

Jihočeská univerzita
v
Českých Budějovicích
Zemědělská fakulta

Studijní program: Zemědělská specializace

Studijní obor: Dopravní a manipulační prostředky

Katedra: Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Vedoucí katedry: doc. RNDr. Petr Bartoš, PhD.

Bakalářská práce

**Simulace jízdních režimů vozidla pro stanovení
optimálního provozu motoru**

Vedoucí práce: Ing. Václav Vávra, PhD.

Autor: Petr Hart, DiS.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr HART**
Osobní číslo: **Z12924**
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační prostředky**
Název tématu: **Simulace jízdních režimů vozidla pro stanovení optimálního provozu motoru.**
Zadávací katedra: **Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky**

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je simulace jízdních režimů vozidla pro stanovení optimálního provozu motoru z hlediska spotřeby paliva s cílem popisu činnosti řídicí jednotky motoru pro úpravu jednotlivých pokynů pro akční členy motoru.

V současné době se pro řízení dějů ve spalovacím motoru používá elektronický systém založený na součinnosti akčních členů, které dostávají povely od řídicí jednotky na základě informací změřených jednotlivými snímači. Dodávka množství paliva je určována řídicí jednotkou na základě informací od snímačů, které snímají provozní hodnoty a hodnoty, které ovlivňuje řidič. Jednotlivé hodnoty lze zjistit na základě diagnostických přístrojů, které zobrazují naměřené hodnoty snímači a hodnoty určené řídicí jednotkou. Tyto informace se používají při diagnostice a určování závad, ale mohou mít i jiné využití jako například provoz vozidla v ekonomickém režimu za pomoci ovládní automatické převodovky, umožnění jízdy s použitím tempomatu apod.

Mnoho řidičů při provozu vozidla s manuální převodovkou ovšem nemá přehled o systému řízení provozních režimů motoru a tím mnohdy volí nevhodný způsob jízdy z hlediska spotřeby pohonných hmot. Spotřeba pohonných hmot není už jen ekonomickou otázkou, zvláště vzhledem k cenové hladině, ale další neméně významným hlediskem je vliv na životní prostředí. Vhodnou volbou způsobu jízdy může řidič ovlivnit nejen ekonomiku provozu vozidla, ale i vliv na životní prostředí.

Zásady pro vypracování:

1. vytvořit přehled systému řízení režimů motoru a popis jejich funkce,
2. posouzení jednotlivých systémů používaných pro spalovací motory,
3. provést měření spotřeby paliva u vybraného vozidla při současné simulaci jízdních režimů,
4. na základě naměřených a zpracovaných hodnot zpracovat doporučení pro ekonomický způsob jízdy vozidla.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah pracovní zprávy: **50 - 60 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Gscheidle, R. a kol.: Příručka pro automechanika, SOBOTÁLES, Praha 2001;
Motejl, V., Horejš, K.: Učebnice pro řidiče a opraváře automobilů. III. díl, LITTERA, Brno 2011;
Vlk, F.: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel, VLK, Brno 2001;
Avid Brno: Automobily 8, diagnostika motorových vozidel 2, 2012;


Dle potřeby firemní literatura

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Vávra, Ph.D.**


Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Datum zadání bakalářské práce: **17. prosince 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2013**


prof. Ing. Milošlav Šoch, CSc.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDELSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studená 13
370 05 České Budějovice


doc. Ing. Antonín Jelínek, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 17. prosince 2012

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu bakalářské práce, Ing. Václavu Vávrovi, Ph.D., za jeho rady a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci jsem vykonal samostatně pouze s použitím parametrů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v soulasu s §47b zákona č.111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách.

V Českých Budějovicích 14. 11. 2013

.....

Podpis

Abstrakt

Tato práce se zabývá popisem činnosti řídicí jednotky motoru v různých režimech spalovacího motoru, které byly záměrně nasimulovány na základě vybraných situacích z běžného provozu. Práce je rozdělena na 2 základní části.

První část je teoretická a má za úkol vytvořit přehled o palivové soustavě spalovacího motoru a její činnost v součinnosti s řídicí jednotkou motoru.

Druhá část je zaměřena na měření spotřeby paliva jednotlivých režimech motoru. Na základě naměřených hodnot bude sepsáno doporučení pro řidiče pro hospodárnou jízdu a tím zmenšení negativního vlivu na životní prostředí.

This paper deals with a description of the activities of the engine control unit in different modes of internal combustion engine, which were intentionally simulated on the basis of the selected situations from a normal operation. The work is divided into two basic parts.

The first part is theoretical one and aims to create an overview of the fuel system of an internal combustion engine and its activities in synergy with the engine control unit.

The second part is focused on the measurement of fuel consumption of the individual modes of the engine. Based on the measured values will be written recommendation to the driver for economical driving and thereby reducing the impact of negative impact on the environment.

Klíčová slova: Vstřikování; Motronic M 1.7.2; volnoběh; částečný výkon; plný výkon; jízda z kopce

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Literární přehled	8
2.1. Paliva pro zážehové motoru	8
2.1.1. Druhy paliv pro zážehové motory	8
2.1.2. Vliv paliva pro zážehové motory na životní prostředí	10
2.1.3. Výroba paliv pro zážehové motory	10
2.1.4. Tvorba směsi paliva a vzduchu	14
2.2. Vstřikování paliva zážehových motorů	15
2.2.1. Princip regulace vstřikování.....	16
2.2.2. Základní schéma řízení vstřikování	16
2.2.3. Druhy vstřikování zážehového motoru	17
2.3. Paliva pro vznětové motory.....	25
2.3.1. Druhy paliv pro vznětové motory	25
2.3.2. Vlastnosti paliv pro vznětové motory	25
2.4. Palivové soustavy vznětového motoru	26
2.4.1. Druhy palivové soustavy vznětového motoru.....	26
3. Cíl práce.....	34
4. Metodika	35
4.1. Laboratorní měření	35
4.1.1. Parametry systému Motronic M 1.7.2.....	36
4.1.2. Použité přístroje	38
4.1.3. Zvolené jízdní režimy na panelu	38
4.1.4. Nastavené hodnoty	39
4.2. Jízdní zkouška	42
4.2.1. Měřené režimy jízdy z kopce	43
4.2.2. Nastavené veličiny	43
5. Výsledky a diskuze	45
6. Závěr	48
Seznam citované literatury a použitých pramenů	50

1. Úvod

V současné době se pro řízení dějů ve spalovacím motoru používá elektronický systém založený na součinnosti akčních členů, které dostávají povely od řídicí jednotky na základě informací změřených jednotlivými snímači. Dodávka množství paliva je určována řídicí jednotkou na základě informací od snímačů motoru, které snímají provozní hodnoty a hodnoty ovlivněné řidičem. Jednotlivé hodnoty lze zjistit na základě diagnostických přístrojů, které zobrazují naměřené hodnoty snímači a hodnoty určené řídicí jednotkou. Tyto informace se používají při diagnostice a určování závad, ale mohou mít i jiné využití, jako například provoz vozidla v ekonomickém režimu při ovládání automatické převodovky, jízda s tempomatem apod.

Mnoho řidičů při provozu vozidla s manuální převodovkou ovšem nemá přehled o systému řízení provozních režimů motoru, a tím mnohdy volí nevhodný způsob jízdy z hlediska spotřeby pohonných hmot. Spotřeba pohonných hmot není už jen ekonomickou otázkou, zvláště vzhledem k cenové hladině, ale další neméně významným hlediskem je vliv na životní prostředí. Vhodnou volbou způsobu jízdy může řidič ovlivnit nejen ekonomiku provozu vozidla, ale zmenšit negativní vliv na životní prostředí.

2. Literární přehled

Převážná většina automobilů a strojů je poháněna spalovacím motorem. Jedná se o tepelný zážehový nebo vznětový motor, který převádí chemickou energii v podobě paliva na mechanickou práci. Pro svou základní funkci potřebuje směs paliva a vzduchu.

2.1. Paliva pro zážehové motoru

V palivu je zásoba energie pro spalovací motor. V průběhu historie se používaly různé druhy kapalných i plyných paliv, např.: metyl, etyl, benzín, svítiplyn aj. Palivo musí být hořlavina ideálně I. třídy. Od roku 2000 se používají místo olovnatých bezolovnaté benzíny, které mají snížený obsah olova. To je nahrazeno draslíkem. Částečný ekologický problém ale zůstal, protože normy sice snížili obsah olova v benzínu, ale jen během 20 let vzrostl počet vozidel se zážehovým motorem o cca 800%, takže sice v jednom litru benzínu je méně olova, ale vozidel přibýlo. Tím pádem ekologický problém olova např.: v ovoci poblíž silnic a dálnic, vidíme ovocné sady u dálnice D1 na přibližně 15 km směrem na Brno, zůstal. [2]

2.1.1. Druhy paliv pro zážehové motory

- a) *kapalná*: např. automobilový benzín, alkoholy aj.
- b) *plynná*: např. zkapalněný ropný plyn propan-butan (LPG), stlačený zemní plyn (CNG), vodík aj. [4]

Benzín má jednotlivé vlastnosti, které musí být ve vzájemné rovnováze. Jsou to:

- a) *Oktanové číslo* je jedna ze základních charakteristik automobilových benzínů, vyjadřující odolnost paliva vůči detonačnímu spalování (tzv. „klepání“) při kompresi ve válci zážehového spalovacího motoru. Je součástí označení paliva, uvádí se např. na stojanech benzínových pump. Oktanové číslo paliva vyjadřuje procentuální obsah izooktanu (přesněji 2,2,4 trimethylpentanu) ve směsi s n-heptanem, která je proti samozápalu stejně odolná jako

zkoumané palivo. Čistý n-heptan má definicí určeno oktanové číslo 0, čistý izooktan 100. Oktanové číslo však může mít i hodnotu vyšší než 100 (lepší antidetonační odolnost než čistý izooktan). Stanovení oktanového čísla se provádí ve zkušebním motoru porovnáním s chováním směsi izooktanu a n-heptanu. Měří se dvěma způsoby. První způsob je výzkumnou metodou při 600 otáčkách za minutu pro popis chování motoru v městském provozu a časté akcelerace. Druhý způsob je motorovou metodou při 900 otáčkách za minutu pro popis chování motoru na dálnici. Oktanové číslo motorovou metodou je u běžných benzínů o cca 10 jednotek nižší. Oktanové číslo záleží na složení automobilového benzínu (bodu varu a struktuře přítomných uhlovodíků), případně je možné jej zvýšit antidetonačními přísadami. [8]

- b) *Výhřevnost* - energie získatelná spálením jednotkového množství (obvykle 1 kg) paliva za vzniku spalin. Největší výhřevnost paliv pro zážehové motory má vodík, o 100 % vyšší než benzín, ale díky vyšším nárokům na výrobu, skladovatelnost a samotné spalování se nepoužívá. Příklady výhřevnosti některých paliv jsou uvedeny v tabulce 1. [8]

Palivo	Výhřevnost [MJ.kg-1]
Vodík	95,6
Dřevoplyn	15,6
Benzín	46,4
Bioplyn	20 – 25
LPG	46,5 – 94
Zemní plyn	34

Tabulka 1 Výhřevnost určitých paliv[1]

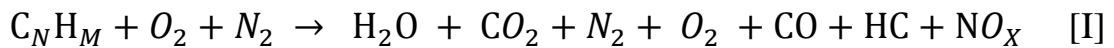
Dřevoplyn se v současné době nepoužívá pro pohon vozidel z důvodu nízké výhřevnosti, vůči benzínu jí má o 66% nižší, a obtížnější regulaci emisí.

- c) *Obsah nespalitelných látek* – tyto látky mohou vytvářet úsady v motoru a tím snižovat životnost mechanických i elektronických součástí motoru. [8]
- d) *Korozivní účinky na palivovou soustavu* – benzín může působit korozivně na palivovou soustavu, proto můžeme použít různá aditiva pro snížení těchto nežádoucích účinků. [8]

- e) *Odpařitelnost* – benzín, pokud se neodpaří, pak nehoří. Proto hodnotíme odpařitelnost benzínu. [8]
- f) *schopnost dlouhodobého skladování* – optimální doba skladování paliva je maximálně 6 měsíců. Tato doba byla dříve vyšší, ale v dnešní době se do automobilového benzínu přidává povinně rostlinná složka paliva, líh. Ten nám v palivu váže na sebe vodu a tím snižuje dobu skladovatelnosti. [8].

2.1.2. Vliv paliva pro zážehové motory na životní prostředí

Paliva jsou uhlovodíky. Ty vznikly rozkladem živočišné tkáně bez přísunu vzduchu. Za miliony let z této tkáně vznikla ropa, ze které pak člověk v rafinériích vyrobil palivo. Palivo se vzduchem ($N_2 + O_2$) při vysoké teplotě vzplane a hoří. Toto nám zobrazuje rovnice I.



