

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ  
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**BRNO 2017**

**JAN ŠVEHLA**



**Vývoj elektronických řídicích jednotek automobilů**  
Bakalářská práce

*Vedoucí práce:*  
doc. Ing. Jiří Čupera, Ph.D.

*Vypracoval:*  
Jan Švehla



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem práci:.....  
.....vypracov  
al/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury.  
Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o  
vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování  
vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon,  
a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce  
jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem)  
si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu  
s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů  
spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....  
podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Dovoluji si touto cestou poděkovat vedoucímu mé práce panu doc. Ing. Jiřímu Čuperovi, Ph.D., za jeho odborné vedení a rady, které mi poskytl při zpracování mé bakalářské práce.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá vývojem řídicích jednotek osobních automobilů od začátku jejich používání v sériové výrobě až po rok 2017. Je zde popsána (vysvětlena) základní konstrukce řídicích jednotek, jejich software, konkrétní použití a funkce, regulované veličiny a akční členy.

## **ANNOTATION**

This bachelor thesis deals with development of electronic control units in cars from the beginning of using in a serial production until year 2017. It describes construction of electronic control unit, software, usage in cars, regulated values, communication and actuators.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Řídicí jednotka motoru, elektronické řízení motoru, hardware a software řídicích jednotek, common rail

## **KEYWORDS**

Electronic control unit, electronic engine control, hardware and software of control units, common rail

## OBSAH

1	Úvod.....	8
2	Cíl práce .....	8
3	Hardware a software řídicích jednotek.....	9
3.1	Elektronické řídicí jednotky .....	9
3.2	Architektura řídicí jednotky motoru (ECU) .....	10
3.3	Paměť řídicí jednotky.....	10
3.4	Mikroprocesor .....	12
3.5	Obsah paměti.....	14
3.6	Schéma řídicí jednotky.....	15
4	Algoritmy regulace akčních členů motoru .....	16
5	Elektronické řízení zážehových motorů .....	18
5.1	Výpočet doby vstříku .....	19
5.1.1	Základní doba vstříku .....	20
5.1.2	Efektivní doba vstříku.....	21
5.2	Okamžik vstříku paliva .....	21
5.3	Řízení úhlu zážehu .....	21
5.4	Regulace chodu naprázdno – Volnoběh.....	22
5.5	Lambda regulace .....	23
5.6	Regulace klepání .....	24
5.7	Regulace plnicího tlaku .....	26
5.8	Recirkulace výfukových plynů.....	26
6	Řízení vznětových motorů .....	27
6.1	Common rail.....	28
6.1.1	Popis systému.....	29
6.1.2	Základní dávka paliva .....	31
6.1.3	Maximální přípustná dávka paliva.....	31
6.1.4	Korekce dávky paliva .....	31
6.1.5	Stanovení předvstříku .....	32
6.1.6	Řízení volnoběhu .....	32
6.1.7	Řízení EGR.....	32
6.1.8	Meziválcová korekce vstříku .....	32
6.1.9	Lambda regulace .....	33
7	Závěr.....	34
8	Seznam použitých zdrojů .....	35
9	Seznam obrázků .....	37
10	Seznam tabulek .....	37

## 1 ÚVOD

V 80. letech minulého století přibyl v automobilovém průmyslu nový pojem elektronická řídicí jednotka. Co tento pojem znamená? Elektronická řídicí jednotka představuje vestavěný počítač pro řízení automobilových systémů. Řídicí jednotky se využívají na ovládání funkcí zvyšujících např. komfort posádky a pasivní bezpečnost tím, že řidiči zjednodušují některé úkony a ten se může plně věnovat řízení. Kromě toho obsahuje jednotky, které přímo slouží ke zvýšení aktivní a pasivní bezpečnosti, a jednotky, jež zprostředkovávají komunikaci mezi všemi systémy v autě. Základním a hlavním účelem je elektronická regulace motoru, jemuž se v předkládané práci budu věnovat. Elektronická regulace je mnohem přesnější než mechanická a především umožňuje regulaci v celém rozsahu jízdních režimů automobilu. V první řadě má vliv na jízdní vlastnosti a ekologii.

Aby člověk pracující s automobily porozuměl dnešním řídicím jednotkám motoru, je vhodné se seznámit s jejich konstrukcí, způsoby práce s daty vyhodnocováním naměřených dat a s tím, jaké parametry mohou regulovat na konkrétním motoru. Dále se zde budu zabývat tím, jak a v jakém formátu se data do řídicí jednotky zapisují a jak se řídicí jednotky měnily v průběhu let.

## 2 CÍL PRÁCE

Tato práce Vás má seznámit s použitím řídicích jednotek, jejich vývojem a trendy vývoje do budoucna, konstrukcí a s možnostmi provedení elektronické regulace spalovacích motorů.



### 3 HARDWARE A SOFTWARE ŘÍDICÍCH JEDNOTEK

#### 3.1 Elektronické řídicí jednotky

Během 80. let 20. století se v osobních automobilech kromě čistě mechanické regulace začala objevovat i regulace elektronická. Tu plně ovládá elektronická řídicí jednotka (z anglického Electronic Control Unit – ECU). Díky elektronické regulaci bylo možné, kromě regulace počátku vstřikování a dodávky paliva, začít řídit i recirkulaci výfukových plynů. Důvodem jejího použití byly požadavky na lepší optimalizaci chodu motoru, nižší spotřebu a snížení škodlivých emisí výfukových plynů. V dnešní době jsou už motory na takové úrovni, že díky elektronické regulaci dosahují v podstatě maximální možné účinnosti, jaké lze při dané konstrukci dosáhnout, a tak se výrobci mohou při vývoji plně věnovat zmenšování objemu motorů při zachování stejného výkonu, snížení obsahu škodlivých emisí ve výfukových plynech a splnění homologačních předpisů. Na obrázku č. 1 je řídicí jednotka motoru od firmy BOSCH s označením EDC15. (Vlk 2010)



Obrázek 1: EDC15  
(<http://www.vag-tuning.com>)

## 3.2 Architektura řídicí jednotky motoru (ECU)

Jednotka je zpravidla konstruována s životností na 10 let (250 tis. km). Obal ECU tvoří především hliník nebo ocelové slitiny. Musí být v provozu i při vysokých okolních teplotách (do 85 °C) a relativní vlhkosti do 85 % při 85 °C. Vysoké nároky jsou kladeny také na ventilaci vzduchu (buď okolo řídicí jednotky anebo přímo v ní), krytí proti kontaktu, odolnost vůči vibracím a otřesům a krytí proti vlhkosti. Celá jednotka musí být elektromagneticky kompatibilní, tzn. nesmí se vzájemně ovlivňovat s ostatními elektronickými zařízeními jak v traktoru, tak i v okolí (radiové a mobilní vysílání apod.). Základ tvoří deska tištěných spojů, která může mít až 10 vrstev. Na ní se nachází pasivní elektronické součástky (např. rezistory, kondenzátory) v podobě SMD (Surface Mount Device) a mohou být zastoupeny dvěma různými součástkami.

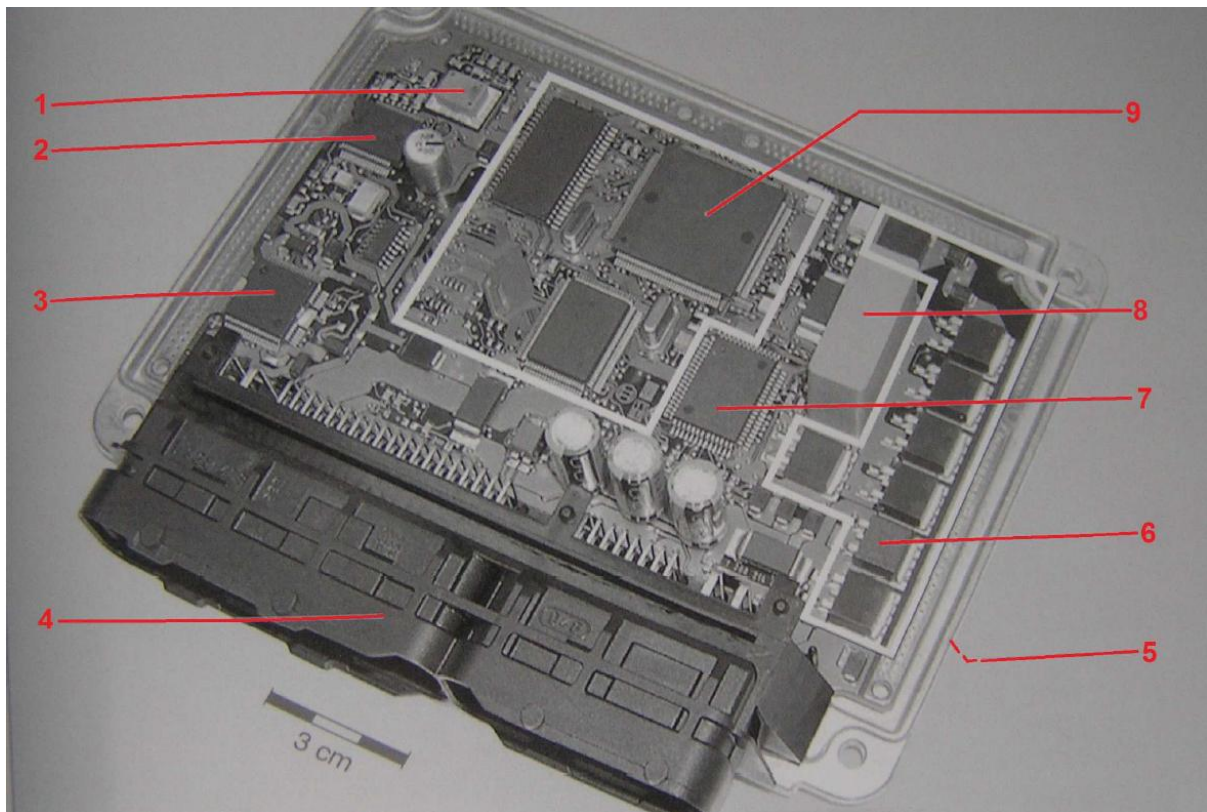
- Miniaturní elektronické součástky, jež se pájením osazují přímo na povrch plošného spoje.
- Procesor, jenž představuje hlavní část řídicí jednotky. Celou jednotku řídí přesnými operacemi v reálném čase. Jeho parametry jsou počet bitů (nebo také šířka slova) a frekvence, která udává, kolik cyklů procesor vykoná za 1 sekundu. (Prezentace Čupera EDC).

