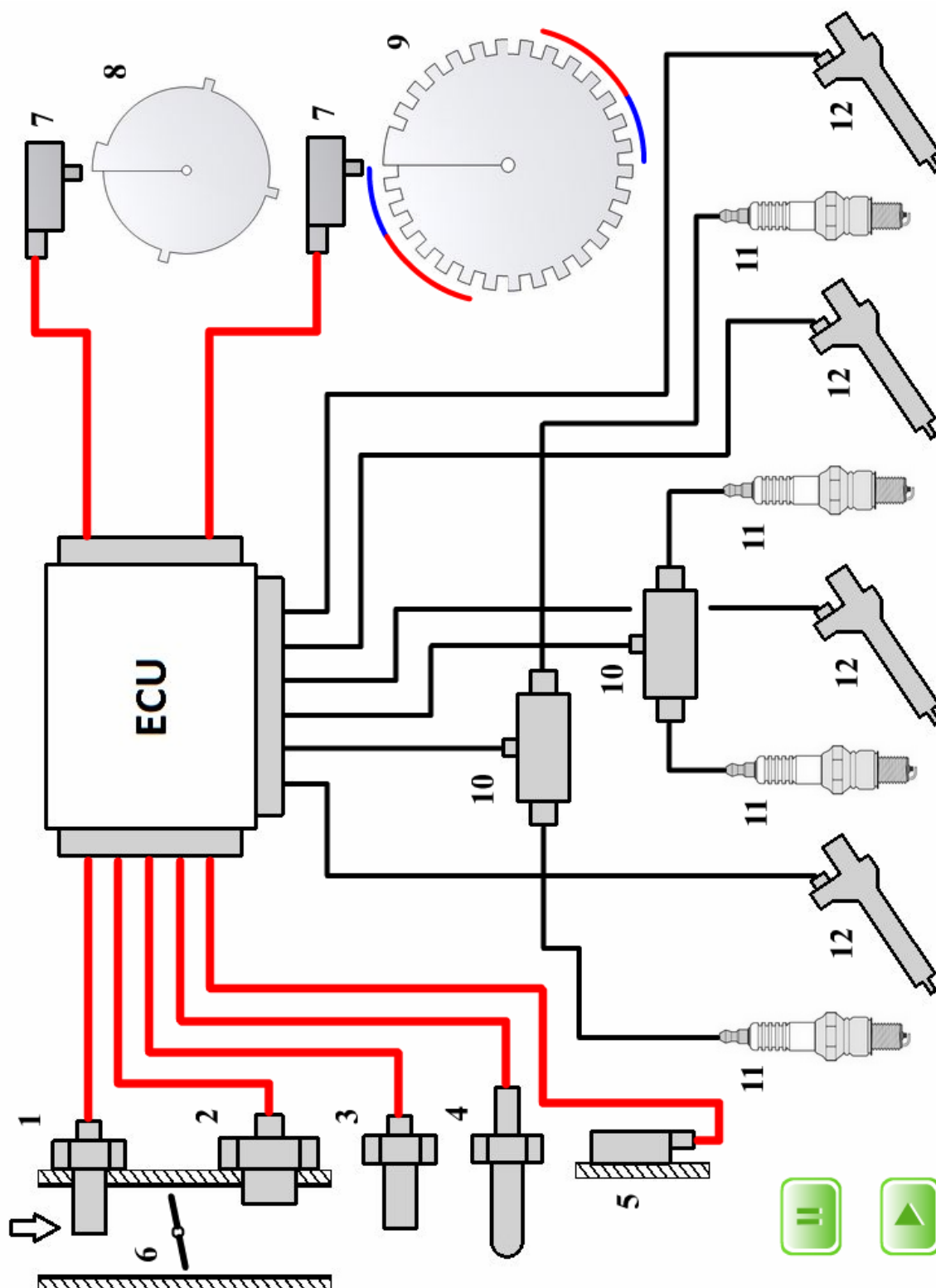
vidět, že jiskra na zapalovací svíčce nepřeskočí v době, kdy teče do zapalovací cívky proud, ale naopak až po jejím přerušení (konec červeného a začátek modrého obloučku). Jelikož jsou zde použity dvou-vývodové zapalovací cívky, probíhá výboj i na zapalovací svíčce ve válci, který se nenachází v kompresním zdvihu. Proto vždy jeden nákres výboje zůstává zobrazen déle, což představuje hoření směsi ve válci. Každá zapalovací cívka tak obstarává vysoké napětí pro zapalovací svíčky každou otáčku klikové hřídele.