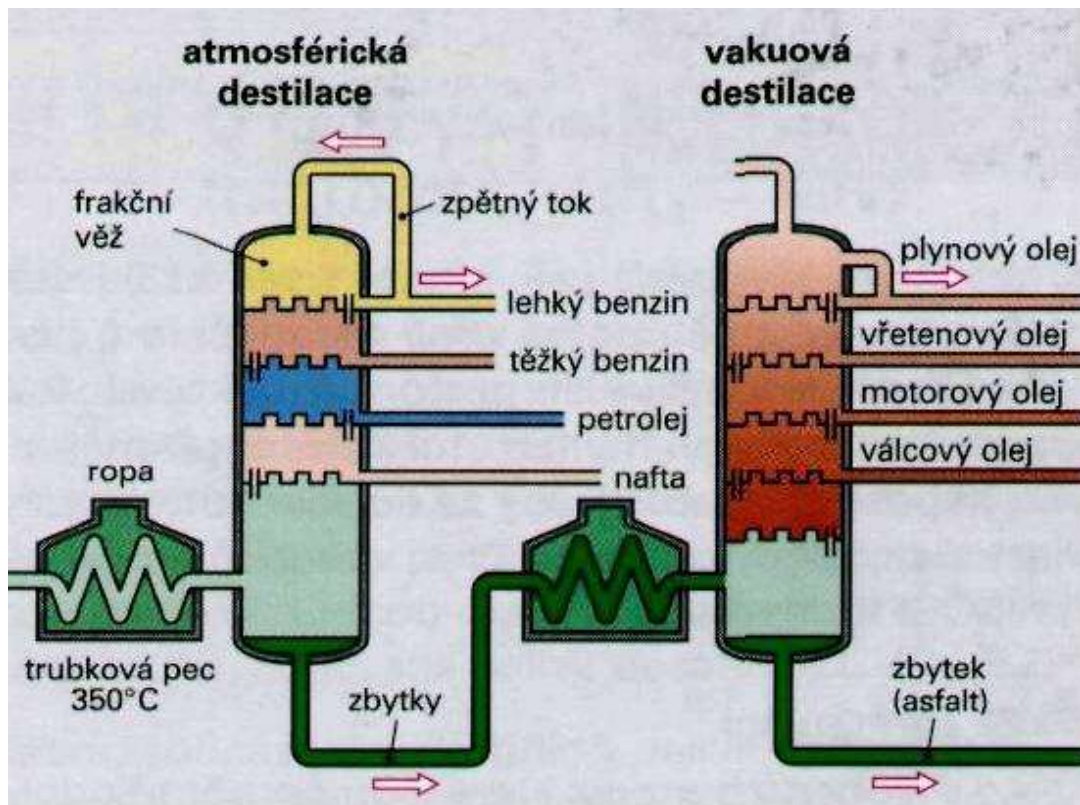
Rovnice I. Hoření paliva: $C_N H_M$ – benzíny, O_2 – kyslík, N_2 – dusík, H_2O – voda, CO oxid uhelnatý, CO_2 – oxid uhličitý, HC – nespálené uhlovodíky, NO_x – oxidy dusíku [8]

Hořením vznikají emise, které nazýváme u spalovacích motorů výfukovými plyny. Mezi nejškodlivější plyny patří oxid uhelnatý CO , který se po vdechnutí sváže na hemoglobin v krvi a působí negativně v plicích, oxid uhelnatý, který nám vytváří skleníkový efekt (zahřívání planety Země) a oxidy dusíku, které způsobují kyselou dešť. [1]

2.1.3. Výroba paliv pro zážehové motory

A) automobilový benzín

Automobilový benzín pro zážehové motory se vyrábí v rafinériích jako základní palivo s dalšími úpravami. Tento proces výroby naznačuje obrázek 1.

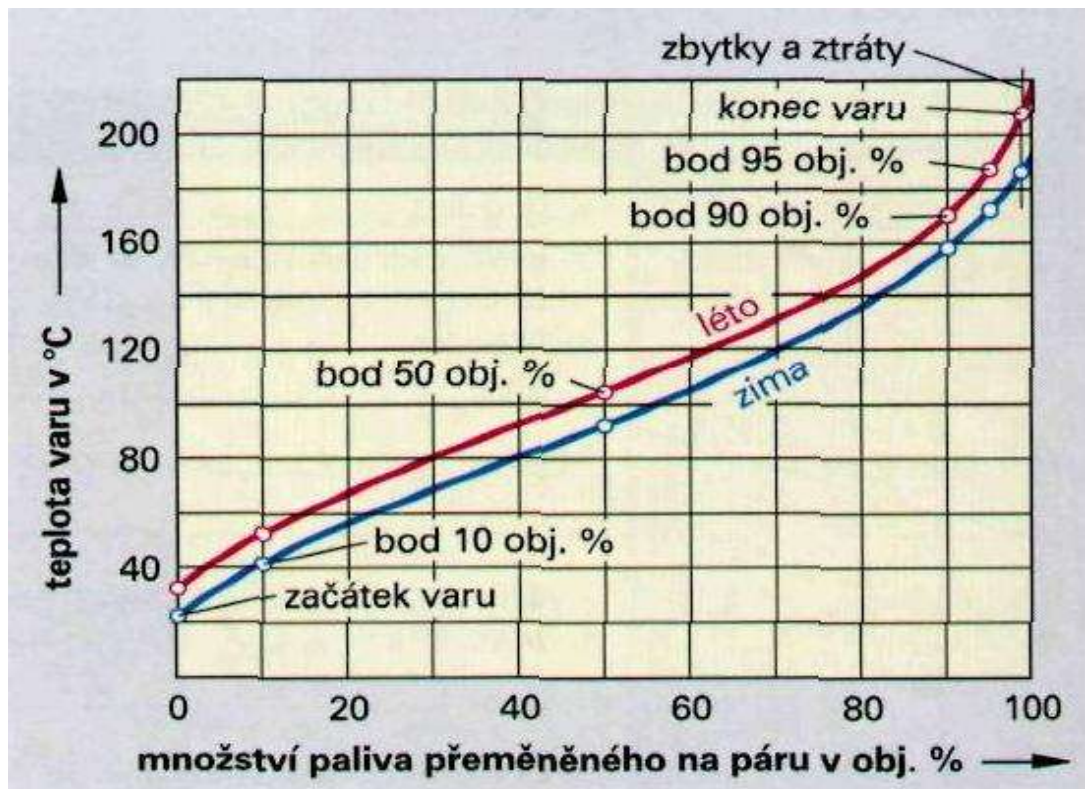


Obrázek 1 Proces výroby automobilových paliv [1.]

Z obrázku vyplývá, že ropa se zahřeje v trubkové peci na teplotu 350°C a po té je dále zahřívání při procesu atmosférické destilace. Čím více se musí ropa dostat výše ve frakční věži (zahřát na vyšší teplotu), tím zvyšuje náklady na výrobu. Proto stojí vyrobit jeden litr benzínu méně než jeden litr nafty, ale na čerpací stanici je cena přibližně stejná z důvodu vyšší spotřební daně na litru motorové nafty.[3]

Automobilový benzín se skládá z:

- a) *základního paliva*, získaného frakční destilací ropy, tedy kondenzací par z ropy v rozmezí teploty do 180°C. Závislost množství přeměněného paliva na teplotě varu značí obrázek 2. [6]



Obrázek 2 Destilační křivka benzínu [II.]

- b) *úpravou paliva*, která se na automobilový benzín se provede změnou molekul paliva, zejména kvůli zvýšení oktanového čísla.[8]

Další paliva pro zážehové motory jsou zejména alternativní paliva s vysokým bodem vznícení. Jejich velká výhoda je možnost výroby z obnovitelných zdrojů proti benzínu z ropy.

Alternativní paliva

Etylalkohol (líh)

Základní palivo se získá se kvašením obilí a následnou destilací. Výhodou proti benzínu je oktanové číslo přes 100, tedy lepších antidetonačních vlastností než u klasického bezolovnatého benzínu např.: Natural 95. Nevýhodou toho paliva je kyselost s negativním vlivem na mechanické a mazací vlastnosti motoru. [8]

LPG

Vyrábí se zkapalněním propan-butanu, který je vedlejším produktem při destilaci ropy. Výhoda LPG je nízká cena proti benzínu, tím pádem nižší provozní náklady, ale s vyšší pořizovací cenou zástavby tohoto systému do vozidla. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena úpravy palivové soustavy motoru, nemožnost parkování v parkovacích domech, nutnost revizí tlakových částí systému a možnost vyššího opotřebení mechanických částí motoru. [8]

Zemní plyn (CNG)

Získá se z podzemních ložisek těžbou, vyčištěním a odsířením. Výhoda zemního plynu spočívá v ceně paliva a spotřebě proti benzínu, ale s vyšším opotřebením motoru, ve vyšší pořizovací ceně komponent palivového systému, nutnosti revizí tlakových částí systému a nemožnosti parkování v parkovacích domech. [8]

Bioplyn

Vzniká při kvašení biomasy, například v bioplynových stanicích. Jeho výhodou je nízká cena nebo získání dotace na výrobu. Nevýhodou jsou zvýšené nároky na odolnost motoru díky vysoké kyselosti paliva. Proto se toto palivo používá např.: u generátorů napětí přímo v bioplynové stanici.[8]

Pokud by řidič začal používat alternativní paliva zážehového motoru do svého automobilu určeného pro automobilový benzín, pak musí přistoupit k úpravě součinitele přebytku vzduchu lambda. Alternativní paliva mají jinou výhřevnost než automobilový benzín. Velká nevýhoda alternativních paliv pro zážehové motory je snížená skladovatelnost, zvýšená kyselost směsi a její ulpívání na stěnách válce. Odtud se pak dostane do motorového oleje, který musí být častěji vyměněn. Výhodou je, že vážou kyslík a tím jsou lépe spalovány. Otázkou ale zůstává, zda při spálení alternativních paliv ve spalovacím prostoru nejsou ještě další škodlivé prvky ve spalinách. [8]

2.1.4. *Tvorba směsi paliva a vzduchu*

Vytvoření dokonale promísené směsi paliva se vzduchem ve správném poměru je pro kvantitativní řízení bohatosti směsi to nejzásadnější pro maximální využití energie z paliva. Množství paliva ve vzduchu je vyjádřeno způsoby: [8]

1) Směšovací poměr

Pro maximální využití energie uchované v palivu musí být přesně určen poměr vzduchu a paliva pro smísení před samotným zážehem - 1kg benzínu : x kg vzduchu. [2]

Ideální směšovací poměr

Je takový, kdy po spalování nezbude ani vzduch, ani palivo. Pro automobilový benzín je to 1:14,7, tj: 1 kg benzínu na 14,7 kg vzduchu.

2) Součinitel přebytku vzduchu lambda

Tento součinitel je zjišťován porovnáním hodnot obsahu kyslíku ve výfukovém potrubí a okolním prostředí. Pro názornost v rovnici II. je uveden vztah pro porovnání.

$$\lambda = \frac{\text{množství vzduchu motorem nasáté}}{\text{množství vzduchu potřebné}} [-] \quad \text{[II]}$$

Rovnice II. Výpočet součinitele přebytku vzduchu: Je-li $\lambda = 1$, je směšovací poměr 1 kg paliva :14,7 kg vzduchu pro automobilová paliva [1]

Součástí pro kontrolu směšovacího poměru je **kyslíková (lambda) sonda**. Účelem kyslíkové sondy je zjistit obsah kyslíku ve výfukovém potrubí, tedy určit zda je směs bohatá (přebytek paliva), $\lambda < 1$, následkem je zvýšená spotřeba paliva, nebo chudá směs (nedostatek paliva), $\lambda > 1$, následkem je snížený výkon motoru. Pro každý režim spalovacího motoru řídicí jednotka upravuje dobu otevření vstřikovacího ventilu nebo vstřikovaný tlak.

Snímač sondy porovnává množství kyslíku ve výfukovém potrubí a mimo něj. Díky teplotě výfukových plynů a jinému množství kyslíku ve výfukovém potrubí

a mimo něj se indukuje elektrické napětí v hodnotě 0,2 - 0,8V, které je přiváděno do řídicí jednotky, která upraví nastavení akčních členů. [1]

Druhy kyslíkových sond

1. podle konstrukce

- a) skoková
- b) širokopásmová

2. podle vyhřívání

- a) nevyhřívána
- b) vyhřívána

Principem kyslíkové sondy jsou elektrody umístěné v rozdílném prostředí uvnitř a vně výfukového potrubí. Tyto elektrody jsou odděleny keramickým článkem a tak tvoří článek, který vyrábí elektrické napětí do hodnoty 1V. Širokopásmová kyslíková sonda pracuje na principu tzv. čerpacího článku a tím dokáže přesněji měřit množství kyslíku ve výfukových plynech.