## 3.3 Paměť řídicí jednotky

V paměti jsou uložena data pro řízení motoru. Dělí se na:

- ROM (Read Only Memory) – trvalá paměť. Jsou v ní uloženy algoritmy nastavené od výrobce automobilu, které nejdou znovu přepsat.
- RAM (Random Access Memory) – tzv. operační paměť. Data se do jednotky mohou zapisovat a číst z libovolné pozice. Paměť je dočasná (ztráta dat po vypnutí napájení). Velikost této paměti je v řídicí jednotce standardně 32 kB.
- PROM – tuto paměť lze jednou naprogramovat. Následně v ní již data zůstávají trvale a chová se stejně jako paměť ROM.
- EPROM – programovatelná paměť. Lze do ní trvale zapsat data, která v ní zůstanou uložena i po vypnutí napájení. Před novým programováním je nutné data vymazat ultrafialovým zářením (UV).

- EEPROM – programovatelná paměť. Její přeprogramování je možné i bez mechanického zásahu. Přepisování dat ovšem trvá delší dobu a během zápisu nesmí dojít k výpadku napájení, čímž by mohlo dojít k poškození paměti. Obsahuje datové tabulky (mapy) s předpisy závislostí veličin (např. plnicí tlak na otáčkách, omezení množství paliva kvůli kouřivosti apod.). Obsahuje také mapy, které jsou shodné pro různé konfigurace motoru, např. ke klimatizaci, ABS, posilovači řízení, částicovému filtru apod. Přes EEPROM probíhá čtení vstupních veličin (např. čtení naměřené aktuální hodnoty otáček od snímače otáček) a také řízení výstupních veličin (např. spínání vstříků, regulace úhlu předstihu). Velikost EEPROM je 2 - 8 kB. (Prezentace Čupera EDC)
- sběrnice – zprostředkovává interní komunikaci řídicí jednotce (přenos dat mezi procesorem, pamětí, vstupními a výstupními obvody)
- vstupní a výstupní obvody jednotky – přijímají a odesílají informace. Jejich součástí jsou AD (analogově digitální převodník) a DA (digitálně analogový převodník).
- Can interface – komunikace na úrovni počítačové sítě. Zprostředkovává komunikaci mezi jednotlivými řídicími jednotkami.
- ASIC – protože řídicí systémy jsou stále složitější, náročnější na operační paměti a regulační algoritmy jsou rozvětvenější, může se stát, že mikroprocesor není pro plnění všech úloh dostatečný. V tomto případě se používá aplikační integrovaný obvod (ASIC). Ten obsahuje např. další vstupy, výstupy a dodatečnou paměť RAM. Po připojení optimálního aplikačního integrovaného obvodu je jednotka doplněna o komponenty potřebné k práci se složitějšími systémy. (Štěrba 2010)



Obrázek 2: Konstrukce řídicí jednotky EDC  
(Dílenská příručka Škoda auto – Elektrická zařízení FABIA)

Legenda obr. 2: 1) snímač atmosférického tlaku, 2) spínaný zdroj se stabilizací napětí, 3) koncový stupeň pro malý výkon, 4) přípojovací konektor, 5) rozhraní CAN a všeobecné spínací obvody (na spodní straně desky), 6) koncové stupně pro vysoký výkon, 7) ASIC pro aktivaci koncových stupňů, 8) měnič napětí, 9) mikrokontroler.

### 3.4 Mikroprocesor

"Mozkem" řídicí jednotky je mikroprocesor (mikrokontroler MCU – jednoprocessorové jádro univerzální architektury vybavené základními periferiemi, komunikačními linkami CAN atp.). Používají se 32bitové mikroprocesory architektury PowerPC s taktovací frekvencí až 150 MHz. Počet bytů (také nazýváno šířka slova, v tomto případě 32), udává maximální velikost čísla, s nímž je procesor schopen pracovat v jednom taktu. 32 bitový procesor tedy může počítat s číslem o hodnotě  $2^{32}-1= 4\ 294\ 967\ 295$ . Frekvence udává, kolik takových cyklů procesor vykoná za 1 sekundu. Procesory řídicích jednotek oproti procesorům ve stolních počítačích pracují v reálném čase, proto je nelze mezi sebou porovnávat. (Prezentace Čupera EDC)

Za posledních 20 let se taktovací frekvence mikroprocesorů zvýšila z 12 na 150 MHz, šířka datové sběrnice z 8 bit na 32 bit, programovatelná paměť z 32 Kbyte na 5 Mbyte, MIPS (Milions Instructions Per Second) z 10 na 300 milionů za sekundu. Parametry procesoru se tedy změnilo následovně: paměť 1:100, MIPS 1:30, kalibrační parametry 1:10.

V tabulce č. 1 můžeme vidět, jak se vyvíjely parametry řídicích jednotek od firmy BOSCH.

Tabulka č. 1: Vývoj řídicích jednotek od firmy BOSCH

(Zdroj vlastní)

<b>Rok výroby</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>1998</b>	<b>2001</b>	<b>2003</b>	<b>2006</b>
Výrobce	Bosch	Bosch	Bosch	Bosch	Bosch	Bosch
typ řídicí jednotky	M 1.8	M 4.3	ME 7.0	ME 7.0.1	ME 9.0	MED 17
Mikroprocesor	80535	80C51	C16	C167	MPC 555	Tricore TC 1796
Šířka slova [bit]	8	16	16	32	32	32
Taktovací frekvence [MHz]	12	20-40	24	40	66	150
RAM [kB]	8	30	50	136	160	352
Flash EEPROM [MB]		0,8	0,512	1	2	6

V tabulce číslo 2 jsou procesory Tricore od firmy Infineon. Tyto procesory série XC2200 jsou vytvořené pro potřeby automobilového průmyslu. Dělí se na několik podskupin, které se liší výkonnostně i tím, jaké mají využití. Nejvýkonnější se používají do řídicí jednotky gateway (diagnostické rozhraní datové sběrnice CAN), která zprostředkovává komunikaci mezi všemi systémy v automobilu. U nových osobních automobilů musí jednotka zvládnout až osm rozhraní CAN a dvě rozhraní LIN. Dále se tyto vysoce výkonné procesory používají v řídicích jednotkách motoru, protože jsou zde kladeny požadavky na velký počet operací za sekundu v reálném čase. Mikroprocesory nižší třídy se využívají v řídicích jednotkách, které nekladou takové požadavky na výkon. Procesory se do jednotek osazují zpravidla s naddimenzovanou kapacitou pro budoucí aktualizace softwaru u dodavatelů. (Isermann 2014)

Tabulka č. 2 Vybrané technické parametry procesorů řady Tricore XC2200  
(Zdroj vlastní)

Název	Taktovací frekvence[MHz]	Paměť flash [KB]	Šířka slova [bit]	MIPS
XC221xU	40	32	32	40
XC222xU	40	32	32	40
XC221xU	40	64	32	40
XC222xU	40	64	32	40
XC222xL	66	64	32	60
XC222xL	66	128	32	60
XC223xL	66	128	32	60
XC226xN	80	128	32	80
XC223xN	80	256	32	80
XC226xN	80	256	32	80
XC226x	80	384-704	32	80
XC228x	80	384-704	32	80
XC223xM	80	384-768	32	80
XC226xM	80	384-768	32	80
XC226xl	128	384-768	32	128
XC228xM	80	384-768	32	80
XC228xl	128	384-768	32	128
XC226xl	128	1024	32	128
XC228xH	100	1024	32	100
XC228xl	128	1024	32	128
XC229xH	100	1024	32	100
XC228xH	100	1638	32	100
XC229xH	100	1638	32	100