Snímač polohy vačkové hřídele (8) zase poskytuje informaci řídicí jednotce o tom, který válec se právě nachází v pracovní fázi. Jedná se o sekvenční způsob vstřikování, a proto probíhá vstřikování paliva vždy těsně před otevřením sacího ventilu příslušného válce, jak je zobrazeno na obrázku 5.4. Okamžik aktivace vstřikovacího ventilu je opět zobrazen červenou barvou vodiče a symbolem rozprášeného paliva.

7.1.2 Popis animace ECU_zatizeni.swf

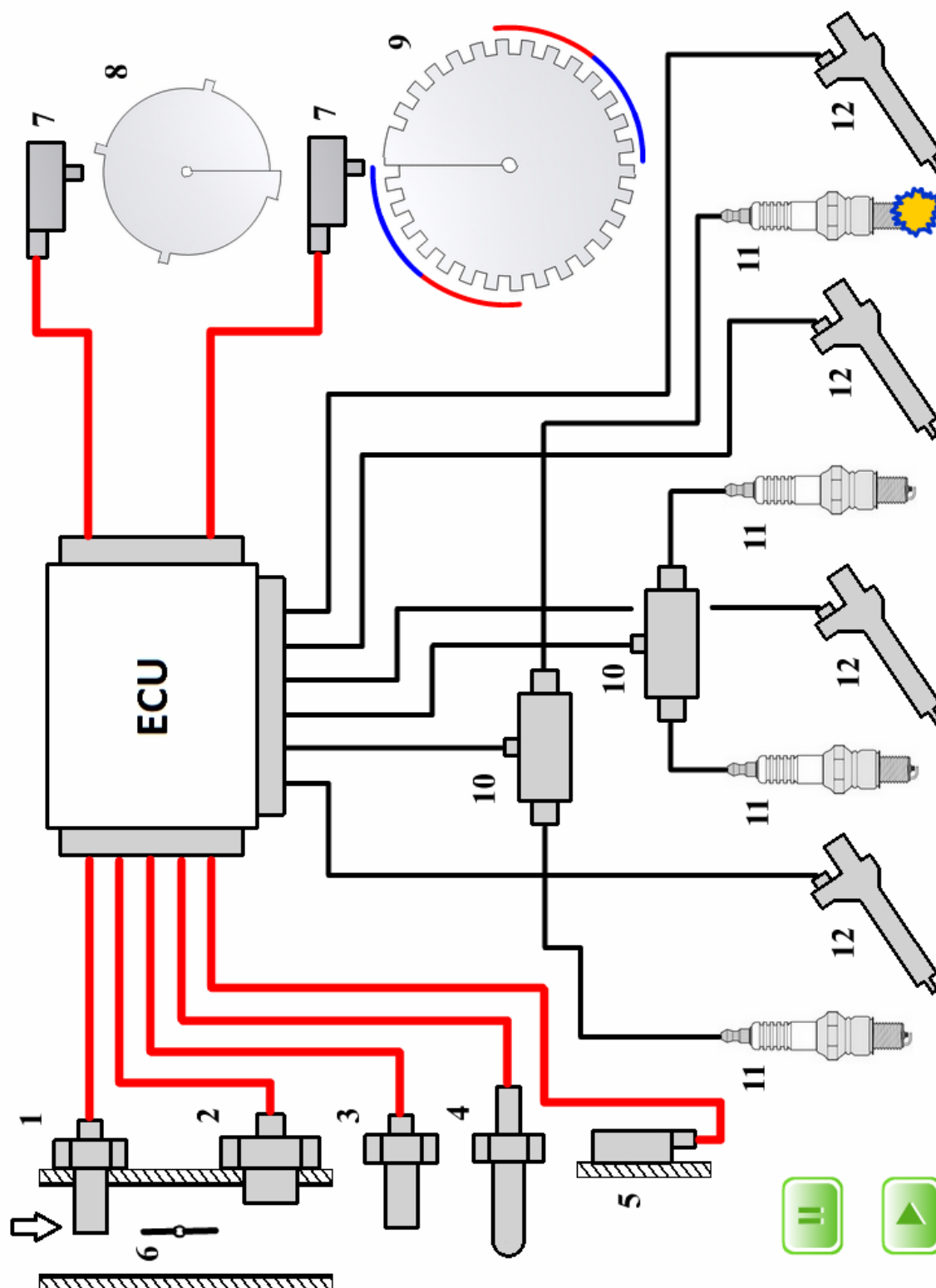
Tato animace začíná se stejnými podmínkami jako předchozí. Po otočení klikové hřídele (9) o zhruba 200° však dojde k natočení škrtké klapky (6) na plnou výchylku (obrázek 7.2). To nám znázorňuje nárůst zatížení motoru, daného přidáním plynu uživatelem. Tento stav okamžitě vyhodnotí snímač podtlaku v sacím potrubí (2) a řídicí jednotka tak provede nový výpočet velikosti předstihu a množství vstřikovaného paliva. Změna předstihu je dobře patrná z modrého obloučku, který se prodlouží, což odpovídá zvětšení hodnoty úhlu předstihu. Oproti tomu červený oblouček zůstává stále stejný (možno porovnat s obrázkem 7.1). To je dáno tím, že doba plnění každé zapalovací cívky musí být vždy konstantní (např. 3 ms). Proto se bude tento oblouček lineárně zvětšovat pouze s rostoucími otáčkami. Čím větší otáčky, tím větší otočení kliková hřídel vykoná za konstantní dobu. Můžeme zde tedy sledovat zvětšený předstih a zvětšenou dobu vstřiku paliva.