Skorová kyslíková sonda může být vyhřívána nebo nevyhřívána, ale měří s velkým dopravním spožděním oproti širokopásmové, která je vždy vyhřívána a díky čerpacímu článku dokáže reagovat rychleji na množství kyslíku ve výfukových plynech. Skoková kyslíková sonda se používá u starších vozidel před katalyzátorem a nebo u vozidel plnicích emisní normy EURO 3 a výše za katalyzátorem.

Širokopásmová vyhřívána kyslíková sonda se používá ve výfukovém potrubí před katalyzátorem u novějších vozidel plnicí emisní normy EURO 3 a výše. Tato sonda je také dražší než skoková kyslíková sonda.

2.2. Vstřikování paliva zážehových motorů

Účelem vstřikování paliva zážehových motorů je docílit přesnějšího nastavení směšovacího poměru než u motorů vybavených karburátorem. Tím se zlepší účinnost motoru tj. vyšší výkon při stejné spotřebě paliva a nižší hladina emisí. Díky nižší hladině emisí, zejména nespáleným uhlovodíkům HC, je možné použít katalyzátor.

Vstřikování pracuje na základní charakteristice řídicího systému, kdy snímače změří množství nasávaného vzduchu na základě přímo snímače pro měření určeného a nebo nepřímo měřením teploty vzduchu, tlaku vzduchu v sacím potrubí, a otáček motoru. Podle hodnot signálů řídicí jednotka elektronická nebo mechanická regulace bohatosti směsi upraví nastavení akčních členů, tj. dobu otevření vstřikovacího ventilu nebo tlak paliva přiváděný ke vstřikovacímu ventilu. Přitom se vytvoří homogenní (promíchanou) směs paliva se vzduchem buď v sacím potrubí nebo přímo ve spalovacím prostoru. Při vstřikování přímo do spalovacího prostoru je možné vytvořit vrstvenou směs, která je bohatější u svíčky, ale celkově je chudá. [3]

2.2.1. Princip regulace vstřikování

Řídicí jednotka motoru porovnává signály snímačů se svými naprogramovanými hodnotami. V případě odchylky vysílá signál na akční člen. Ten posune regulační mechanismus. Signál o práci akčního členu dává snímač zpětné vazby. To se opakuje až do souladu hodnoty na snímači s naprogramovanou hodnotou v řídicí jednotce motoru. Tento vztah naznačuje rovnice III. [5]

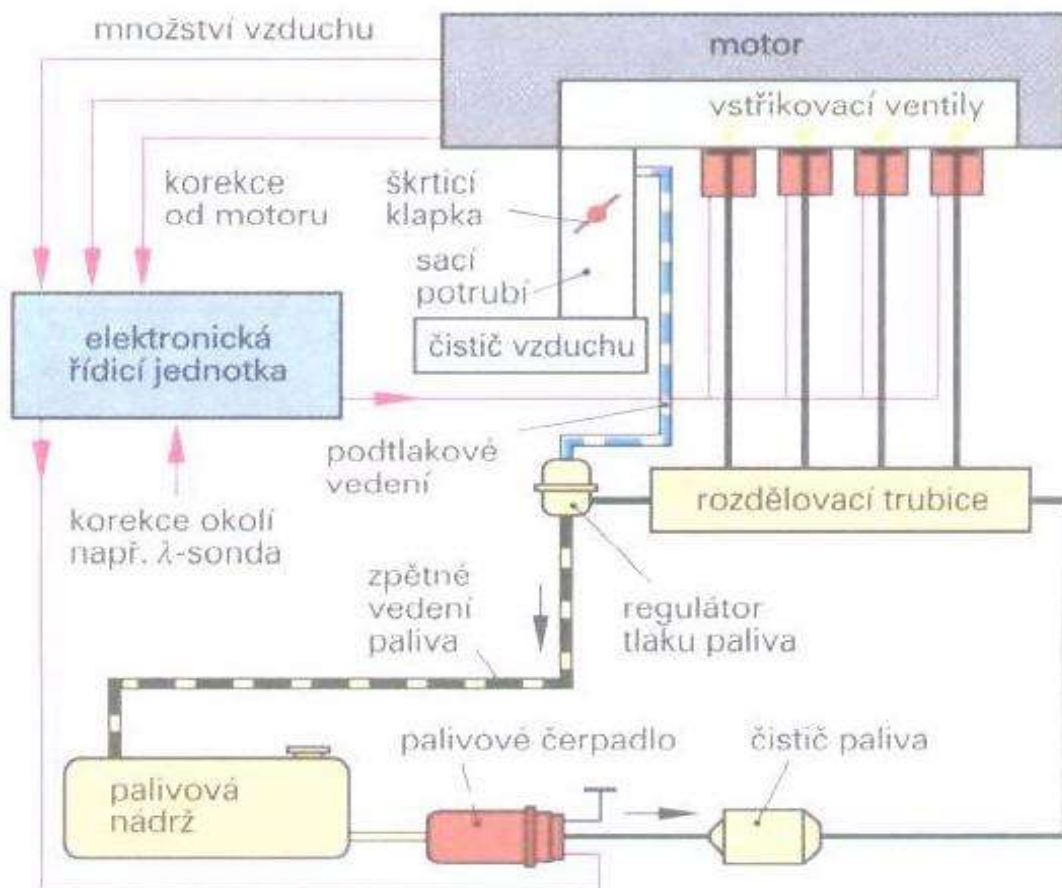
$$\text{Signál snímačů} \rightarrow \frac{\text{Převodník (Řídicí jednotka)}}{\uparrow \leftarrow} \xrightarrow{\hspace{1cm}} \frac{\text{Akční členy}}{\leftarrow \downarrow} \quad \text{[III]}$$

Zpětná vazba

Rovnice III. Základní rovnice řízení [4]

2.2.2. Základní schéma řízení vstřikování

Názorné pochopení rovnice [III] zobrazuje obrázek 3, který ukazuje nejjednodušší elektronické schéma řízení bohatosti směsi. Elektronická řídicí jednotka motoru dostává signály od snímače množství nasávaného vzduchu, snímačů motoru (korekce od motoru) a od škrticí klapky. Podle těchto hodnot nastaví dobu otevření vstřikovacích ventilů. Tato doba je korigována ještě kyslíkovou (lambda) sondou a snímačem klepání motoru. Pro celkové pochopení těchto systémů musíme systém vstřikování rozdělit podle určitých hledisek.



Obrázek 3 Blokové schéma vstřikování s elektronickou regulací [1.]

2.2.3. Druhy vstřikování zážehového motoru

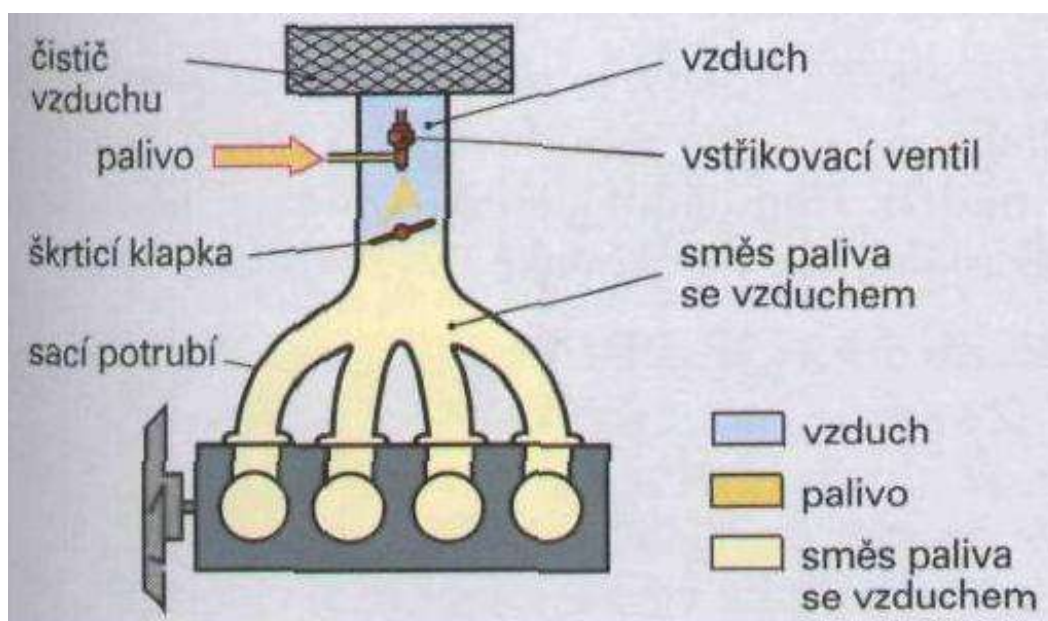
Pro názornost jsem zde umístil přehledné rozdělení vstřikování zážehového motoru.



2.2.3.1. Druhy vstřikování podle počtu míst vstřikování paliva

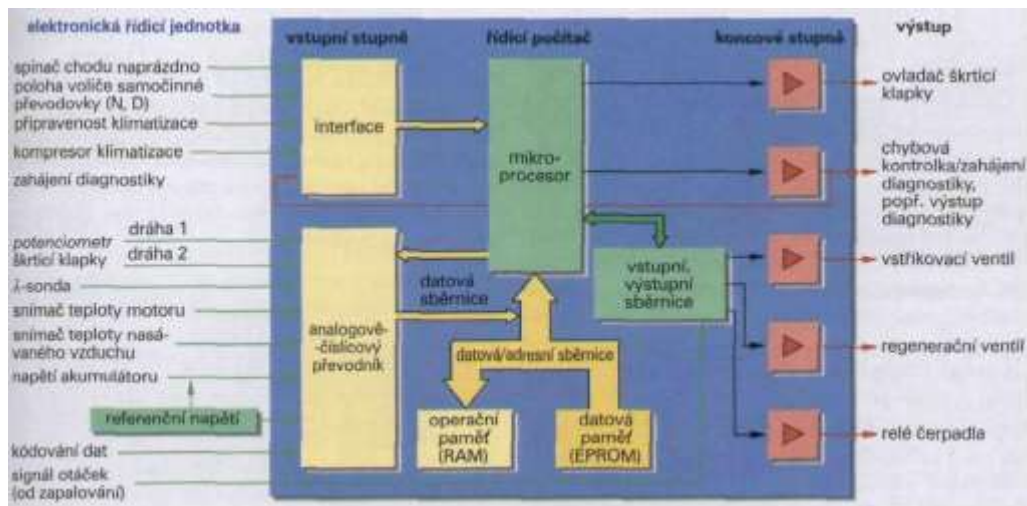
a) jednobodové (SPI)

Jednobodové vstřikování paliva znamená použití jednoho vstřikovacího ventilu umístěného v sacím potrubí. Palivo je jemně rozprášeno pro vlivem přerušovaného vstřikování a prudu nasávaného vzduchu. Výhoda tohoto systému spočívá v efektivnějším využití paliva než u vozidel s karburátorem a použití pouze jednoho vstřikovacího ventilu pro všechny válce.



Obrázek 4 Princip jednobodového vstřikování [1.]

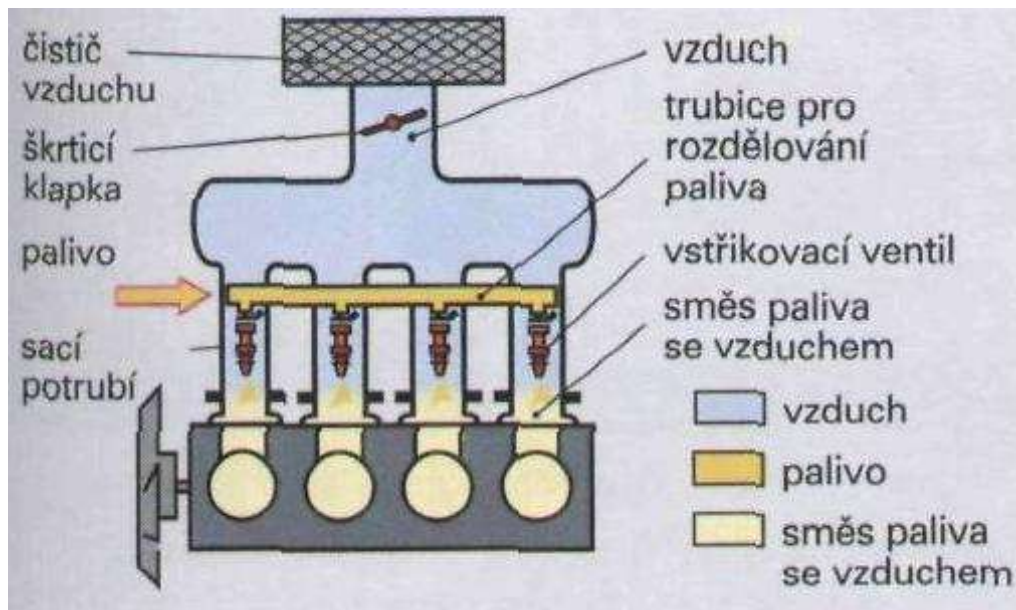
Velká nevýhoda spočívá v nepřesně regulovaném množství paliva při požadavcích na spotřebu benzínu i výkon. Systém musí mít elektronickou regulaci. Na obrázku 5 níže je schéma systému řízení palivového jednobodového vstřikování různých výrobců:



Obrázek 5 Systém řízení jednobodového vstřikování [1.]