### 3.5 Obsah paměti

- V paměti jsou uložena čísla v binárním tvaru
- Každá dvojice znaků je jeden byte
- Na každém řádku je zobrazeno 16 bytů
- Některé byty mají textovou interpretaci (písmeno), to lze vidět v pravém sloupci

```

00000000: 00 02 7A F8 00 00 00 00|00 00 00 00 00 00 00 00 | |_zř
00000010: 00 00 00 00 00 00 00 00|00 00 00 00 00 00 00 00 FF | \ûg)rzf:.....
00000020: 5C F9 67 29 72 7A 66 3A|FF FF FF FF FF FF FF FF |
00000030: FF FF FF FF FF FF FF FF|FF FF FF FF FF FF FF FF |
00000040: A3 06 98 D6 8D 85 99 C5|FF FF FF FF FF FF FF FF | k-..öŕ...[.....
00000050: FF FF FF FF FF FF FF FF|FF FF FF FF FF FF FF FF | .....
00000060: FF FF FF FF 0C 80 FF FF|FF FF FF FF FF FF FF FF | .....
00000070: FF FF 90 BC 15 28 02 9A|5D 0F 90 BC 15 28 02 9A | ..L+(75]ç.L+(75
00000080: 5D FF 90 BC 15 28 02 9A|5D FF 22 22 22 06 06 06 | ]..L+(75].....---
00000090: 1E 14 40 00 0A 00 10 10|10 01 14 FF FF 01 FF FF | .q@ . +++ .q' . .
000000A0: FF FF 53 4B 5A 37 5A 30|42 31 36 36 39 34 30 38 | 'SKZ7Z0B1669408
000000B0: 53 4B 5A 37 5A 30 42 31|36 36 39 34 30 38 53 4B | SKZ7Z0B1669408SK
000000C0: 5A 37 5A 30 42 31 36 36|39 34 30 38 9C 05 9C 05 | Z7Z0B1669408š|š|
000000D0: 9C 05 54 4D 42 42 50 32|31 55 38 33 32 37 33 36 | š|TMBBP21U832736
000000E0: 36 33 32 FF 58 58 58 58|58 58 58 58 58 58 58 58 | 632`XXXXXXXXXXXXX
000000F0: 58 58 58 58 58 F1 93 8C|F1 70 60 1B 95 D5 95 D5 | XXXXXá“Šňp`←·ü·ü
00000100: 95 D5 95 D5 95 D5 95 D5|95 D5 95 D5 00 00 00 00 | ·ü·ü·ü·ü·ü·ü
00000110: 00 00 00 00 10 00 00 00|00 00 00 00 31 55 30 39 | + 1U09
00000120: 32 30 38 31 31 4A 20 20|41 2B 56 30 37 00 0C 00 | 20811J A+U07 ±
00000130: 19 C0 36 4E 30 39 30 39|39 30 31 20 19 2A 11 01 | R6N090901 ±*◀.
00000140: 22 02 01 01 17 64 88 08|DC 05 DC 05 00 00 2D 03 | "γ...d.ü|ü| -L

```

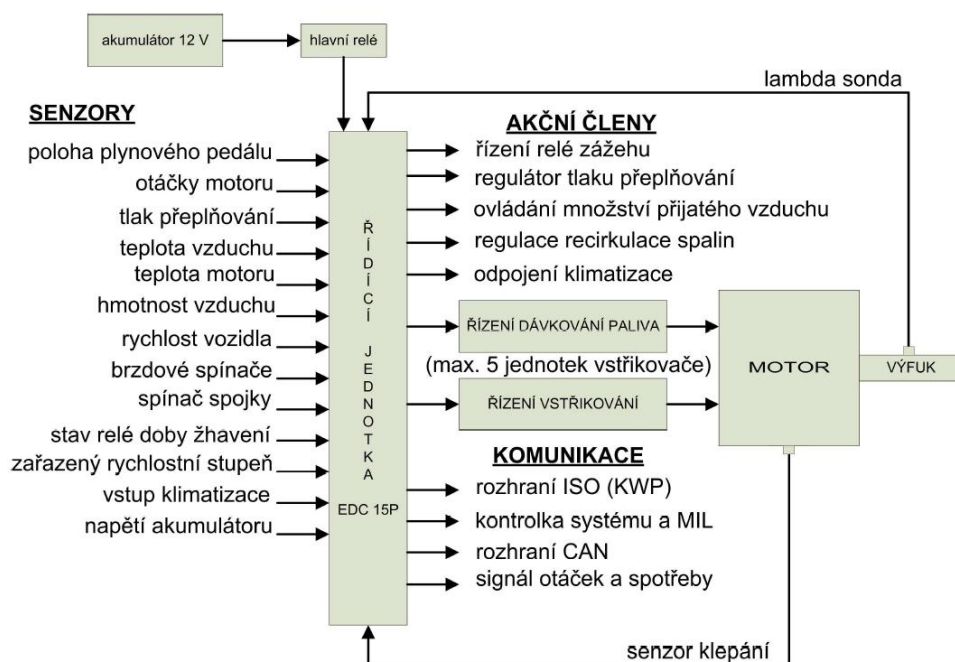
Obrázek 3: obsah paměti EEPROM řídicí jednotky EDC 15  
(zdroj vlastní)

Řídicí jednotka provádí množství funkcí, mezi něž patří ovládání chodu motoru, regulace akčních členů motoru, snímání a vyhodnocování vstupních signálů ze snímačů, komunikace s ostatními řídicími jednotkami, oprávnění startu (řídicí jednotka je spárována s imobilizerem a dostává od něj pokyny o tom, jestli je v zapalování správný klíč a je povolený start). Aby vše probíhalo správně, musí být v jednotce nahraný správný software. Ten je v jednotce uložen v paměti EEPROM v binárním tvaru. Na obrázku č. 3 lze vidět paměť EEPROM vyčtená z řídicí jednotky EDC15. Paměť má několik částí, v nichž jsou zvlášť informace o algoritmech regulace, objednáci číslo konkrétní řídicí jednotky, kód motoru, číslo softwarové verze apod. (Prezentace HRC)

### 3.6 Schéma řídicí jednotky

Na obrázku č. 4 vidíme blokové schéma řídicí jednotky motoru EDC15P. Najdeme zde čtyři hlavní části: senzory, řídicí jednotku, akční členy a komunikační rozhraní. Senzory posílají řídicí jednotce aktuální informace o provozních podmínkách. Jednotka data dále zpracuje a na jejich základě řídí akční členy. Zásadní je funkce řízení dávkování paliva a řízení vstřikování, protože jejich funkce je rozhodující pro výkon motoru, efektivní využití paliva a nízké emise. Aby byl systém co nejpřesnější, pracuje řízení se zpětnou vazbou. Senzor klepání slouží ke kontrole optimálního vstřikování a lambda sonda měří bohatost směsi, podle které se zpětně upravuje dávka paliva. (Vlk, 2010)





Obrázek 4: Schema řídicí jednotky EDC15  
(Prezentace HR Carsoft)

## 4 ALGORITMY REGULACE AKČNÍCH ČLENŮ MOTORU

Jak bylo zmíněno výše, řídicí jednotka motoru dostává informace, jež musí vyhodnotit a předat náležitě povely akčním členům. Jak řídicí jednotka tyto povely vyhodnotí, záleží na softwaru, který je v řídicí jednotce nahrán (algoritmy regulace jsou jen jednou z částí paměti EEPROM). Dále bude podrobněji popsán vývoj a použití těchto algoritmů na zapalovacích systémech zážehových motorů.

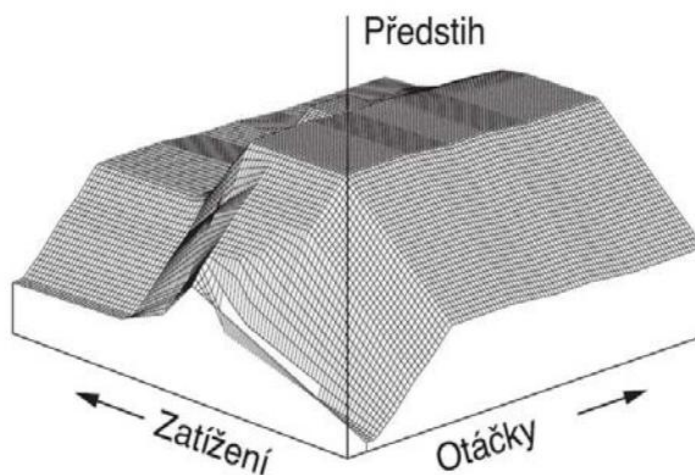
Zapalovací systémy zážehových motorů se v dnešních dnech řídí převážně bez rozdělovače vysokého napětí. Požadovaná jiskra s energií nutná pro zážeh směsi se generuje induktivně nebo kapacitně. Úhel předstihu zážehu je složitou funkcí mnoha proměnných (rychlost otáčení, teplota vzduchu a chladicí kapaliny, oktanové číslo paliva, zatížení, bohatost směsi) a výrazně ovlivňuje složení výfukových plynů a dynamických vlastností motoru. Kvůli velkému množství parametrů a proměnných je výpočet úhlu předstihu složitá a časově náročná operace. Vyžadovala by vysoký výpočetní výkon řídicí jednotky. Místo toho se používá takzvaná metoda přímého řízení, kdy jsou v paměti jednotky uloženy všechny teoreticky možné kombinace stavů motoru. Pro každou kombinaci je potom přesně dána hodnota předstihu ve formě mapy řízení. U přípravy směsi se používá stejný systém.



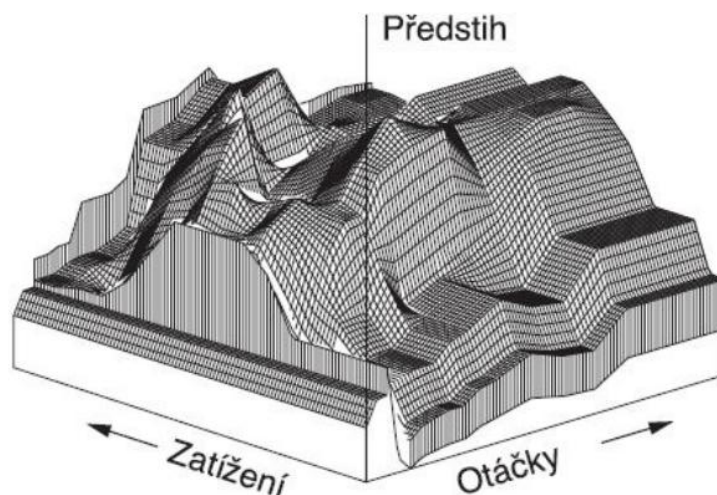
Tady se naplno projeví výhody elektronické regulaci (obr. 10) oproti mechanické (obr. 11). Z obrázku 11 je zřejmé, že mechanická regulace má průběh jednoduchý a nemá moc možností, jak ho řídit. Regulační charakteristika se sice mění, ale ne optimálně, tudíž motor nepracuje maximálně efektivně. Nejde o nastavení, ale o to, že mechanická odstředivá a podtlaková regulace z principu své činnosti ani není schopna lepší charakteristiku vytvořit.