Jakmile dosáhne kliková hřídel natočení asi 680° (340° otočení vačkové hřídele 8), dojde při zažehnutí směsi ve válci k detonačnímu hoření. To je vyhodnoceno snímačem klepání (5). Pro lepší názornost začne vodič od tohoto snímače blikat. Řídicí jednotka tak musí na tento podnět reagovat a provede korekci předstihu. To je opět znázorněno změnou délky modrého obloučku, který se tak zkrátí (předstih se zmenší). Při zážehu v dalším válci se již detonační hoření neprojeví a předstih tak zůstává na této opravené hodnotě. Po dalším otočení klikové hřídele dojde opět k uzavření škrtké klapky (ubrání plynu), což má za následek změnu tlaku v sacím potrubí. Dojde k vyhodnocení tohoto stavu řídicí jednotkou a ta provede snížení velikosti předstihu a zmenšení vstřikované dávky paliva.



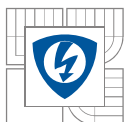
Obrázek 7.1 Schéma z animace ECU_volnobeh

ECU – řídicí jednotka; 1 – snímač teploty nasávaného vzduchu; 2 – snímač tlaku v sacím potrubí; 3 – snímač teploty motoru; 4 – lambda sonda; 5 – snímač klepání motoru; 6 – škrtkící klapka; 7 – indukční snímač; 8 – zubový generátor na vačkové hřídeli; 9 – zubový generátor na klikové hřídeli; 10 – zapalovací cívka; 11 – zapalovací svíčka; 12 – vstříkovací tryska



Obrázek 7.2 Schéma z animace ECU _zatizení

ECU – řídicí jednotka; 1 – snímač teploty nasávaného vzduchu; 2 – snímač tlaku v sacím potrubí; 3 – snímač teploty motoru; 4 – lambda sonda; 5 – snímač klepání motoru; 6 – škrtková klapka; 7 – indukční snímač; 8 – zubový generátor na vačkové hřídeli; 9 – zubový generátor na klikové hřídeli; 10 – zapalovací cívka; 11 – zapalovací svíčka; 12 – vstříkovací tryska