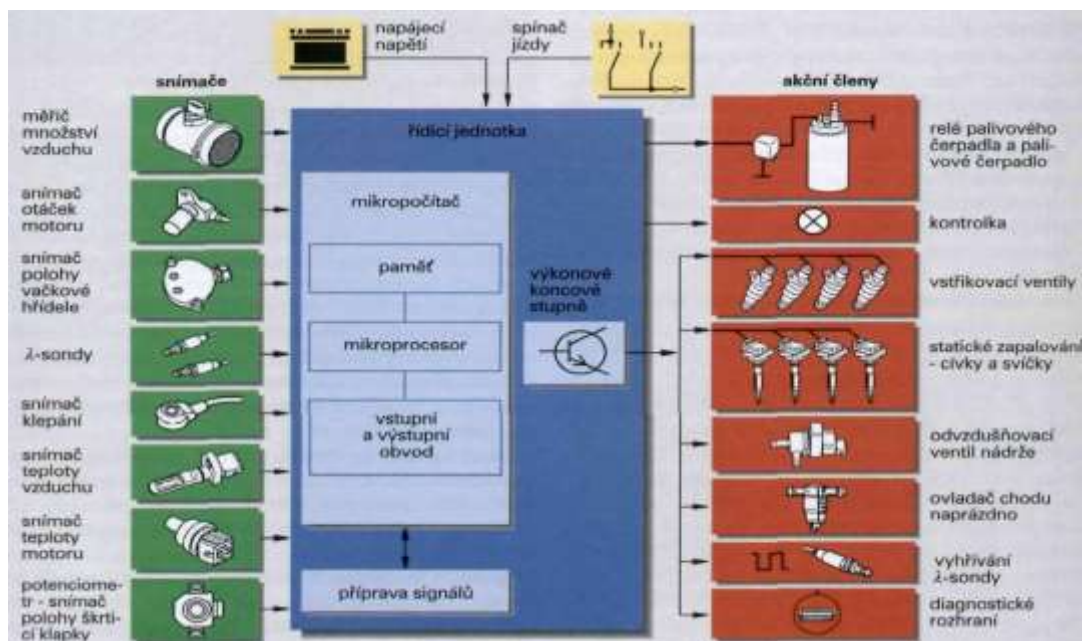
b) vícebodové (MPI)

Vícebodové vstřikování paliva umožňuje dokonalejší promýsení paliva se vzduchem v sacím potrubí popř. přímo ve spalovacím prostoru, než u jednobodové vstřikování. Tento princip zobrazuje obrázek 6. Zároveň i systém regulace nemá takové spoždění jako jednobodové vstřikování paliva. Řízená je doba otevření vstřikovacího ventilu ve správném okamžiku pro každý válec zvlášť nebo je řízen vstřikovací tlak jednotlivých vstřikovacích ventilů. To znamená rychlejší změnu nařízenou řídicí jednotkou motoru (změna jízdního režimu, reakce na signál kyslíkové sondy apod.) a také nejefektivnější využití energie obsažené v palivu, a tím i zvýšení výkonu při možném zmenšení následků na životní prostředí. Nevýhodou tohoto systému je částečná složitost.



Obrázek 6 Princip vícebodového vstřikování [I.]

Tento systém může mít mechanickou nebo elektronickou regulaci, popř. kombinaci. Na mechanickou regulaci bohatosti směsi zážehového motoru má patent firma BOSCH pod názvem K-Jetronic. Ta funguje na principu řídicího pístku, který řídí vstřikovací tlak pro každý válec zvlášť. Tento pístek je spojen pákou se vzdouvací klapkou umístěnou v sacím potrubí a ta se otevírá podle zatížení a otáček motoru. Tato regulace se využívala například ve vozde Volkswagen Golf 1,8l 2. generace nebo Mercedes-Benz třídy E roku výroby 1994-1998. Daleko častější a jednodušší na konstrukci výroby je systém elektronický. Mechanická regulace je nahrazena řídicí jednotkou. Jednotka systém vstřikování řídí elektronicky na základě signálů získaných od snímačů motoru, které následně vyhodnotí a nastaví akční členy podle své datové mapy. Jako zpětná vazba nám slouží kyslíková sonda a snímač klepání. Ten pracuje na základě piezoelektrického jevu, kdy při deformaci krystalu křemíku se na jeho hrotech objeví napětí. Obrázek 7 zobrazuje zjednodušené schéma elektronického řízení vícebodového vstřikování, konkrétně s integrovanou řídicí jednotkou zapalování v jednotce motoru.



Obrázek 7 Blokové schéma řízení BOSCH Motronic [II.]

2.2.3.2. Druhy vstřikování podle průběhu vstřikování

a) nepřetržitě (kontinuální)

Tento systém vstřikování pracuje na základě mechanické regulace bohatosti směsi popsané výše v kapitole vícebodového vstřikování. Systém nepřetržitého vstřikování se již v současnosti nepoužívá z důvodu nepřesné regulace na optimální směšovací poměr. Používal se u mechanického vstřikování benzínu BOSCH K- a KE- Jetronic.

b) časované

Časované vstřikování znamená, že dávka paliva je přesně dávkována v určitém okamžiku. Řídicí jednotka reaguje podle signálu snímače o množství nasáveného vzduchu do motoru a podle této hodnoty upravuje dobu otevření vstřikovacího ventilu, a tím vstřikované množství paliva. Tento systém má proti nepřetržitému vstřikování výhody např.: při poruše zapalovací svíčky, kdy není vstřikováno palivo pro „nepálící“ válec a tím nedojde k propálení katalyzátoru. [3]

2.2.3.3. Druhy vstřikování podle způsobu řízení vstřikovaného množství paliva

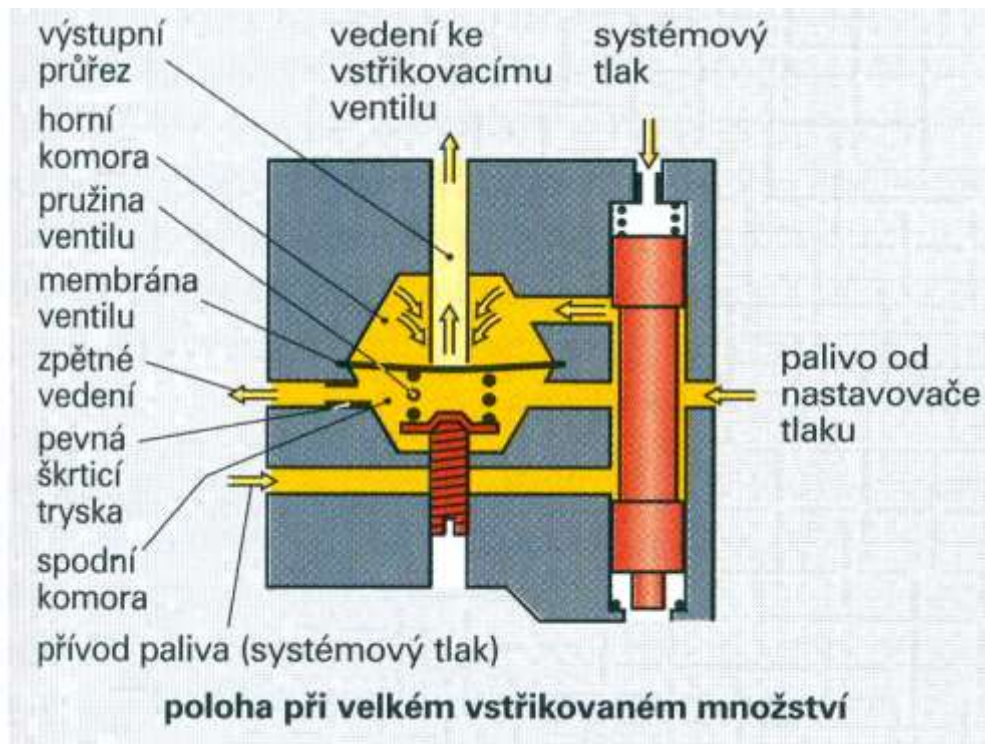
a) mechanické

Tento řídicí řetězec je vyobrazen na obrázku 9.



Obrázek 8 Princip mechanického vstřikování

Mechanické vstřikování nevyužívá elektronickou řídicí jednotku ani elektromagnetické vstřikovací ventily. Tento systém je popsán v kapitole vícebodového vstřikování. Z blokového schéma tohoto systému je patrná změna vstřikovacího tlaku mechanickou regulací a tím i změna vstřikovaného množství. Mechanické vstřikování nahrazuje elektronickou řídicí jednotku mechanickou regulací bohatosti směsi zobrazenou na obrázku 9.



Obrázek 9 Mechanická regulace bohatosti směsi [1]

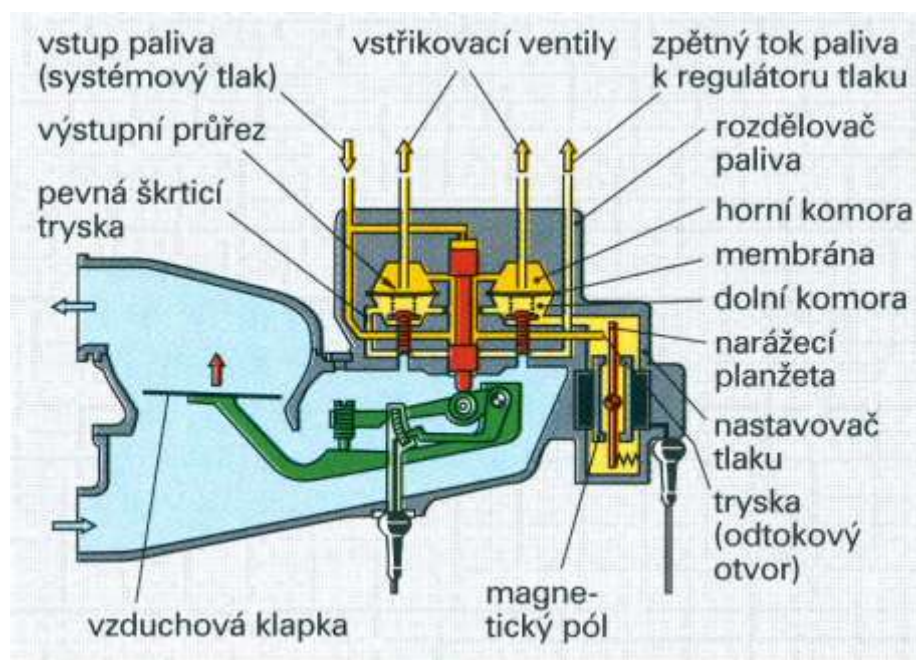
b) elektronické

Základ elektronického vstřikování tvoří řídicí jednotka, která podle signálů snímačů dokáže nastavit dobu otevření vstřikovacího ventilu. Tím dokáže reagovat rychleji pro zvyšující se nároky na emise zážehových motorů kvůli znečištění životního prostředí, požadavků řidičů na výkon motoru a jeho spotřebu používané u většiny nových osobních vozidel než mechanická regulace.

2.2.3.4. Druhy vstřikování podle konstrukce měřidla průtoku vzduchu

a) mechanické

Mezi mechanická měřidla hmotnosti nasávaného vzduchu patří vzdouvací klapka bez kompenzace (pro systém K-Jetronic) a nebo s kompenzací. Vzdouvací klapka s kompenzací s korekcí teploty nasávaného vzduchu je použita v systému Motronic M 1.7.2. Její princip spočívá v samovolném otevírání klapky proudem nasávaného vzduchu do motoru a spojením potenciometru s touto klapkou řídicí jednotka motoru získá okamžitou hodnotu množství nasávaného vzduchu. Vzdouvací klapka je zobrazena na obrázku 10.