Elektronické systémy naproti tomu dokáží předstih řídit velice přesně a při správném nastavení mapy dosahuje motor optimálních vlastností nejen ve všech možných podmínkách, ale i při náhlé změně parametrů (točivý moment, spotřeba, emise, zabránění klepání atd.). Při běžném provozu motoru potom jednotka podle okamžité hodnoty otáček a zatížení vybere příslušnou hodnotu předstihu.

Při porovnání mechanické regulace předstihu (odstředivá, podtlaková regulace v rozdělovači) Obr. č. 5 a charakteristiky předstihu s elektronický zapalováním obr. 6 můžeme vidět, že elektronická regulace umožňuje mnohem přesnější nastavení parametrů při všech provozních režimech motoru a mechanická regulace se jí nemůže rovnat.



Obrázek 5: pole charakteristik mechanické regulace předstihu  
(Vlk 2010)



Obrázek 6: pole charakteristik elektronické regulace předstihu  
(Vlk 2010)

Řídicí jednotka těchto polí charakteristik obsahuje více, kromě stanovení předstihu v závislosti na otáčkách a zatížení u benzinových motorů to může být stanovení okamžiku vstřiku, délka vstřiku v závislosti na zatížení motoru a poloze plynového pedálu, korekce okamžiku zážehu v závislosti na vnějších podmínkách a jiné. U moderních vozů je těch tzv. map přes 120. (Vlk 2010)

## 5 ELEKTRONICKÉ ŘÍZENÍ ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ

Elektronický systém řízení zážehového motoru je celý uvnitř jedné řídicí jednotky. Řídí zapalování a vstřikování. Jednotka pomocí snímačů získává provozní data v podobě spínacích vstupů, analogových a digitálních hodnot:

- zapalování
- poloha vačkových hřídelů
- zařazený rychlostní stupeň
- napětí akumulátoru
- teplota motoru
- teplota nasávaného vzduchu
- lambda sonda

- snímač klepání
- množství vzduchu
- otáčky motoru

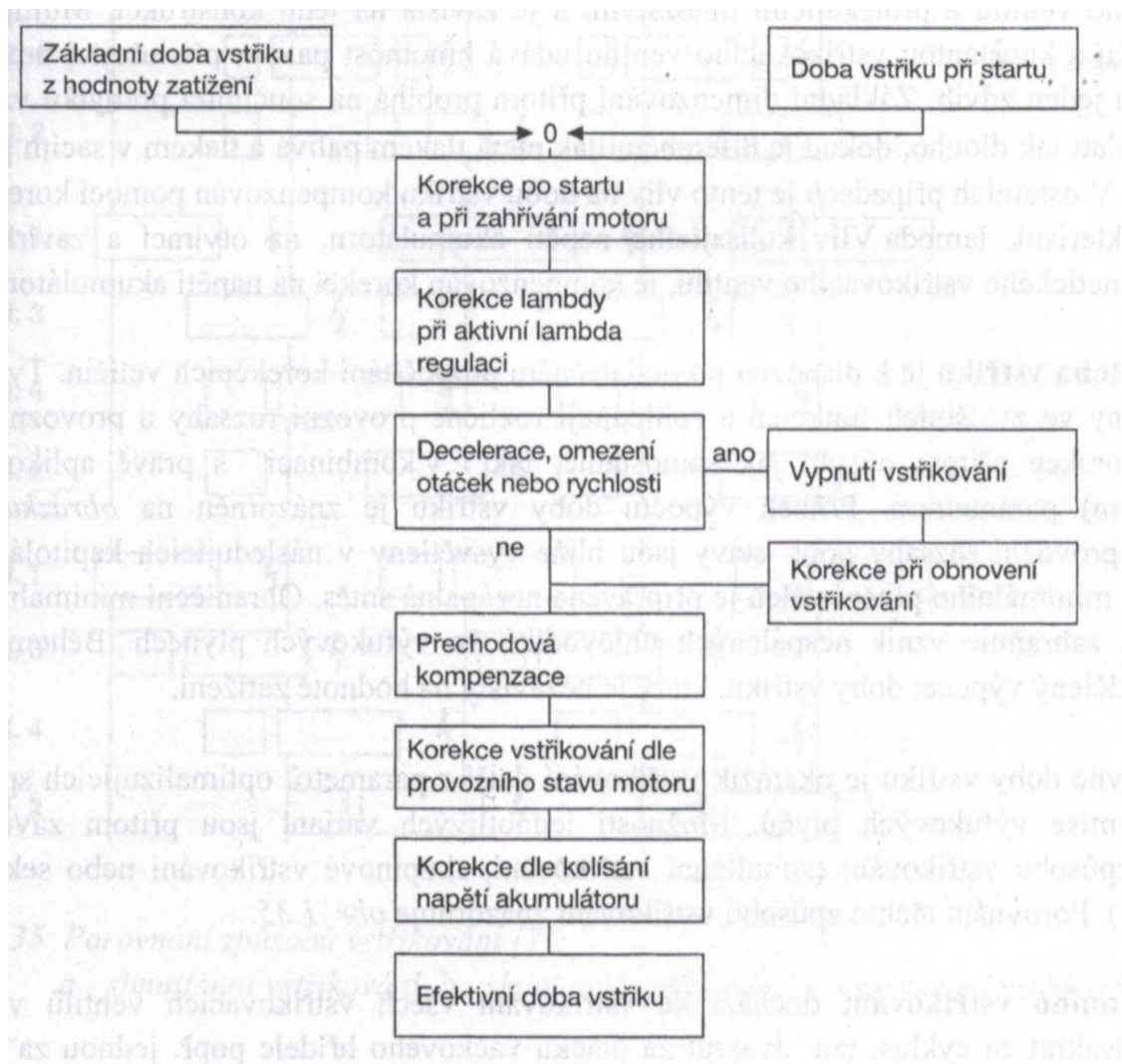
Data přijdou do řídicí jednotky. Vstupní obvody je upraví tak, aby byla zpracovatelná pro mikroprocesor. Ten je zpracuje, určí z nich provozní stav motoru a vypočítá ovládací signály. Ty jdou přes zesilující koncové stupně a ovládají akční členy. Tím dosáhneme ideálního nastavení vstřikovačů, správně připravené směsi a jejího zapálení ve správný okamžik při každém provozním stavu motoru. Řídicí jednotka motoru kromě toho kontroluje i další řídicí a regulační funkce. Ty jsou nutné ke snížení emisí a spotřeby paliva. Dané funkce jsou upravovány podle výfukových plynů. Jsou to například tyto:

- regulace otáček chodu naprázdno (volnoběžné otáčky)
- lambda regulace
- řízení systému odvětrávání palivové regulace
- regulace spalín ke snížení oxidů dusíku  $\text{NO}_x$
- regulace klepání
- řízení vhánění sekundárního vzduchu ke snížení obsahu HC
- regulace klepání a omezení maximálních otáček a rychlosti vozidla z důvodu ochrany před poškozením (VLK 2010)

## 5.1 Výpočet doby vstřiku

Řídicí jednotka přijímá signály zatížení a otáček motoru. Z těch vypočítá hodnotu zatížení. Ta odpovídá hmotnosti nasátého vzduchu na jeden zdvih motoru. Vypočítaná hodnota výstupní pro výpočet doby vstřiku a pro zvolení správného pole charakteristik, které určuje úhel zážehu.

Řídicí jednotka může měřit přímo hmotnost vzduchu (např. měřič se žhavicím drátem nebo vyhřívaným filtrem) a tu použít pro výpočet zatížení. Nebo místo toho změříme množství vzduchu a pro dopočítání hmotnosti vzduchu použijeme korekci hustoty vzduchu. Výsledky měřicího zařízení se odchylují od skutečnosti kvůli vzduchovým pulzacím v sacím potrubí.



Obrázek 7: výpočet doby vstříku  
(Vlk 2010)

Korekčními hodnotami jsou zde změny teplot a podíly zbytkových plynů. Zatížení lze také vypočítat s použitím polohy snímače škrticí klapky. Kvůli tomu, že hustota vzduchu není vždy stejná, tak se měří i teplota a tlak okolního vzduchu.

### 5.1.1 Základní doba vstříku

Vypočítá se z hodnoty zatížení a konstant, které jsou dány konstrukcí a parametry vstřikovacího ventilu. Tato veličina udává, jaké množství paliva proteče za jednotku času. Základním požadavkem je dosáhnout součinitele přebytku vzduchu  $\lambda = 1$ . Toto platí, dokud je diferenční tlak mezi tlakem paliva a tlakem v sacím potrubí konstantní. Pokud tato podmínka neplatí, tak se doba vstříku mění podle korekčního pole charakteristiky lambda.

### **5.1.2 Efektivní doba vstřiku**

Je dopočítána z dodatečných funkcí po prvotním spočítání korekčních veličin. Navíc bere v potaz různé provozní rozsahy a provozní stavy motoru. Dále například zohledňuje ohraničení minimální doby vstřiku a během startu vypočítává dobu vstřiku nezávisle na hodnotě zatížení.