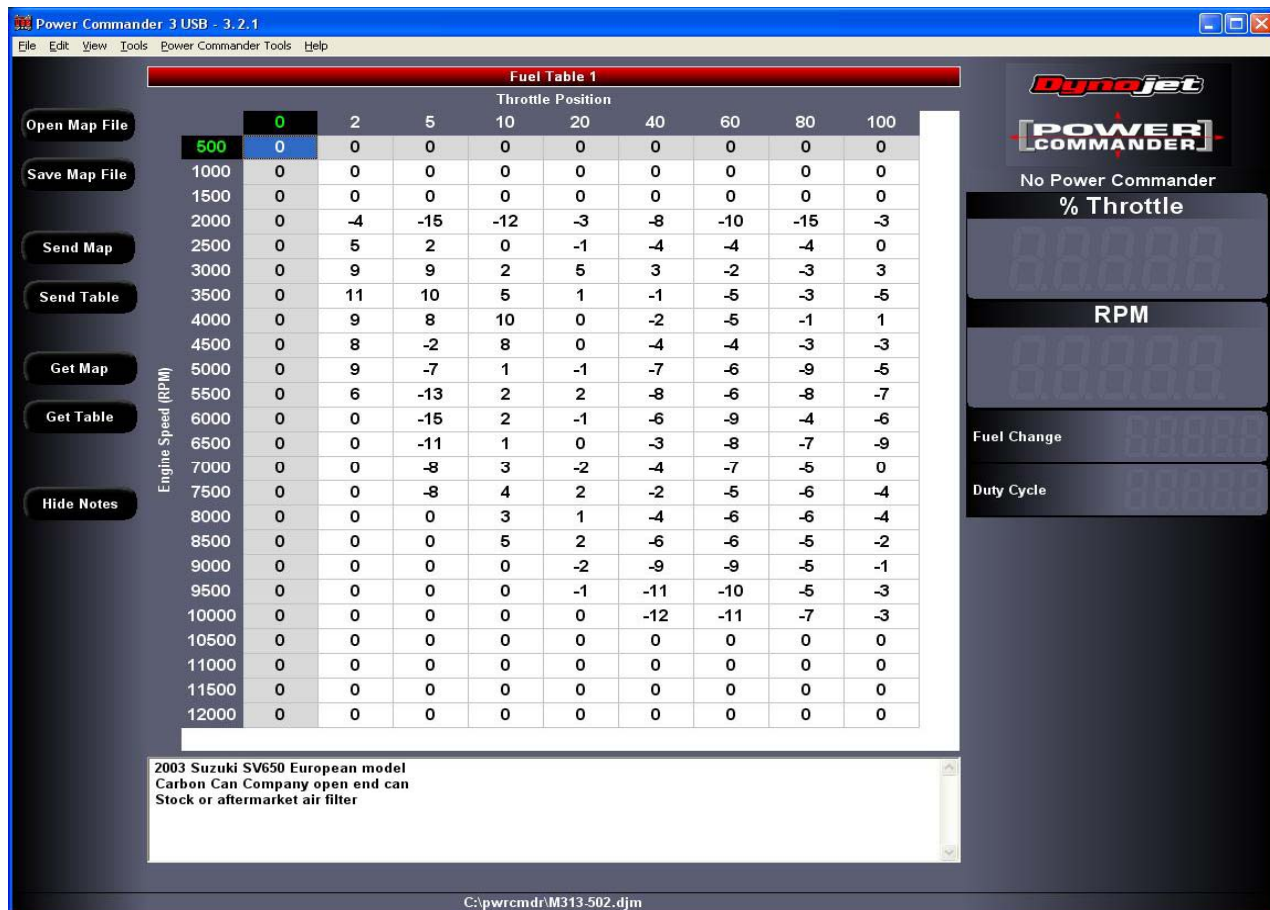


7.2 Změna údajů v řídicí jednotce a přímé měření výkonu motoru

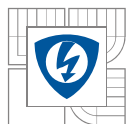
Další možností, jak předvést funkci řídicí jednotky, respektive uložených hodnot pro velikost předstihu a vstřikovaného paliva, je přímé měření výkonu motoru na dynamometru. V dnešní době je totiž možné zakoupit speciální programovatelné řídicí jednotky, které se zapojují mezi originální řídicí jednotku a její výstupy k zapalovacím cívkám a vstřikovacím ventilům. Funkce těchto jednotek spočívá ve změně hodnot, určených originální řídicí jednotkou, a tím vlastně ve vytvoření nových třírozměrných datových polí. Po propojení s počítačem se pomocí dodaného softwaru dají tyto hodnoty snadno změnit, jak je znázorněno na obrázku 7.3. Příklad takovéto jednotky je například sestava **Power Commander** od firmy **Dynojet**.

Jednalo by se však o dosti nákladné zařízení. Celá sestava by obsahovala dynamometr, celý motor se všemi snímači a řídicí jednotkou a již zmiňovanou programovatelnou řídicí jednotku, propojenou s počítačem.

Po každé změně hodnot předstihu, popřípadě množství vstřikovaného paliva, by se provedlo měření průběhu výkonu a točivého momentu v celém rozsahu otáček motoru na dynamometru. Dostali bychom tak libovolné množství grafických závislostí, dané změnami řídicích hodnot, které bychom mohli mezi sebou porovnávat. To by nám umožnilo získat představu o chování motoru při změnách hlavních parametrů – velikosti předstihu zážehu a množství vstřikovaného paliva.



Obrázek 7.3 Možný způsob změny hodnot v řídicí jednotce pomocí softwaru [20]



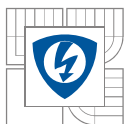
8 ZÁVĚR

V této diplomové práci jsem popsal používané systémy zapalování u spalovacích motorů a jednotlivé součásti nejpoužívanějšího bateriového zapalování. Dále je zde rozebrána problematika správného nastavení zapalování, protože doba zapálení směsi ve válcích je silně závislá na spoustě okolností. Při zanedbání těchto vlivů neběží motor optimálně a nepodává tak maximální možný výkon. Také je zdrojem vysokého množství škodlivých emisí, protože nedochází k dokonalému spalování připravené směsi.