Obrázek 10 Systém K-Jetronic se vzdouvací klapkou

b) elektronické

Elektronické měření množství hmotnosti nasávaného vzduchu je přesnější než mechanické měření ale daleko více náchylnější na čistotu vzduchu. Využívá se zde odporového drátu nebo vyhřívaného filmu na destičce na konstantní teplotu spolu s korekcí teploty nasávaného vzduchu. Platí pravidlo, že čím se více nasaje vzduchu do motoru za stejný čas otevření sacího ventilu, tím se více ochladí drát nebo film, tím se musí více dohřívat. Tyto údaje snímá řídicí jednotka motoru.

c) nepřímým

Nepřímé měření množství nasávaného vzduchu znamená, že se nevyužívá přímo součástka pro měření hmotnosti, ale řídicí jednotka dopočívá hmotnost vzduchu z úhlu otevření škrticí klapky, snímače tlaku v sacím potrubí, teploty nasávaného vzduchu a uložené hodnoty hustoty vzduchu v závislosti na nadmořské výšce v řídicí jednotce motoru. Využívá se zde základní stavové rovnice o ideálním plynu (IV.):

$$\frac{p \cdot V}{T} = \textit{konstanta} \quad \text{[IV]}$$

Rovnice IV: p – tlak vzduchu v sacím potrubí [Pa], V – objem nasátého vzduchu do motoru [m^3],

T – teplota nasávaného vzduchu [$^{\circ}K$, $^{\circ}C$]

2.3. Paliva pro vznětové motory

Účelem paliv pro vznětové motory je přenést a dodat energii. Palivem pro vznětové motory je hořlavina s vyšším bodem varu. Je několik druhů paliv pro vznětové motory.

2.3.1. Druhy paliv pro vznětové motory

- a) *motorová nafta* (ropné palivo)
- b) *bionafta, metylester řepkového oleje* (obnovitelné, ekologické palivo)
- c) *mazut* – např. pro lodní motory

2.3.2. Vlastnosti paliv pro vznětové motory

Mezi základní vlastnosti paliv pro vznětové motory patří:

- a) *cetanové číslo* je parametr popisující odolnost motorové nafty vůči tzv. „tvrdému chodu“ (zpožděnému zážehu náplně válce vznětového motoru). Vyjadřuje se jako koncentrace cetanu (n-hexadekanu) ve směsi s 1-metylnaftalenem, která vykazuje stejnou náchylnost k tvrdému chodu jako hodnocené palivo. Podle novější metody je standardní palivo směsí cetanu a „izocetanu“ (2,2,4,4,6,8,8-heptametylnonanu). Cetanové číslo se stanovuje experimentálně na zkušebním motoru při změně kompresního poměru a zjišťuje se nejmenší kompresní poměr pro chod motoru bez vynechávání. Vzhledem k náročnosti stanovení cetanového čísla se v některých případech nahrazuje cetanovým indexem, vypočteným z hustoty a destilační křivky paliva. [3]
- b) *filtrovatelnost za nízkých teplot* je vylučování parafínů z nafty při určité teplotě. Hodnotí se bodem tuhnutí, při kterém motorová nafta již neproudí filtrační vložkou. [7]
- c) *obsah síry* – vyšší obsah má nevhodný účinek pro výfukové potrubí z důvodu slučování oxidů síry s vodou ve výfukovém potrubí a tím vytvoření kyselin. [3]

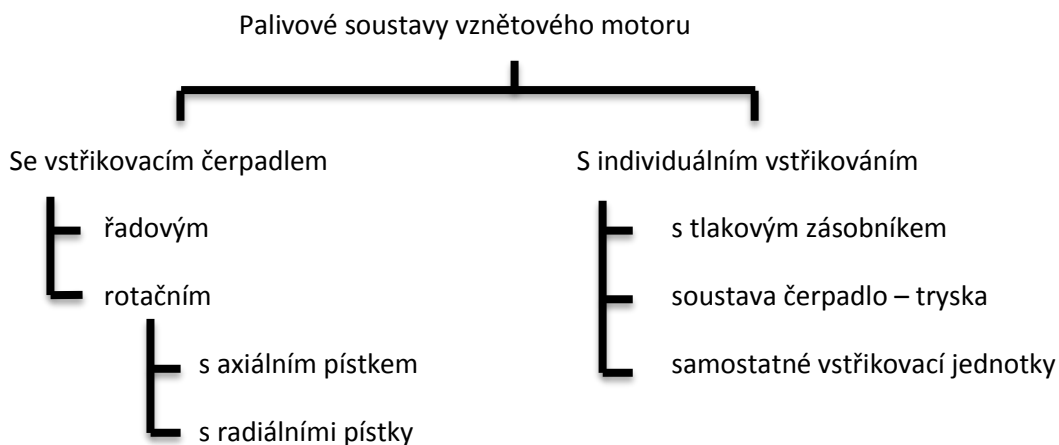
d) *mazací schopnost* - **aditiva** motorové nafty, která se fyzikální nebo chemickou adsorpcí váží k povrchům třecích ploch, čímž snižují tření a následně opotřebení třecích dvojic (součásti motoru, palivového čerpadla). [7]

2.4. Palivové soustavy vznětového motoru

Účelem je vytvořit vysoký tlak paliva potřebný pro jemné rozprášení. Díky tomu vznětový motor pracuje s kvalitativním řízením bohatosti směsi. Výkon motoru regulujeme množstvím paliva ve správný okamžik. Existuje několik základních druhů palivových soustav vznětového motoru.

1.4.1. Druhy palivové soustavy vznětového motoru

Pro názornost je zde základní rozdělení palivových soustav vznětového motoru.



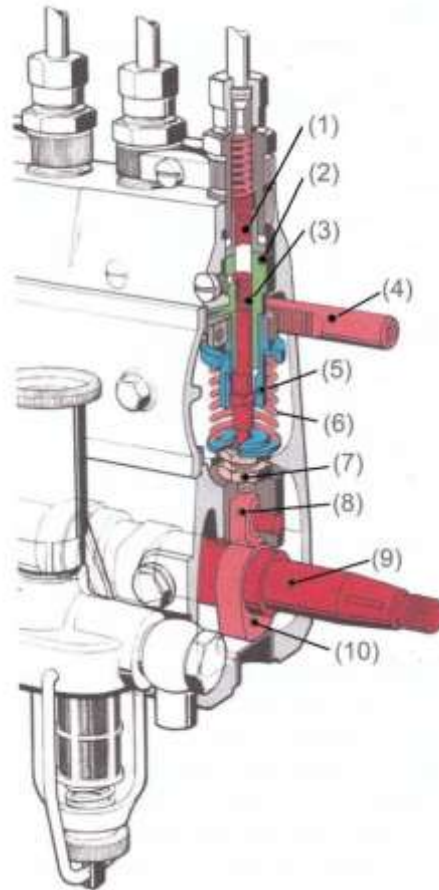
1.4.1.1. se vstřikovacím čerpadlem

a) *řadovým*



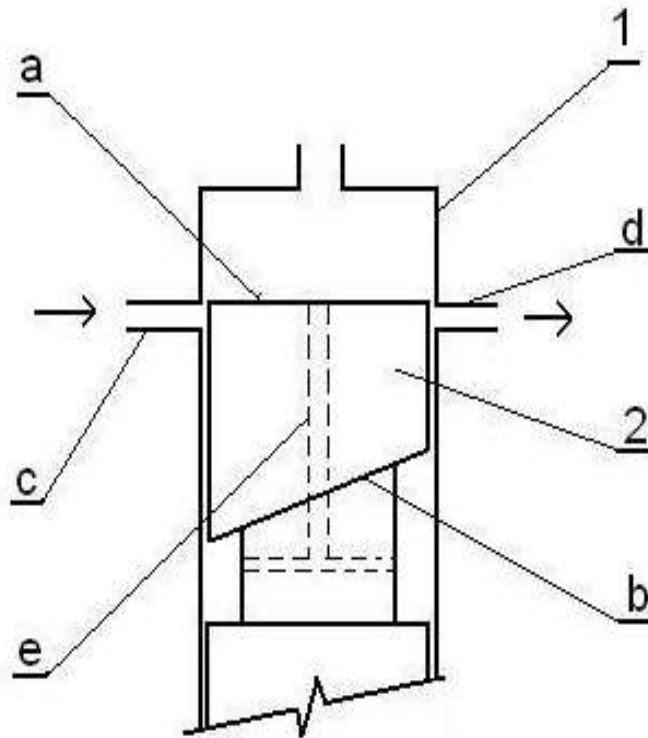
Obrázek 11 Řadové vstřikovací čerpadlo [IV.]

Řadové vstříkovací čerpadlo je soustava vysokotlakých čerpadel jednočinných pístových tj. vstříkovací jednotky. Jejich počet je stejně jako počet válců motoru. Toto čerpadlo musí být vybaveno regulátorem otáček. Základní schéma vstříkovací jednotky je vyobrazeno na obrázku 12. [2]



Obrázek 12 Vstříkovací jednotka: 1 – výtláčný ventil, 2 – válec vstříkovací jednotky, 3 – píst vstříkovací jednotky, 4 – regulační tyč, 5 – regulační objímka, 6 – pístová pružina, 7 – seřizovací šroub, 8 – pístové zdvihátko s kladkou, 9 – vačkový hřídel, 10 – vačka[2.]

Základní částí vstříkovací jednotky je vstříkovací element, tj. přesně těsnící píst a válec vstříkovací jednotky. Těsnící vzdálenost mezi válcem a pístem se pohybuje od 0,002 mm u vozidel nákladních do 0,005 mm u řadových vstříkovacích čerpadel používaných u traktorů. Základní rozdělení těchto čerpadel je podle horní nebo spodní šikmé regulační hrany pístku, která řídí množství paliva dodávané ke vstříkovači.



Obrázek 13 Vstříkovací element: *a - horní konstantní hrana pístku, b - spodní šikmá regulační hrana, c - plnicí kanál, d - přepadový kanál, 1 - válec, 2 - píst*

Vznětový motor používá palivovou soustavu, která se sama bez regulátoru neureguluje a tudíž by hrozilo přetočení motoru a tím i jeho havárie. Rozlišujeme základní mechanické regulátory otáček, podle potřebné charakteristiky motoru. Omezovací regulátor má za úkol regulovat volnoběžné a maximální (přeběhové) otáčky motoru bez zásahu řidiče. Používá se hlavně u silničních vozidel. Výkonostní má za úkol udržet nastavené otáčky motoru pákou řidiče při jakémkoliv zatížení. Používá se u pracovních strojů. [7]

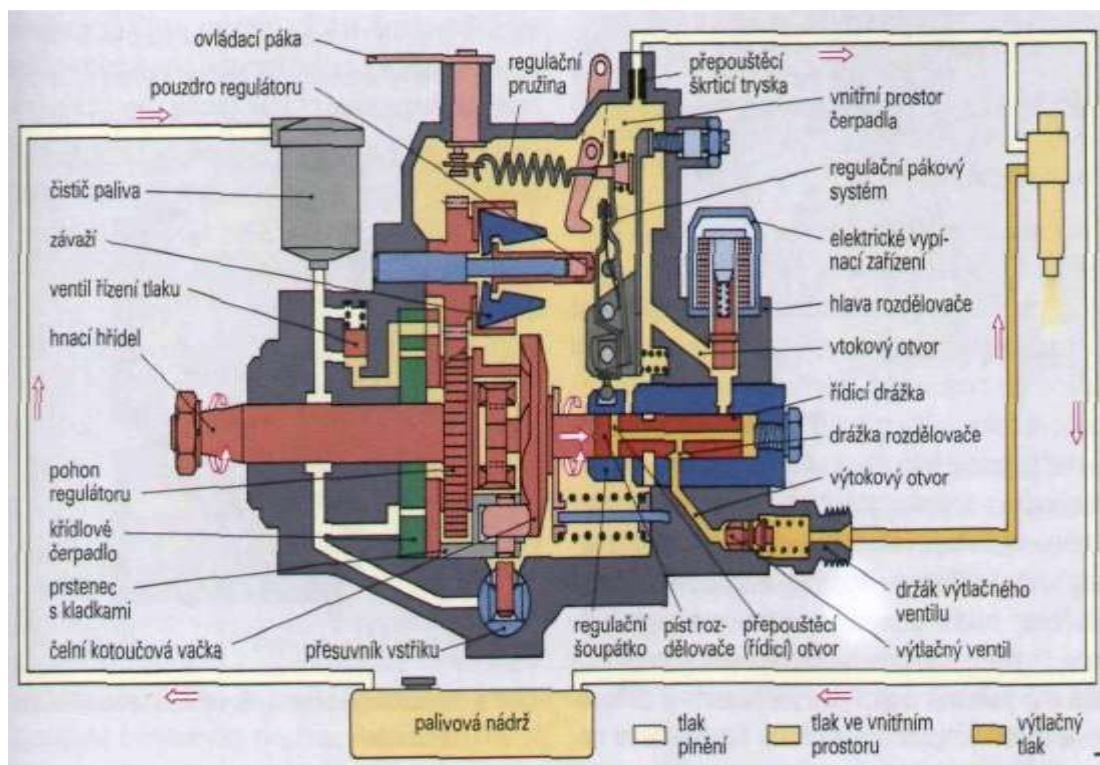
b) rotačním

Palivová soustava vznětového motoru s rotačním vstříkovacím čerpadlem je nejpoužívanější systém vstříkovaní vznětového motoru u osobních vozidel a lehkých užitkových vozidel. Používají se dvě základní provedení čerpadla.