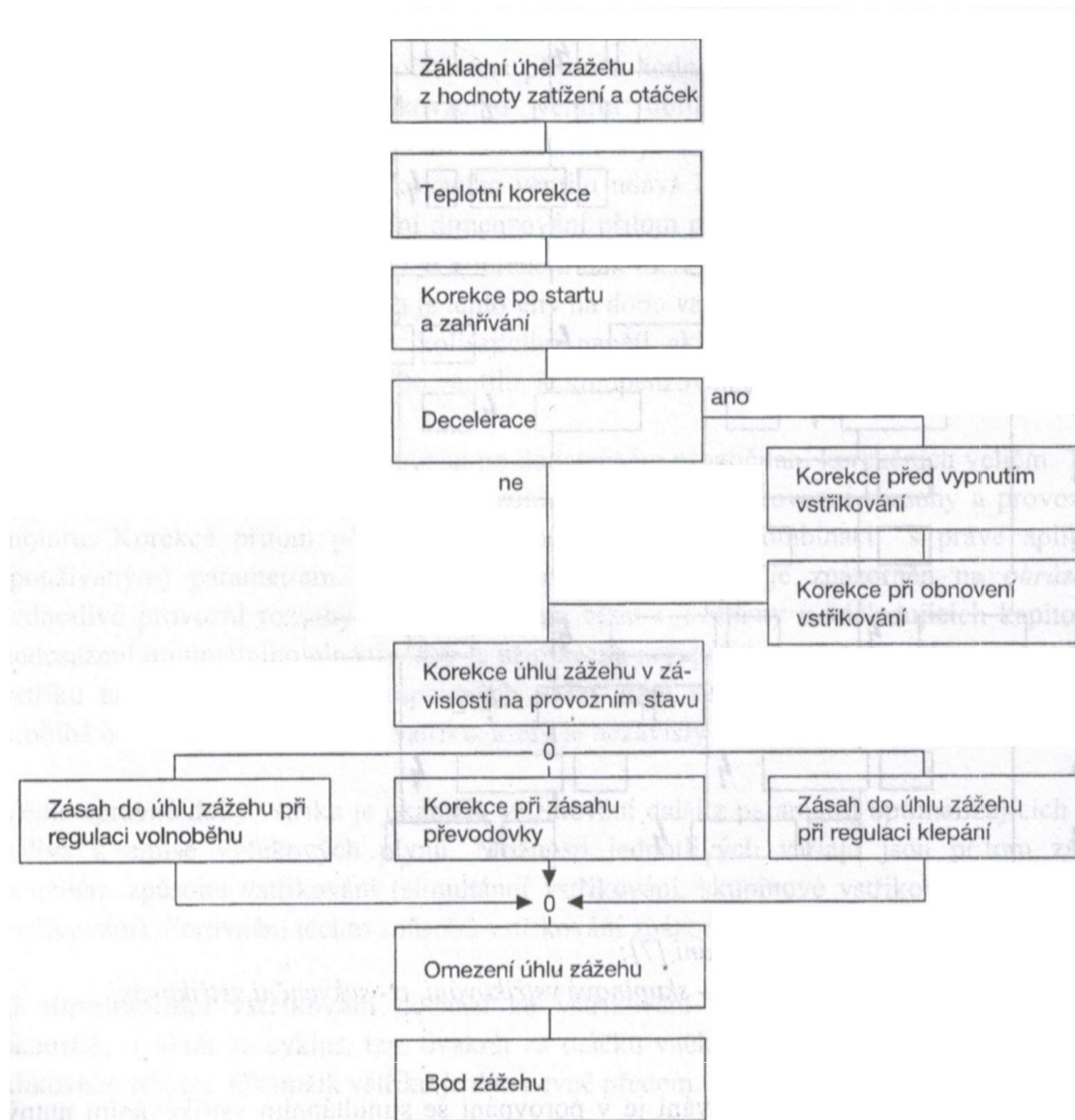
## **5.2 Okamžik vstřiku paliva**

Správně určený okamžik vstřikování přispívá k nižší spotřebě a nižším emisím výfukových plynů. Možnosti regulace závisí na použitém způsobu vstřikování paliva.

- Simultánní vstřikování – všechny vstřikovací ventily se otevírají v jeden okamžik. Okamžik vstřiku je pevně dán předem.
- Skupinové vstřikování – vstřikovací ventily jsou rozděleny do dvou skupin. Každá skupina jednou za cyklus vstřikuje palivo. Obě skupiny jsou od sebe posunuty o jednu otáčku klikové hřídele. U tohoto typu je už možné nastavit okamžik vstřiku.
- sekvenční vstřikování – dává nejvíce možností pro různá nastavení. Každý ventil je ovládán samostatně, nezávisle na ostatních.

## **5.3 Řízení úhlu zážehu**

Jednotka ovládá úhel zážehu podle uložené charakteristiky, jež jsou závislé na zatížení motoru a jeho otáčkách. Tuto hodnotu poté ještě upravují teploty motoru a nasávaného vzduchu. Výsledný úhel zážehu je nastaven tak, aby splňoval nízkou spotřebu a nízké emisní limity. Případné další korekce nebo přepnutí na jiná pole charakteristik umožňují optimalizaci pro každý provozní stav motoru (plný výkon, částečný výkon a volnoběh) a speciální stavy motoru (vhánění sekundárního vzduchu, dynamický provoz).



Obrázek 8: Výpočet bodu zážehu (Vlk 2010)

## 5.4 Regulace chodu naprázdno – Volnoběh

Důležité je správně nastavit volnoběžné otáčky, především kvůli pohybu vozu v hustém provozu. Zde se nastavuje spotřeba a účinnost. Požadavek je, aby otáčky byly co nejnižší, ale zároveň aby ani při plném zatížení (aktivní posilovač řízení, klimatizace, zatížená palubní síť) nepoklesly natolik, že by motor fungoval nepravidelně nebo vynechával. Odporové síly působící na motor se mění (vodní čerpadlo, klikový a ventilový pohon) často skokově (např. klimatizace). Tento problém je ještě více citelný u novějších motorů. To je způsobeno trendem menších objemů, a tedy i menší setrvačné hmoty. Aby mohla jednotka

správně vyhodnotit požadavek na volnoběh, potřebuje signál od snímače otáček, úhel natočení škrticí klapky, polohu plynového pedálu a teplotu motoru. Podle těchto informací určí, zda je požadován chod na volnoběh a zvolí odpovídající hmotnost vzduchu.

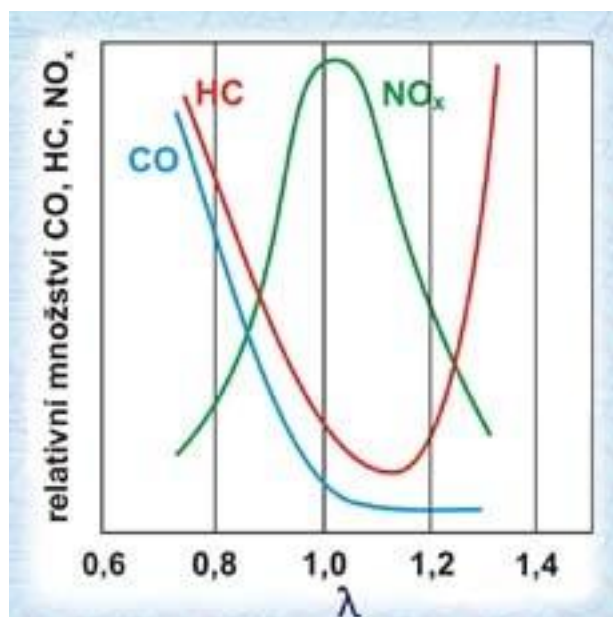
Dále je možné volnoběh upravovat těmito způsoby: zásah do směsi paliva, řízení množství vzduchu a řízení úhlu zážehu.

Zásah do směsi v dnešní době nepřichází v úvahu kvůli emisním předpisům. Řízení množství vzduchu je možné a jeho použitelnost závisí především na konstrukci motoru. Pokud je motor velkoobjemový, dá se množství vzduchu tímto způsobem změnit, ale rozdíl se projeví až po delší časové prodlevě. U menších motorů je změna patrná rychleji. Nejúčinnější je možnost zásahu do úhlu zážehu v závislosti na otáčkách. Při klesajících otáčkách bude úhel zážehu nastaven na vyšší hodnotu a zároveň dojde ke zvýšení točivého momentu.

## 5.5 Lambda regulace

Lambda sonda je vlastně senzor zbytkového kyslíku ve výfukový plynech. Najdeme ji ve výfukovém potrubí. Je nutná pro řízení motoru s třicestným katalyzátorem. Ten slouží ke snižování škodlivých emisí (převádí CO, HC a NO<sub>x</sub> na H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> a N<sub>2</sub>). Zpracování těchto složek je možné jen v tzv. "lambda okně" ( $\lambda = 0,98-1,2$ ). Jedná se o velmi úzký rozsah, proto je potřeba přesné řízení, a to představuje právě lambda regulace. Lambda sonda naměří hodnoty kyslíku, pošle je řídicí jednotce, ta je vyhodnotí a na jejich základě řídí poměr paliva a vzduchu v sacím potrubí tak, aby se dosáhlo optimální směsi. Tím je tzv. stechiometrický poměr pro spalování, který je označován  $\lambda$ , a odpovídá poměru zhruba 14,7 kg vzduchu na 1 kg paliva.