V další části jsou popsány používané způsoby vstřikování paliva. Dříve se totiž k přípravě směsi používaly výhradně karburátory, které ovšem nezaručovaly správný poměr paliva a vzduchu ve všech režimech motoru. To opět způsobovalo nedokonalé spalování a vysoké množství škodlivin.

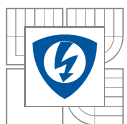
Proto se v dnešní době klade důraz na snímače neelektrických veličin a elektronickou řídící jednotku, která z vytvořeného softwaru a přiváděných signálů vyhodnocuje optimální charakteristiku zapalování a vstřikovaného množství paliva. O činnosti řídící jednotky pojednává samostatná kapitola, kde je uveden i jednoduchý sled dějů, které musí řídící jednotka provést pro správné nastavení zapalování. Jelikož je tato řídící jednotka vlastně tvořena počítačem, je možné tyto soustavy neustále vylepšovat a měnit jejich charakteristiku. Vývoj na poli výpočetní techniky jde velmi rychle dopředu a poskytuje stále nové možnosti inovace. Tudiž je možné například kvalitněji zpracovat přiváděné signály a vyhodnocovat je. A čím kvalitnějšího spalování dosáhneme, tím bude nižší spotřeba paliva a množství škodlivých látek vypouštěných do ovzduší. A to jsou v dnešní době jedny z nejvíce diskutovaných kritérií.

Hlavním cílem této diplomové práce však bylo vytvořit názornou animaci, která bude sloužit jako výuková pomůcka do cvičení předmětu Automobilová elektrotechnika. Umožní studentům lépe pochopit náročnost a především rychlost, s jakou musí řídící jednotka pracovat, aby bylo dosaženo optimálního chodu motoru. V animaci jsou znázorněny všechny důležité snímače, ze kterých získává řídící jednotka informace o provozním stavu motoru, a hlavní části zapalování a vstřikování. Průběh celé animace je ještě slovně popsán v příslušné kapitole, takže může sloužit i k ukázce řízení chodu spalovacího motoru široké veřejnosti.