1. s axiálním pístem

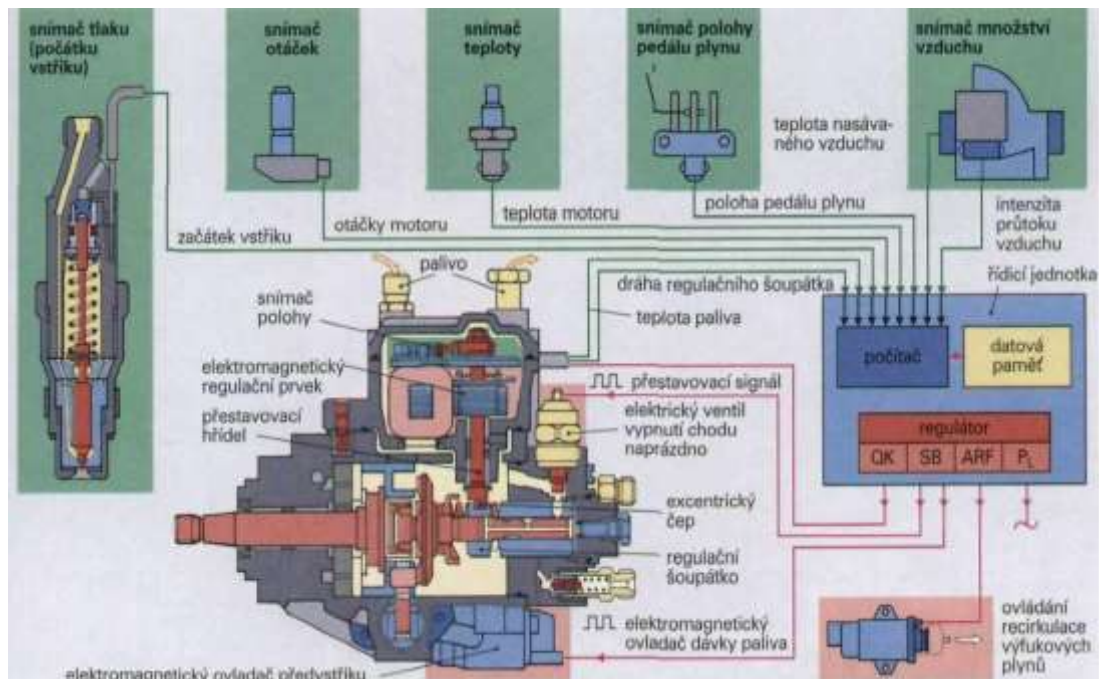
Činnost tohoto čerpadla probíhá tak, že axiální vačka se otáčí, její výstupky najíždí na stojící kladky, tím se na píst přenáší posuvný čerpací pohyb. Píst nasává přes plnicí drážky palivo a vytlačuje ho do výtlačného rozdělovacího kanálu. Protože se vačka otáčí, přenáší se na píst i rozdělovací otáčivý pohyb. Výtlačný rozdělovací kanál pístu se při svém otáčení napojuje na jednotlivé výstupní kanály válce. [2]

Tento systém vstřikování je opatřen regulátorem otáček. Na obrázku 14 je rotační vstřikovací čerpadlo s axiálním pístem s mechanickým regulátorem a s elektronickou regulací otáček. Mechanický regulátor otáček má výhodu minimální elektrické zástavby do čerpadla. [7]



Obrázek 14 Vstřikovací soustava s rotačním vstřikovacím čerpadlem s axiálním pístem BOSCH VE [II.]

Elektronický regulátor otáček je vlastně řídicí jednotka, která určuje podle zjištěných otáček motoru a jeho zatížení dodávku paliva a zároveň omezuje maximální otáčky motoru. Tento systém řízení je umístěn na obrázku 15. [2]

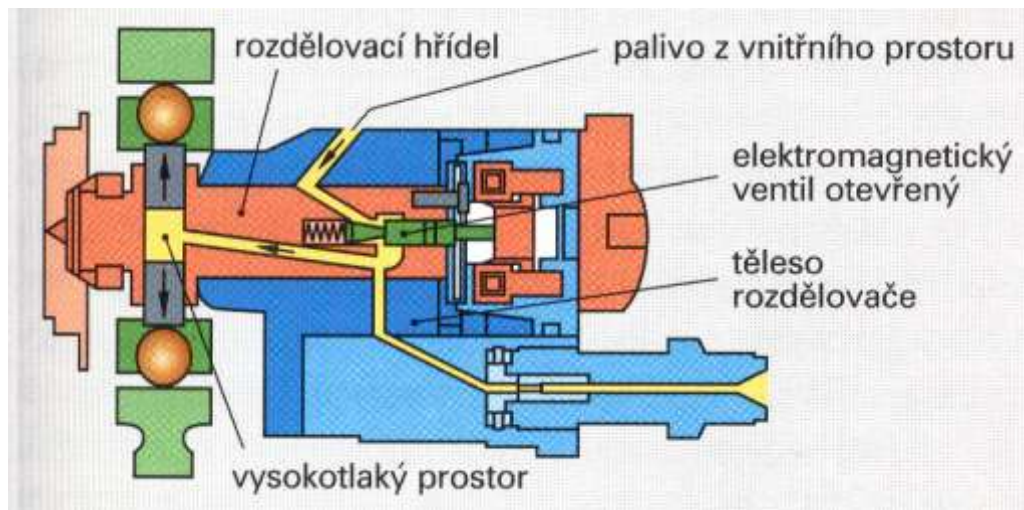


Obrázek 15 Elektronické řízení vstřikovacího čerpadla – EDC [L.]

Řídící jednotka reaguje na signály od snímače otáček motoru, teploty paliva, zatížení motoru aj. a na základě těchto hodnot nastaví elektoregulační prvek čerpadla a ten posune regulační pouzdro a tím otevře předpad.

2. s radiálními písty

Otáčením rotoru ve vačce se písty pohybují vlivem výstupků vačky proti sobě a od sebe – čerpací pohyb. Palivo se nasává i vytlačuje přes spojovací kanál. Rozdělovač paliva spojuje přes spojovací kanál čerpací část střídavě s přívodním kanálem a výstupními kanály. Čerpací část proto může stejným kanálem nasát i vytlačit do jednotlivých výstupů po obvodě. [7]

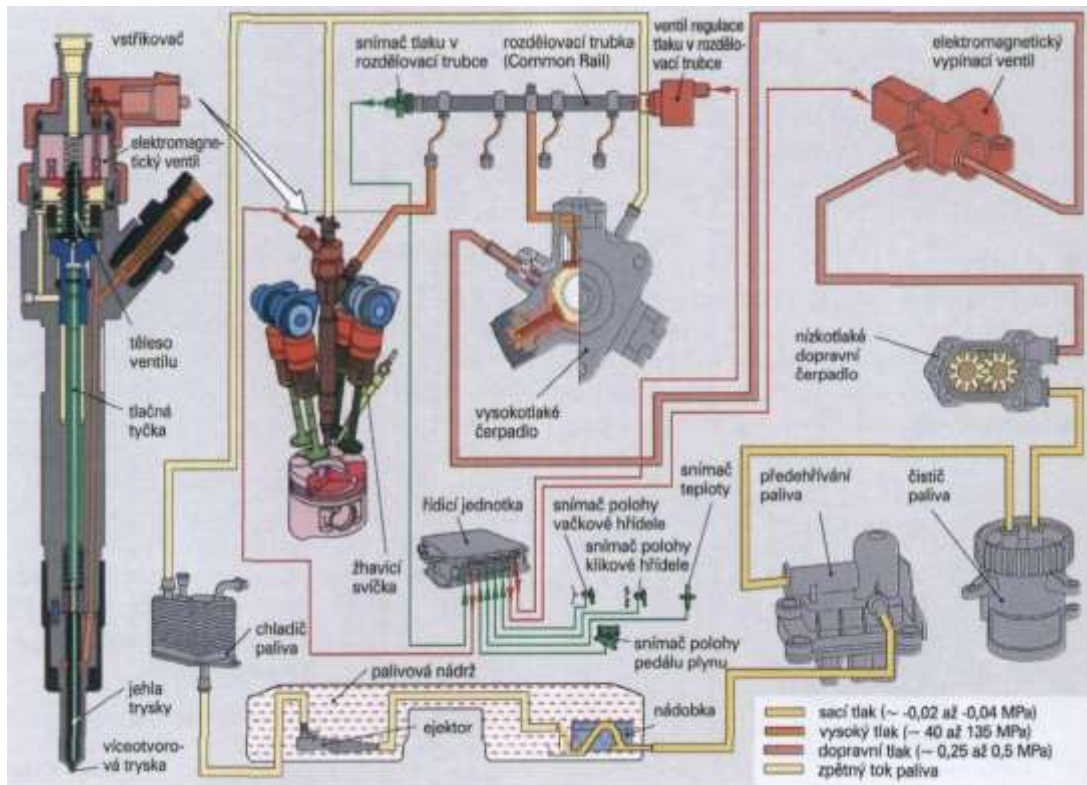


Obrázek 16 Plnění radiálního čerpadla[I.]

1.4.1.2. s individuálním vstřikováním

a) s tlakovým zásobníkem (Common Rail)

Činnost vstřikování nafty s tlakovým zásobníkem spočívá v udržení vysokého tlaku v zásobníku tlaku, který se mění podle otáček a zatížení motoru. Vstřikovače jsou nezávisle otevírány a zavírány podle signálů z řídicí jednotky. Okamžikem otevření je řízena předstih vstřiku, okamžikem zavření je řízena velikost dodávky. Princip elektrohydraulického vstřikovače je na obrázku.[17]

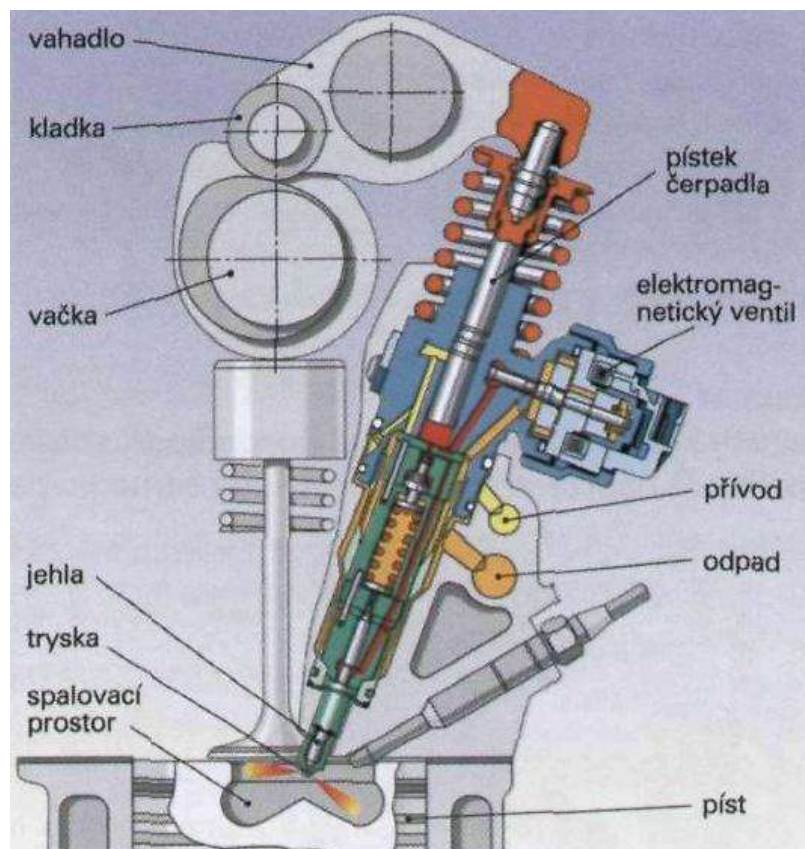


Obrázek 17 Akumulační vstřikovací soustava Common-Rail [III.]