Obrázek 9: relativní množství škodlivých plynů pro různé hodnoty lambda  
(<http://www.gsxr.wz.cz>)

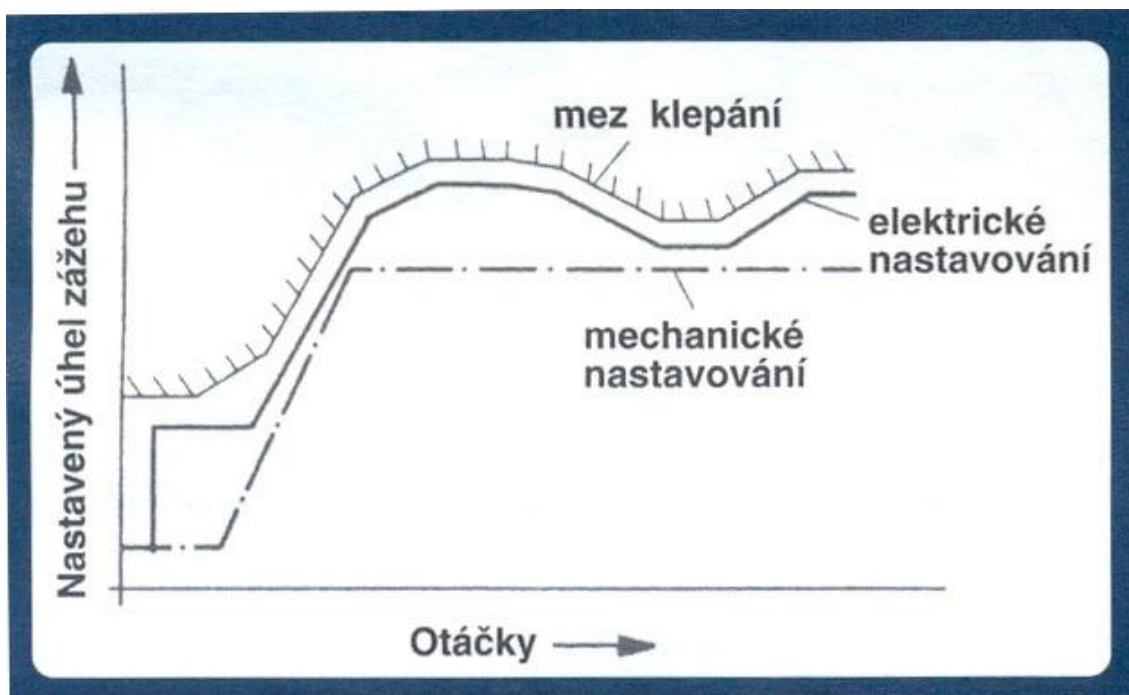
Než se motor zahřeje, tak pro rovnoměrný chod potřebuje bohatší směs. Lambda sonda je proto uvedena do provozu až při vyšší teplotě motoru. Měření lambda sondou probíhá několikrát za sekundu. Po zásahu lambda regulace se výsledky neprojeví hned, což je způsobeno dobou proudění plynů. Po chvíli lambda výsledek vyhodnotí znovu a provede další korekci. S tím jak je motor používán a opotřebovávají se pohyblivé části, tak se regulace stává méně přesnou a původní nastavení v paměti ROM potřebují stále více korekcí. Proto se využívá paměti RAM, která pokud zaznamená, že regulace provádí často ty samé zásahy při konkrétním provozním stavu, tak zapíše nové přednastavení a lambda je po té řízena podle něj.

## 5.6 Regulace klepání

Klepání motoru je jev, ke kterému dochází u motorů s vysokým kompresním poměrem. Jedná se o nekontrolovatelnou formu hoření směsi paliva a vzduchu v motoru. K detonačnímu hoření dochází především ve vyšších otáčkách. V důsledku turbulentního pohybu směsi ve válci dojde k rychlejšímu prohoření než za běžných podmínek. Následkem jsou prudké tlakové změny, jež způsobí mechanické vibrace motoru. Tyto vibrace poškozují motor (poškození hlavy válce, těsnění hlavy válce a případně pístů). Dále detonační hoření snižuje výkon motoru a zvyšuje spotřebu.



Dříve se do paliva pro benzinové motory přidávalo olovo, aby nedocházelo k detonačnímu hoření. Tato příměs se přestala používat po zavedení katalyzátoru, který vyžaduje chod motoru s bezolovnatým benzinem. K zamezení detonačního hoření se nyní využívají řídicí jednotky, jež upravují úhel předstihu zážehu. Je to z toho důvodu, že mez klepání není pevně daná, ale mění se v závislosti na kvalitě paliva, okolních podmínkách a stavu motoru. Pokud bychom stanovili bezpečnou vzdálenost, při níž k detonačnímu hoření nemůže docházet za žádných okolností, snížila by se tím účinnost motoru a došlo by ke zvýšení spotřeby o několik procent. Řídicí jednotka dokáže zajistit regulaci klepání během provozu. K tomu je nutné správné rozpoznání intenzity klepání jednotlivých válců. V reálném provozu totiž mají jednotlivé válce různou hranici klepání. Řídicí jednotka potom řídí hodnotu předstihu tak, aby se k mezi detonačnímu hoření přiblížila, ale aby k němu nikdy nedošlo. Tím se docílí optimální spotřeby v jakémkoli provozním stavu motoru. (<https://publi.cz/books/160/06.html>)



Obrázek 10: Graf mechanické a elektronické regulace klepání (<https://publi.cz>)

## 5.7 Regulace plnicího tlaku

U zážehových motorů se ze všech způsobů přeplňování nejvíce prosadilo přeplňování turbodmychadlem. S jeho pomocí dosahují motory s malým objemem vysokého točivého momentu, výkonu i dobré účinnosti motoru. Oproti stejně výkonnému atmosférickému motoru je přeplňovaný motor lehčí. Díky tomu dosahuje vyšší výkonové hmotnosti.

Samotné turbodmychadlo tvoří kompresor a výfukové turbíny uložené na společné hřídeli. Ty přeměňují energii získanou z výfukových plynů na rotační energii a tou pohání kompresor.

Při různých provozních stavech motoru je nutné plnicí tlak pro optimální chod motoru neustále měnit. Přesnou regulací, která pracuje s otáčkami motoru a úhlem natočení škrticí klapky, lze dosáhnout optimálního chodu motoru ve všech podmínkách.

Aby nedošlo k poškození turbíny, teplota výfukových plynů mezi motorem a turbínou nesmí překročit určitou mez. Z toho důvodu se přeplňování používá jen u motorů s regulací klepání. To, jak už jsem zmínil optimálním úhlem zážehu, dokáže udržet teploty výfukových plynů na minimu.

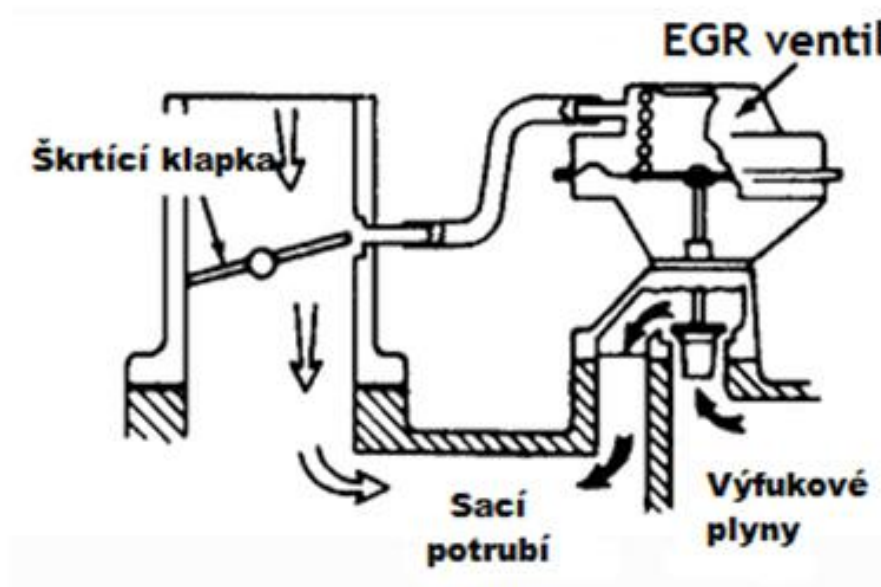
## 5.8 Recirkulace výfukových plynů

Jednou z možností, jak u motorů snížit emise oxidů dusíku, je dopravovat do válců kromě čerstvého vzduchu i spaliny z výfuku. Recirkulace spalin se obecně označuje EGR (z anglického Exhaust Gas Recirculation).

Množství recirkulovaných spalin je závislé na otáčkách motoru, množství nasávaného vzduchu, teplotě nasávaného vzduchu, dávce paliva a plnicího tlaku turbodmychadla.

Recirkulace spalin pracuje buď s nízkým, nebo s vysokým tlakem, kdy se spaliny odebírají mezi turbínou a hlavou válců. U nízkotlakého okruhu recirkulace spalin jsou výfukové plyny odebrány až za turbodmychadlem. Vysokotlaký okruh se uplatňuje při nízkém zatížení motoru. Když roste zatížení motoru, přechází řídicí jednotka postupně z vysokotlakého na nízkotlaký okruh. U vysokotlakého okruhu se k regulaci používá kombinace míry otevření šoupátka EGR spolu s vhodným nastavením rozváděcích lopatek turbodmychadla.

Technologii EGR používá většina menších vznětových motorů osobních a dodávkových vozů, které splňují předpis Euro IV nebo vyšší. V posledních letech se recirkulace výfukových plynů začíná používat nejen u vznětových, ale i u zážehových motorů. (<http://www.auto.cz>)



Obrázek 11: EGR ventil  
(<http://www.autolexicon.net>)

## 6 ŘÍZENÍ VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

Vývoj vznětových motorů v dnešní době směřuje ke zvýšení točivého momentu a výkonu a zároveň snižování emisí škodlivých látek, emisí hluku a snižování spotřeby paliva. Toho je dosaženo jednak metodami jako chlazení plnicího vzduchu, přímého vstřikování a přeplňování ale také použitím plně elektronických systémů řízení motoru, které řídí a regulují ostatní systémy. Především kvůli zvyšujícím se nárokům na emise hluku a škodlivých látek ve výfukových plynech se základní systémy řízení motoru (vstřikování a zapalování) rozšiřují o přídavné regulace a systémy, jako např. regulace chodu naprázdno, recirkulace výfukových plynů (EGR), řízení průběhu vstřikování a předvstřiku. Dále musí být správně nastaven počátek vstřiku. Hodnotu vstřikované dávky a plnicí tlaky je nutné upravit pro různé provozní stavy.