LITERATURA

- [1] KUBÍN, Pavel. *Elektrická zařízení osobních automobilů*. Praha : SNTL, 1985. 352 s.
- [2] FERENC, Bohumil. *Spalovací motory*. Praha : CPress, 2004. 388 s.
- [3] VLK, F. *Elektrická zařízení motorových vozidel*. Brno, 2005. 251 s.
- [4] MOTEJL, Vladimír, et al. *Učebnice pro řidiče a opraváře automobilů*. Brno : Littera, 1998. 504 s.
- [5] SCHWARZ, Jiří. *Automobily Škoda Octavia II*. Praha : Grada, 2006. 392 s.
- [6] ČUPERA, Jiří; ŠTĚRBA, Pavel. *Autoelektronika*. Brno : CPress, 2010. 280 s.
- [7] HUŠKA, L. *Semestrální projekt : Software pro zapalování a vstřikování spalovacích motorů*. Brno, 2009.
- [8] HÁJEK, V. *Automobilová elektrotechnika a elektronika : prezentace předmětu BAEB*. Brno : VUT, 152 s.
- [9] ROLLINGER, Miroslav. *Suzuki GSX-R 1100* [online]. 2002 [cit. 2010-05-13]. Zapalování. Dostupné z WWW: < <http://www.gsxr.wz.cz/zapal.htm> >.
- [10] ROLLINGER, Miroslav. *Suzuki GSX-R 1100* [online]. 2002 [cit. 2010-05-13]. Vstřikování. Dostupné z WWW: < <http://www.gsxr.wz.cz/inject.htm> >.
- [11] ROLLINGER, Miroslav. *Motorkáři.cz* [online]. 2006 [cit. 2010-05-13]. Zapalování, snímače. Dostupné z WWW: < <http://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/technika-motocyklu-12.-cast-zapalovani-3576.html?kid=1068> >.
- [12] ROLLINGER, Miroslav. *Motorkáři.cz* [online]. 2006 [cit. 2010-05-13]. Vstřikování, tvorba směsi. Dostupné z WWW: < <http://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/technika-motocyklu-9.-cast-tvorba-smesi-3479.html?kid=978> >.
- [13] Hella [online]. 2009 [cit. 2010-05-13]. Zapalovací cívky v motorovém vozidle. Dostupné z WWW: < http://hella-online.code-x.de/uploads/anhaenge/95_14/B_Zuendspule_2009_CZ.pdf >.
- [14] Brisk [online]. 2005 [cit. 2010-05-13]. Zapalovací svíčky. Dostupné z WWW: < <http://www.brisk.cz/page.php?page=2022> >.
- [15] ČECH, Jiří. *Škoda Techweb* [online]. 2002 [cit. 2010-05-13]. Zapalování II. Dostupné z WWW: < <http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=385> >.
- [16] VÁŇA, Petr. *Škoda Techweb* [online]. 2002 [cit. 2010-05-13]. Simos 2P. Dostupné z WWW: < <http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=335> >.



- [17] *Auta5p* [online]. 2003 [cit. 2010-05-13]. Automobilové motory. Dostupné z WWW: < <http://www.auta5p.eu/informace/motory/motory.htm> >.
- [18] *Volkswagen* [online]. 2009 [cit. 2010-05-13]. Volkswagen TSI. Dostupné z WWW: < <http://www.volkswagen.cz/vw2028/tsi/> >.
- [19] *Volkswagen* [online]. 2009 [cit. 2010-05-13]. Volkswagen TSI. Dostupné z WWW: < http://www.volkswagen.cz/vw2028/tsi_implementace/ >.
- [20] CHRISTNER, Brian. *2wheeltuesday* [online]. 2009 [cit. 2010-05-13]. SV650 Project Bike. Dostupné z WWW: < <http://2wheeltuesday.com/2009/02/sv650-project-bike-part-5-power-commander-setup-installation/> >.
- [21] *Adventure-Biker* [online]. 2009 [cit. 2010-05-13]. Princip zapalování CDI. Dostupné z WWW: < <http://www.adventure-biker.cz/princip-zapalovani-c-d-i.html> >.