Řídicí jednotka na základě signálů snímačů motoru upraví dobu otevření elektromagnetického vstřikovače. Tento vstřikovač je ovládán minimálním elektrickým proudem, řádově mA. Protože je tlak paliva přiváděn pod i nad jehlu trysky stačí pro jeho otevření minimální síla vytvořená elektromagnetem. [1]

b) soustava čerpadlo – tryska

Činnost sdruženého vstřikovače je následující. Vačka začne stlačovat pístek, ale palivo se vytlačuje jen do přepadu. Teprve po uzavření elektrohydraulického ventilu je palivo vytlačeno do spalovacího prostoru motoru. Otevřením elektrohydraulického ventilu se dodávka opět ukončí. Okamžikem otevření je řízen předstih vstřiku, okamžikem zavření je řízena velikost dodávky (Obrázek 18). [7]



Obrázek 18 Sdružený vstřikovač [III.]

c) samostatné vstřikovací jednotky - pro velké motory

Samostatné vstřikovací jednotky se používají jako palivová soustava vznětového motoru pro motory s velkým zvlhovým objemem motoru, vyšší než 20000 cm³. Tyto motory se používají u lodí, lokomotiv nebo u stabilních motorů.

3. Cíl práce

Cílem práce je simulace jízdních režimů vozidla pro stanovení optimálního provozu motoru z hlediska spotřeby paliva s cílem popisu činnosti řídicí jednotky motoru pro úpravu jednotlivých pokynů pro akční členy motoru. Tyto poznatky pak aplikovat při jízdni zkoušce a vydat doporučení pro řidiče pro co nejeekonomičtější jízdu vozidla na pozemní komunikaci.

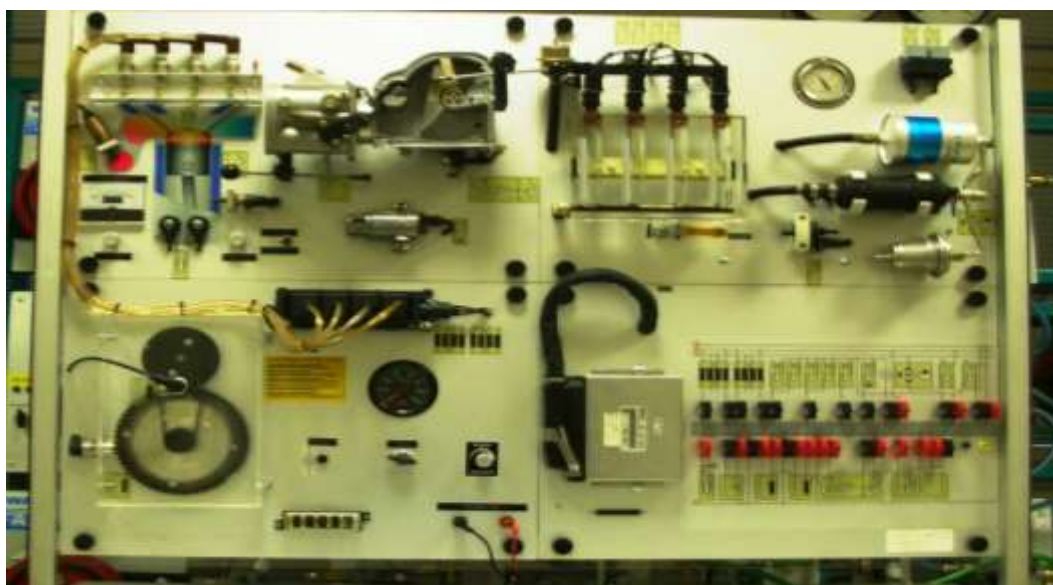
4. Metodika

Pro splnění cíle bylo provedeno měření na modelu palivové soustavy zážehového motoru s nepřímým vstřikováním a jízdní zkouška pro vydání doporučení pro optimální jízdu při zvolených jízdních režimech z hlediska spotřeby a poškozování životního prostředí. Jízdním režimem motoru nazýváme určité postavení snímačů motoru a jejich signály, řídicí jednotka tyto signály převádí a poté nastavuje určité množství dodávaného paliva otevřením vstřikovacích ventilů. Jízdní režimy jsem zvolil podle nejčastějšího provozu spalovacího motoru:

- volnoběhu s nezahřátým motorem
- volnoběhu se zahřátým motorem
- režim částečného výkonu při zahřátém motoru
- režim plného výkonu při zahřátém motoru
- režim jízdy z kopce při zahřátém motoru

4.1. Laboratorní měření

Pro simulaci jízdních režimů jsem si vybral typ palivové soustavy Motronic M 1.7.2 použitý ve vozidle BMW 318 IS.. Měření bylo prováděno na funkčním modelu této palivové soustavy Motronic M 1.7.2 (Obrázek 19).



Obrázek 19 Konkrétní funkční model palivové soustavy pro simulaci

Tento panel je plně funkční a dají se na něm simulovat různé jízdní režimy a závady motoru Níže je uveden popis systému Motronic M 1.7.2.

4.1.1. Parametry systému Motronic M 1.7.2

- integrovaný systém zapalování a vstřikování

Palivový systém – Elektronické časované vstřikování benzínu

- a) Elektrické palivové čerpadlo dvoustupňové
 - Účel: Vytvořit dostatečný tlak a množství paliva
 - Druhy: - boční kanálové (odstředivé) a s vnitřním ozubením
 - boční kanálové (odstředivé) a válečkové
- b) Palivový čistič
 - Účel: Vyčistit palivo
 - Druhy: - střední velikost pórů 10 μ m
- c) Rozdělovač paliva (palivová lišta)
 - udržuje potřebné množství paliva pro vstřikovací ventily
 - obsahuje snímač tlaku paliva
- d) Regulátor tlaku paliva
 - udržuje konstantní tlak v palivové liště
 - umístěn na konci palivové lišty
 - princip konstatní diference tlaku v liště a v sacím potrubí
- e) Tlumič tlaku paliva
 - minimalizuje pulzaci paliva při dodávce
- f) Elektromagnetický vstřikovací ventil
 - princip zasouvání ventilové jehly do tělesa ventilu

Zapalování

Druhy:

- Jednojiskrová zapalovací cívka s jedním koncovým stupněm pro každý válec

Části:

- a) Zapalovací cívka
 - Jednojistrová zapalovací cívka
- b) Koncový stupeň
 - Nahrazuje přerušovač
 - Omezuje prim. proud a napětí
 - Interní, externí
- c) Rozdělování napětí
 - Bezrozdělovačové zapalování – elektronické
- d) Propojovací a odrušovací materiál
 - Vysokonapěťové kabely
 - Odrušovací odpory, odstínění
- e) Zapalovací cívka

Zpětná kontrola bohatosti směsi

- Součinitel přebytku vzduchu λ (1:14,7)
- Korekce $\lambda = 1 \pm 3\%$
- Kyslíková sonda: 1. Skoková – nevyhřívána, vyhřívána
 - 2. Širokopásmová – vyhřívána

Detonační spalování

- snímač klepání fungujícím na piezoelektrickém jevu

4.1.2. Použité přístroje

- **motortester BOSCH KTS 650** (Obrázek 20) – pro zjištění nastavených hodnot snímači



Obrázek 20 Ukázka přístroje BOSCH KTS 650

4.1.3. Zvolené jízdní režimy na panelu

Varianta A) – režim volnoběhu při nezahřátém motoru

Varianta B) – režim volnoběhu při zahřátém motoru

Varianta C) – režim částečného výkonu při zahřátém motoru

Varianta D) – režim plného výkonu při zahřátém motoru

Varianta E) – režim jízdy z kopce při zahřátém motoru

4.1.4. Nastavené hodnoty

Pro variantu A) jsem nastavil vstupní hodnoty snímače teploty chladicí kapaliny motoru na hodnotu -27°C a snímače otáček motoru 880 min^{-1} (Obrázek 21). Otevření škrticí klapky nastavíme na 0% (Obrázek 20) a částečně otevřel vzdouvací klapku na 10% (Obrázek 21), což představuje režim volnoběhu.

Pro variantu B) jsem nastavil teplotu chladicí kapaliny 94°C , a otáčky motoru 840 min^{-1} . Otevření škrticí klapky jsem nastavil na 0% a částečně otevřel vzdouvací klapku na 10% , což představuje režim volnoběhu.

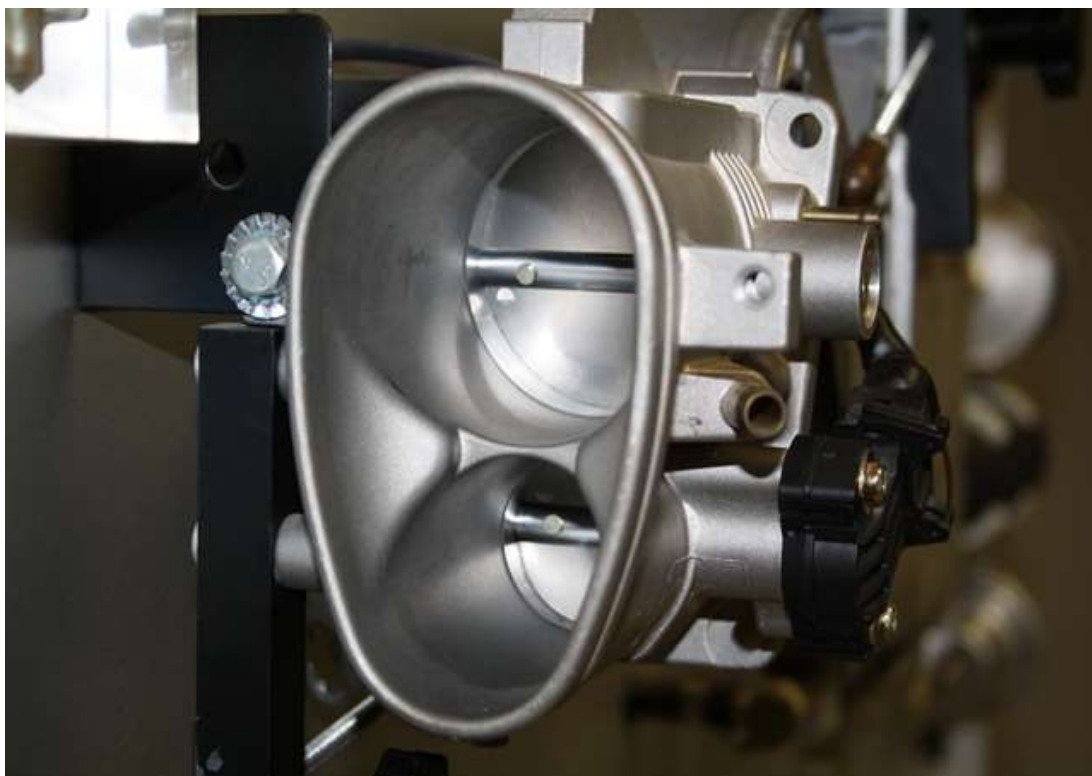
Pro variantu C) jsem nastavil teplotu chladicí kapaliny na teplotu 94°C . Otáčky motoru jsem nastavil ovladačem 1520 min^{-1} . Dále jsem nastavil škrticí klapku pootevřenou na 40% (simulace mírně sešlápnutého pedálu akcelérátoru) a otevřel vzdouvací klapku na 50% .

Pro variantu D) jsem nastavil maximální otáčky motoru panelu 2400 min^{-1} a teplota chladicí kapaliny na 94°C . Škrticí klapku jsem otevřel na 100% a i vzdouvací klapku na 100% .

Pro variantu E) jsem nastavil otáčky motoru na 1520 min^{-1} a teplotu chladicí kapaliny na 94°C . Škrticí klapku jsem otevřel na 0% a vzdouvací klapku jsem pootevřel na 10% .