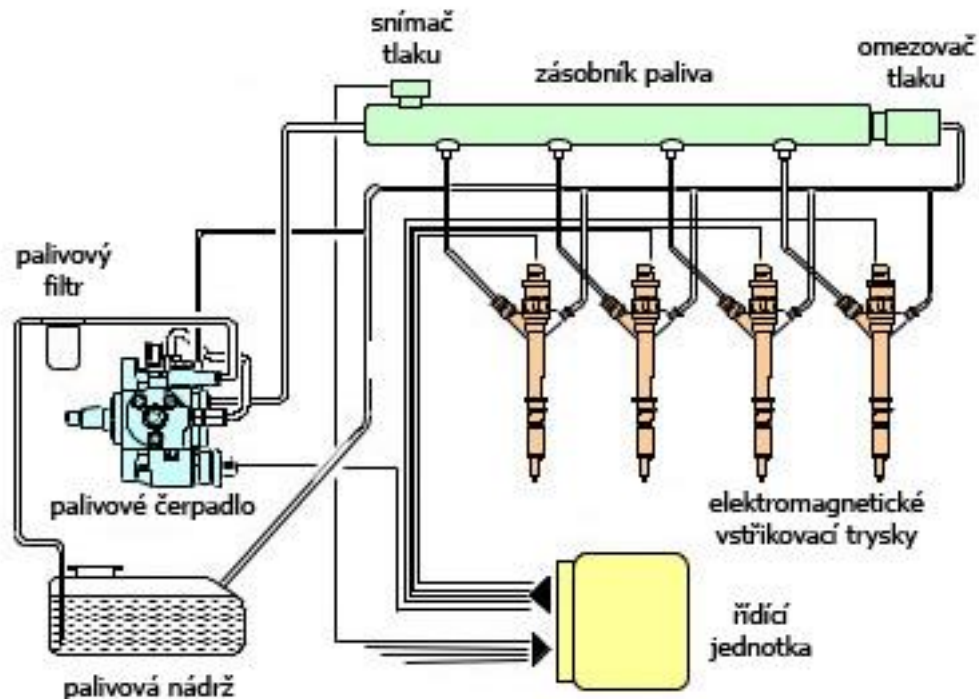
Zážehové motory jsou řízeny kvantitativně, tzn. přivedeným množstvím směsi palivo vzduchu. K regulaci tohoto množství je zapotřebí škrticí klapka. Na rozdíl od nich

je u naftových motorů užitečný výkon řízen obsahem paliva ve směsi paliva a vzduchu (kvalitativně). Pro vznětové motory je stechiometrický poměr 14,5, tzn. na úplné spálení 1 kg paliva je potřeba 14,5 kg vzduchu. Při tomto poměru se  $\lambda = 1$ . Limit meze kouřivosti je pro vznětové motory 1,4. Z toho plyne, že vznětové motory většinou pracují s chudou směsí. Při volnoběhu mohou motory pracovat až s mimořádně chudou směsí,  $\lambda = 3,4$ , a při plném zatížení se množstvím paliva zvýší bohatost směsi až na  $\lambda = 1,4$ .

Příprava směsi se odvíjí od vstřikovacího zařízení a jeho řízení. Tvoření směsi a průběh spalování ovlivňuje okamžik začátku dodávky paliva a okamžik vstřiku, doba a průběh vstřiku, tlak vstřikování, počet vstřikovacích paprsků, směr vstřikování, přebytek vzduchu a rozvíření vzduchu. (Vlk, 2010)

## **6.1 Common rail**

Elektronická regulace se liší u každého systému podle toho, z jakých se skládá snímačů a akčních členů a také podle toho, co všechno jde u systému regulovat. Proto je v této práci popsána elektronická regulace vznětových motorů na jednom konkrétním systému a to vstřikování common rail.

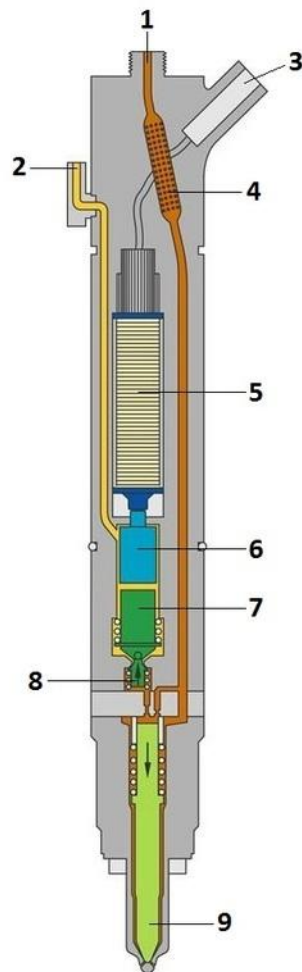


Obrázek 12: Schéma systému common rail (<http://www.autolexicon.net>)

### 6.1.1 Popis systému

Common rail je systém přivádějící palivo do motoru. Jeho hlavní odlišnost oproti jiným systémům je vysokotlaký zásobník (rail), který vydrží vysoký tlak pumpy, a díky tomu je vytváření tlaku odděleno od vstřikování. Je většího průměru, aby v něm v důsledku úbytku vstřikovaného paliva nedocházelo ke kolísání tlaku. Tlak v zásobníku je vytvářen nezávisle na otáčkách motoru a vstřikované dávce. Poslední čtvrtá generace dosahuje tlaku 2 500 barů. Vysoký tlak klade velké nároky na vysokotlaké čerpadlo a vedení. Výhody spočívají především v tom, že při vysokém tlaku a rozdělení vstřikované dávky dosáhne se stejnou dávkou paliva nižších emisí, nižší hlučnosti, vyššího výkonu a točivého momentu. Přispívá k tomu i fakt, že v zásobníku je konstantní tlak, jenž nekolísá ani při maximálním zatížení.

Druhá generace vstřikování common rail používala solenoidové trysky, které byly ovládané elektromagnetickou cívkou. Solenoidové trysky kvůli pomalým reakcím na řídicí impulzy umožňovaly rozdělení jedné vstřikované dávky na maximálně 3 části: předvstřík, hlavní vstřík a dovstřík (u první generace jen předvstřík a hlavní vstřík). Od třetí. generace vstřikování common rail využívá Piezo-Inline vstřikovače (obr. č. 13). Rychlost odezvy Piezo-Inline vstřikovačů je 0,001s a využívají se pro rozdělení dávky na 5 a více částí. Kromě toho, že jsou rychlejší, jsou i přesnější. (eluc.kr-olomoucky.cz)



**Obrázek 13 - piezoelektricky ovládaný vstřikovač**

Legenda obr. 13: přípojka vysokého tlaku ; 2 - zpětné vedení paliva ; 3 - konektor ; 4 - filtr ; 5 - piezoelement ; 6 - spojovací píst ; 7 - píst ventilu ; 8 - řídicí ventil ; 9 - jehla trysky

(eluc.kr-olomoucky.cz)

Hlavním regulačním kritériem vznětových motorů je takové ovládání vstřikovacího systému, aby se vstříkovalo jen tolik paliva, kolik odpovídá množství nasátého vzduchu v dané chvíli. Je možné vstříknout paliva o něco více, následně poté dojde k mírnému nárůstu výkonu, ale vzrostou emise CO, HC a zvýší se obsah pevných částic ve výfukových plynech. Dalším kritériem je regulace recirkulace výfukových plynů kvůli snížení emisí NO<sub>x</sub>. Pokud je motor přepínaný, stává se neméně důležitou také regulace tlaku turbodmychadla. (Štěrbá 2010)

### **6.1.2 Základní dávka paliva**

Požadovaný výkon se u vznětových motorů reguluje kvalitativně, tedy množstvím vstříknutého paliva. Závisí na momentálních otáčkách motoru a požadovaném výkonu, tj. úhlu sešlápnutí plynového pedálu. Tato hodnota je předběžně vypočtené množství, které slouží jako základ pro další korekce.

### **6.1.3 Maximální přípustná dávka paliva**

Kdyby se motor řídil jen základní dávkou paliva, byl by funkční, ale nedokázal by splnit přísné limity emisí škodlivých výfukových plynů. Tato hodnota se reguluje podle množství vzduchu nasátého do motoru (MAF senzor). Při chodu motoru tedy řídicí jednotka nejdříve spočítá základní hodnotu dávky paliva a potom ji porovná s přípustným maximem podle množství nasátého vzduchu. Pokud je hodnota vyšší, řídicí jednotka ji sníží na maximální přípustnou velikost.

### **6.1.4 Korekce dávky paliva**

Po určení maximální přípustné dávky paliva se provádí ještě menší korekce jako na příklad:

- korekce podle teploty paliva – když se zvýší teplota paliva, budeme ho vstříkovat více, aby se kompenzovala změna jeho hustoty.
- korekce podle teploty motoru – při studeném startu musíme vstříknout více paliva, abychom dosáhli stejného výkonu jako u teplého motoru. Je to kvůli tomu, že část paliva zkondenzuje, hned se nevznítí a shoří ve válci až později.

### **6.1.5 Stanovení předvstříku**

Okamžik předvstříku je závislý na otáčkách motoru a velikosti aktuálně vstřikované dávky paliva. Pokud je správně nastaven, umožní lepší prohoření paliva.

### **6.1.6 Řízení volnoběhu**

Řízení volnoběhu u vznětových motorů probíhá obdobně jako u zážehových s tím rozdílem, že u zážehových motorů se regulace provádí velikostí dávky paliva místo obtoku škrticí klapky nebo předstihu.

### **6.1.7 Řízení EGR**

Recirkulace výfukových plynů (EGR) používáme ke snížení škodlivých emisí  $\text{NO}_x$ , které jsou u vznětových motorů spolu s pevnými částicemi dominantní znečišťující složkou. EGR ventil ovládáme v závislosti na otáčkách motoru a velikosti dávky paliva, případně jej ještě kontrolujeme pomocí zpětné vazby čidla  $\text{NO}_x$  a lambda sondy. U osobních automobilů není nutná činnost EGR ventilu při všech režimech chodu, ale jen při částečném zatížení. Přesná činnost je nutná z toho důvodu, že pokud je EGR v činnosti i při plném zatížení, snižuje dosažitelný výkon motoru. (dieselnets.com)

### **6.1.8 Meziválcová korekce vstříku**

U vznětových motorů je důležitá meziválcová korekce vstříku. V průběhu životnosti vozu, ale i ve výrobě, dochází k tomu, že vstřikovače při stejné velikosti elektrického pulzu nevstříknou stejnou dávku paliva. U vznětových motorů k tomu sice dochází také, ale zde se tento problém vyřeší stálou meziválcovou korekcí a malé odchylky v dávce nejsou kritické. U vznětových motorů, které jsou výkonově řízeny velikostí dávky paliva, se i malá odchylka hned projeví nerovnoměrností chodu motoru a většími vibracemi.



Pro správnou korekci tedy řídicí systém musí sledovat nerovnoměrnost chodu motoru. K tomu použijeme buď snímač otáčení motoru (vznětové motory z tohoto důvodu používají poměrně velký počet impulsů na snímači na jednu otáčku) nebo použijeme akcelerometr, který snímá příčné vibrace celého motoru. (Štěrba 2010)

### **6.1.9 Lambda regulace**

Lambda regulace u zážehových motorů funguje podobně jako u vznětových. Rozdíl je v tom, že u zážehových regulujeme počátek vstřiku. Časově předsunutý počátek vstřiku vede k prodloužení prodlevy vznícení, zvyšuje teplotu spalovacího prostoru a tím emise oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>). Opožděný začátek vstřiku zase může způsobit neúplné spálení směsi a tím i neúplné spálení uhlovodíků (HC). Spalování se také musí dokončit dřív, než dochází k otevření výfukového ventilu. Protože je zde protichůdná závislost HC a NO<sub>x</sub>, a je vyžadována co nejmenší tolerance počátku vstřiku. (Štěrba 2010)

## 7 ZÁVĚR

Vývoj elektroniky osobních automobilů za posledních 20 let udělal obrovský pokrok a dnes již jsou spalovací motory na takové úrovni, že už se v podstatě jen optimalizuje spotřeba a emise škodlivých plynů. Výrobci se předhánějí především v tom, kdo nabídne vyšší komfort a lepší elektrickou výbavu vozidla. Z toho důvodu jsou dnes nedílnou součástí automobilů řídicí jednotky jednotlivých systémů, které mezi sebou vzájemně komunikují a sdílejí informace. Díky této provázanosti, kdy se data odesílají v reálném čase, jsou výrobci schopni přesně ovládat v automobilu vše od chodu motoru, ovládání automatické převodovky a protiblokovacího systému až po komfortní funkce jako hlídání jízdního pruhu, adaptivní tempomat nebo v dnešní době se rychle rozvíjející autonomní řízení, které je zatím stále ve fázi vývoje.

Ve své práci jsem se zaměřil na vývoj spalovacích motorů a řídicích jednotek, jež je ovládají, a na popis algoritmů regulace těchto motorů. Tímto chci poukázat na to, jak je tato regulace složitá a propracovaná. Dále jsem zde popsal hardware a software řídicích jednotek, abych nastínil, jak řídicí jednotky motoru fungují a jaká je jejich architektura.

Současným trendem je přede vším přesun kontroly nad vozem od řidiče směrem k "chytrým" systémům vozidla. Ty slouží ke zvýšení hospodárnosti provozu vozidla, usnadnění ovládání a zvýšení bezpečnosti. I když jsou tyto systémy na velmi vysoké úrovni, zatím je stále lidský faktor nejdůležitějším činitelem, systémy mu jen pomáhají, aby se nemusel starat o tolik věcí a věnoval více pozornosti okolnímu provozu.

Tato práce může posloužit těm, kteří se chtějí seznámit s principy fungování elektronických řídicích jednotek, s jejich konstrukcí a nároky, jež jsou na ně kladeny, a lze ji také využít jako přehled základních regulovatelných veličin u spalovacích motorů.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BAUER, František. *Traktory a jejich využití*. 2. vyd. Praha: Profi Press, 2013. ISBN 978-80-86726-52-6.
2. VLK, František. *Elektronické systémy motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2002. ISBN 8023872826.
3. ŠTĚRBA, Pavel a Jiří ČUPERA. *Autoelektronika: elektronické systémy ve vozidlech, jejich propojení, diagnostika, základní nastavení, seřízení a ovlivnění jejich funkce*. Brno: Computer Press, 2010. Rady a tipy pro řidiče (Computer Press). ISBN 9788025124147.
4. ČUPERA, J. -- ŠTĚRBA, P. *Automobily*. 1. vyd. Brno: Avid, 2007. 195 s. ISBN 978-80-903671-9-7.
5. ŠTĚRBA, P. -- ČUPERA, J. -- POLCAR, A. *Automobily - Diagnostika motorových vozidel II*. 1. vyd. Brno: Avid, s.r.o., 2011. 181 s. ISBN 978-80-87143-19-3.
6. VÉMOLA, A. *Diagnostika automobilů I*. 1. vyd. Brno: Littera, 2006. 127 s. ISBN 80-85763-31-1.
7. VÉMOLA, A. *Diagnostika automobilů II*. 1. vyd. Brno: Littera, 2006. 82 s. ISBN 80-85763-32-X.
8. POŠTA, Josef. *Oprávenství a diagnostika II: pro 2. ročník UO Automechanik*. Praha: Informatorium, 2002. ISBN 8086073882.
9. POŠTA, J. *Oprávenství a diagnostika III: pro 3. ročník UO Automechanik*. 1. vyd. Praha: Informatorium, 2003. 187 s. ISBN 80-7333-017-2.
10. VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel: výkon vozidla, brzdné vlastnosti, převodová ústrojí, řízení, geometrie kol, tlumiče a pružiny, říditelnost a ovladatelnost, životnostní zkoušky, motor, zapalování, elektronické systémy*. Brno: Prof.Ing.František Vlk,DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2001, 576 s. ISBN 80-239-3717-0.
11. ISERMANN, Rolf. *Engine Modeling and Control: Modeling and Electronic Management of Internal Combustion Engines*. Springer, 2014. 637 s. ISBN 9783642399336.
12. MARTYR, A J. -- PLINT, M A. *Engine testing theory and practice*. 3. vyd. Oxford: Burlington, MA, 2007. 442 s. ISBN 978-0-7680-1850-9.

13. infineon.com, *XC2200 Family (Body)*, Online [cit. 2017.03.04], dostupné na <http://www.infineon.com/cms/de/product/microcontroller/16-bit-c166-microcontroller/xc2200-family-body/channel.html?channel=ff80808112ab681d0112ab6b655c0807>
14. net-auto.cz, *Snímače klepání*, Online [cit. 2017.03.11], dostupné na <http://net-auto.cz/moodle/mod/resource/view.php?r=794>
15. Prezentace HR Carsoft, *Základy komunikace EDC*, Ing. Martin Richter, [cit. 2017.02.11]
16. publi.cz, *Elektrické zapalování*. Online [cit. 2017.03.22], dostupné na: <https://publi.cz/books/160/06.html>
17. Auto.cz, EGR ventil: *Postrach moderních motorů*, Online [cit. 2017.03.27] dostupné na: <http://www.auto.cz/egr-ventil-postrach-modernich-motoru-k-cemu-vlastne-slouzi-a-proc-je-tak-problemovy-jednou-z-moznosti-jak-snizit-u-motoru-103380>
18. autolexicon.net, *EGR (Exhaust Gas Recirculation)*, Online [cit. 2017.03.05], dostupné na: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/egr-exhaust-gas-recirculation/>
19. Eluc.kr-olomoucky.cz, *Vstříkovací systém Common Rail*, Online [cit. 2017.03.13], dostupné na: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1469>
20. Dieselnet.com, *Exhaust gas recirculation*, Online [cit. 2017.03.20], dostupné na [https://www.dieselnet.com/tech/engine\\_egr.php](https://www.dieselnet.com/tech/engine_egr.php)
21. Prezentace *Úvod do systémů distribuce informací*, Čupera Jiří, doc. Ing., Ph.D. [cit. 2017.03.05]]

## 9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: EDC15 .....	9
Obrázek 2: Konstrukce řídicí jednotky EDC .....	12
Obrázek 3: obsah paměti EEPROM řídicí jednotky EDC 15 .....	15
Obrázek 4: Schema řídicí jednotky EDC15 .....	16
Obrázek 5: pole charakteristik mechanické regulace předstihu.....	17
Obrázek 6: pole charakteristik elektronické regulace předstihu .....	18
Obrázek 7: výpočet doby vstříku .....	20
Obrázek 8: Výpočet bodu zážehu .....	22
Obrázek 9: relativní množství škodlivých plynů pro různé hodnoty lambda ( <a href="http://www.gsxr.wz.cz">http://www.gsxr.wz.cz</a> ).....	24
Obrázek 10: Graf mechanické a elektronické regulace klepání.....	25
Obrázek 11: EGR ventil.....	27
Obrázek 12: Schéma systému common rail ( <a href="http://www.autolexicon.net">http://www.autolexicon.net</a> ) .....	29
Obrázek 13 - piezoelektricky ovládaný vstříkovač.....	30

## 10 SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1: Vývoj řídicích jednotek od firmy BOSCH

Tabulka č. 2 Vybrané technické parametry procesorů řady Tricore XC2200