Obrázek 21 Ukázka nastavení hodnot snímačů

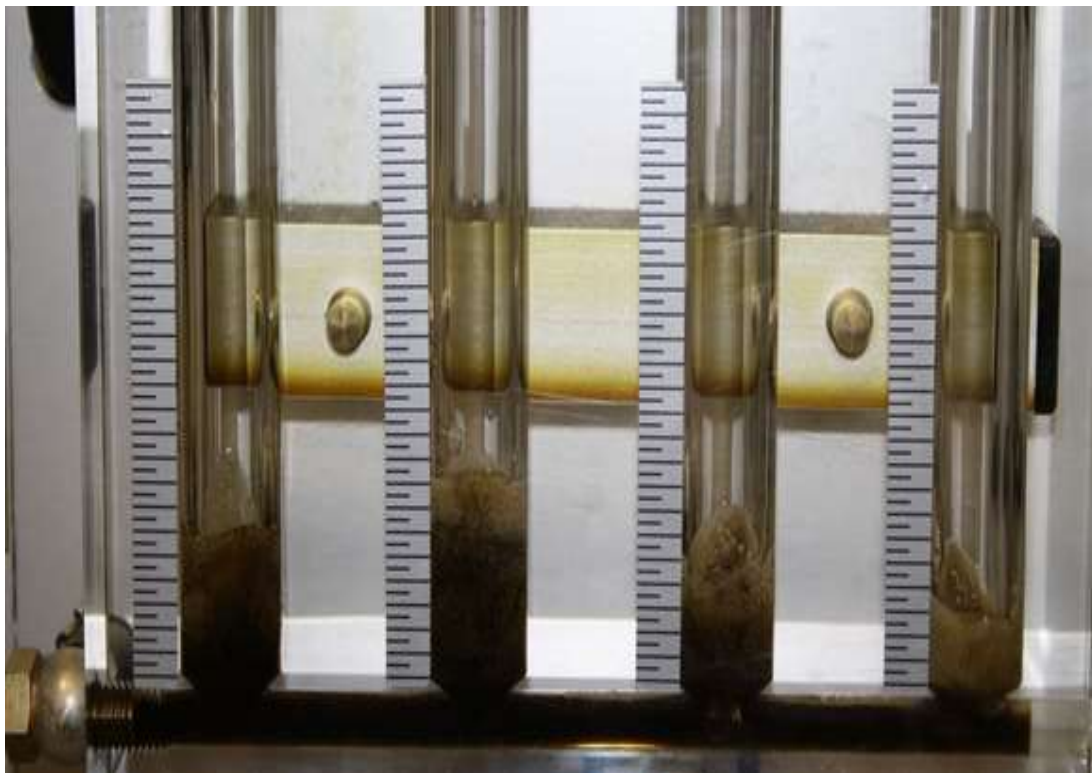


Obrázek 22 Ukázka otevření škrticí klapky na 0%



Obrázek 23 Ukázka otevření vzdouvací klapky s kompenzací

U všech veličin byla měřena hodnota **okamžité spotřeby** V_p odečtená z odměrných válců vstřikovacích ventilů v $\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Obrázek 22).



Obrázek 24 Ukázka vstřikovaného množství

Z naměřených hodnot byla vypočtena podle vztahu V. **hodinová spotřeba paliva** M_p .

$$M_p = V_p \times 3,6 \text{ [l} \cdot \text{h}^{-1}\text{]} \quad [\text{V}]$$

Rovnice V. Výpočet hodinové spotřeby: S_v – hodinová spotřeba paliva [$\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$], V_e – naměřená spotřeba [$\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

4.2. Jízdní zkouška

Pro možnost ověření všech jízdních režimů jsem využil úsek silnice II./634 v úseku od křižovatky silnice II./634 a ulice Královský vrh vesnice Adamov a obcí Rudolfov.

Před jízdou bylo změřeno

Sklon [%] - Sklonoměrem HORIZONT 600 mm

t [s] – čas jízdy z kopce - Stopkami KS 301

v_p [km.h⁻¹] – počáteční rychlost - autonavigací GPS Tomtom START 20

s [m] – délka měřeného úseku - autonavigací GPS Tomtom START 20

Parametry dráhy (Obrázek 25)

- Délka měřeného úseku – 200 m – měřena navigací GPS Tomtom.
- Klesání α jsem vypočetl podle rovnice VI. a po té jsem spočítal aritmetický průměr klesání podle rovnice VII.

$$\alpha \text{ [%]} = \operatorname{tg}^{-1}(\alpha[^\circ]) = \operatorname{tg}^{-1}(8,3^\circ) = 0,145 = 14,5\% \quad \text{VI.}$$

Rovnice VI. Výpočet sklonu vozovky v %

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^5 x_i}{n} = 6,96^\circ \quad \text{VII.}$$

Rovnice VII Výpočet aritmetického průměru

Označený úsek má celkovou délku 500 metrů. První část úseku $s_1 = 300$ m byla využita pro ustavení motoru do zvoleného režimu a druhá část $s_2 = 200$ m pro vlastní měření. Počáteční rychlost v_p byla změřena při projetí pomezí mezi s_1 a s_2 . Stopky byly sepnuty při průjezdu pomezí úseků s_1 a s_2 .



Obrázek 25 Ukázka trasy pro měření [12]

Zkušební vozidlo mělo platnou STK a byly použity letní pneumatiky o rozměru 205/50 R16.

4.2.1. Měřené režimy jízdy z kopce

Varianta a) volnoběh při nezahřátém motoru

Varianta b) volnoběh při zahřátém motoru

Varianta c) 5. rychlostní stupeň při zahřátém motoru

Varianta d) 4. rychlostní stupeň při zahřátém motoru

Varianta e) 3. rychlostní stupeň při zahřátém motoru

4.2.2. Nastavené veličiny

Pro variantu a), b) a c) jsem vzhledem k dodržení zvolených režimů rozjel vozidlo na $v_p = 75 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Pro variantu d) jsem vzhledem k dodržení zvolených režimů rozjel vozidlo na $v_p = 80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Pro variantu e) jsem vzhledem k dodržení zvolených režimů rozjel vozidlo na $v_p = 90 \text{ km.h}^{-1}$.

Toto měření jsem prováděl nejprve sám jako řidič 1 a po té p. Fau jako řidič 2 z důvodu objektivit zkoušky.

Měřenou veličinou byla:

- $v_k [\text{km.h}^{-1}]$ – rychlost na konci měřeného úseku s_2 – měřeno autonavigací
- $t [\text{s}]$ – čas na projetí úseku s_2 – měřeno stopkami

Vypočtenou veličinou byla:

- spotřeba paliva daného úseku $s_u [l]$ podle rovnice VIII.

$$s_u = \frac{s_v}{3600} \cdot t [l] \quad \text{VIII.}$$

Rovnice VII Spotřeba daného úseku $s_u [l]$, čas pro ujetý úsek $t [s]$, okamžitá spotřeba $s_v [l]$

- rozdíl rychlostí $\Delta v [\text{km.h}^{-1}]$ podle rovnice IX.

$$\Delta v = v_k - v_p [\text{km. h}^{-1}] \quad \text{IX.}$$

Rovnice IX. Rozdíl rychlostí $\Delta v [\text{km.h}^{-1}]$, počáteční rychlost $v_p [\text{km. h}^{-1}]$, konečná rychlost $v_k [\text{km. h}^{-1}]$

- průměrná spotřeba paliva $s_p [l.100 \text{ km}^{-1}]$ podle rovnice X.

$$s_p = 500 \cdot s_u \quad \text{X.}$$

Rovnice IX. Průměrná spotřeba paliva $s_p [l.100 \text{ km}^{-1}]$, spotřeba daného úseku $s_u [l]$

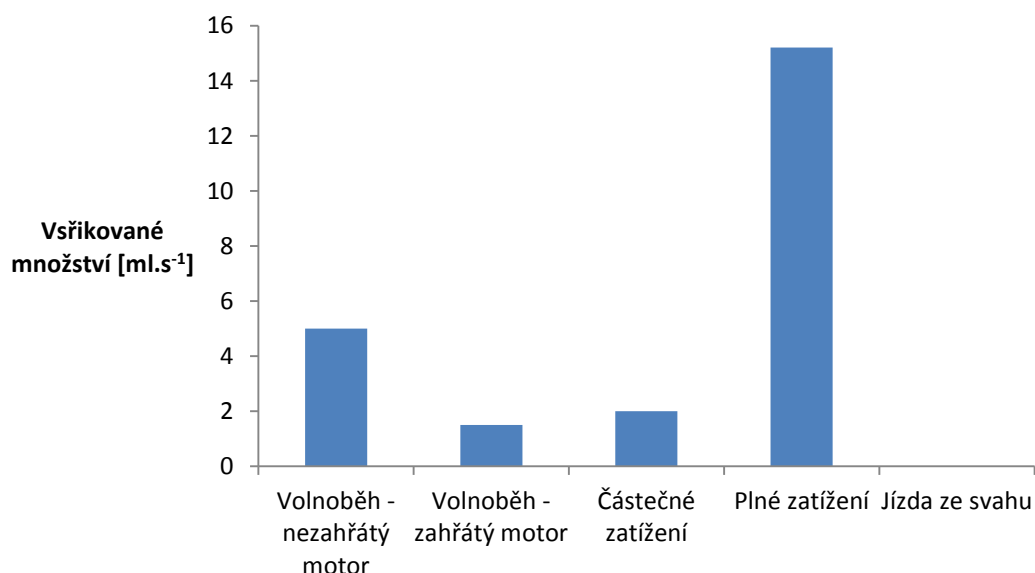
5. Výsledky a diskuze

Naměřené a vypočtené hodnoty z laboratorního měření jsou uvedeny do tabulky 2.

Jízdní režim	Teplota motoru [°C]	Otáčky motoru [min ⁻¹]	Otevření škrticí klapky [%]	Okamžitá spotřeba V_e [ml.s ⁻¹]	Okamžitá spotřeba s_v [l.h ⁻¹]
Varianta A)	-27	880	0	5	18
Varianta B)	94	840	0	1,5	4,8
Varianta C)	94	1520	30	2	7,2
Varianta D)	94	2400	100	15,2	54,72
Varianta E)	94	1520	0	0	0

Tabulka 2 Nastavené a vypočtené hodnoty řídicí jednotkou při jednotlivých režimech

Z této tabulky vyplývá, že pokud je motor v režimu na volnoběh zahřátý (varianta B)) na provozní teplotu, tj. 94 °C, tak je vstřikované množství paliva menší o 73,3% oproti nezahřátému, varianta A) a dále je vstřikované množství paliva menší při režimu částečného zatížení proti plnému zatížení o 86,8%, což představuje 47,7 l.h⁻¹. Tyto hodnoty jsou pro zjednodušení uvedeny v následujícím grafu.



Graf 1 Vstřikované množství při jízdních režimech

Nejvyšší vstřikované množství bylo při plném zatížení a nejnižší při jízdě ze svahu. Rozdíl byl 15,2 ml.s⁻¹.

Další tabulka zobrazuje naměřené a vypočtené hodnoty sklonu vozovky.

Číslo měření [n]	Vzdálenost od STARTU měření [m]	Sklon vozovky [°]	Sklon vozovky [%]
1	0	8,3	14,5
2	50	6,2	10,9
3	100	7,5	13,2
4	150	6,5	11,4
5	200	6,3	11
α		6,96	12,2

Tabulka 3 Vypočtené hodnoty sklonu vozovky

Další tabulka zobrazuje naměřené a vypočtené hodnoty hodnoty řidičem 1 při jízdě z daného kopce.

Jízda z kopce dle rychlostního stupně	Počáteční rychlost vozidla [km.h ⁻¹]	Konečná rychlost vozidla [km.h ⁻¹]	Změna rychlosti [Δ km.h ⁻¹]	Čas jízdy [s]	Spotřeba paliva [l]	Spotřeba paliva [l.100km ⁻¹]
Varianta a)	75	87	12	8,9	0,045	22,5
Varianta b)	75	87	12	8,9	0,012	6
Varianta c)	75	80	5	9,3	0,015	7,5
Varianta d)	80	80	0	9	0,014	7
Varianta e)	90	73	17	9,8	0	0

Tabulka 4 Zjištěné hodnoty řidičem 1

Pro porovnání jsme zopakovali totéž měření a zjištěné hodnoty jsem uvedl do Tabulky 5.

Jízda z kopce dle rychlostního stupně	Počáteční rychlost vozidla [km.h ⁻¹]	Konečná rychlost vozidla [km.h ⁻¹]	Změna rychlosti [Δ km.h ⁻¹]	Čas jízdy [s]	Spotřeba paliva na [l]	Spotřeba paliva [l.100km ⁻¹]
Varianta a)	75	88	13	8,9	0,045	22,5
Varianta b)	75	86	11	8,8	0,012	6
Varianta c)	75	80	5	9,3	0,015	7,5
Varianta d)	80	79	1	9,03	0,014	7
Varianta e)	90	72	18	10	0	0

Tabulka 5 Zjištěné hodnoty řidičem 2

Rozdíl spotřeby mezi řidičem 1 a 2 byl do 1%. Při porovnání spočítané spotřeby paliva na měřeném úseku je největší rozdíl mezi variantou e), tedy jízdou z kopce na 3. rychlostní stupeň se zahřátým motorem, a variantou a), tedy jízdou z kopce neutrál s nezahřátým motorem. Tento rozdíl je dán řídicí jednotkou motoru, která musí zahřát motor co nejdříve na provozní teplotu. Čas jízdy řidiče 1 a 2 na měřeném úseku 200 metrů se lišil minimálně, do 1 s.

Podle článku [9] vydaného Františkem Dvořákem 29.5.2013 se údaje s výrobcí automobilů liší. V závěru tohoto článku je rozhovor s pražským taxikářem, který uvádí, že jízda z kopce je vždy zadarmo. S tímto výrokem nesouhlasím a z naměřených hodnot je patrné, že i při jízdě z kopce je možné nemít nulovou spotřebu paliva.

6. Závěr

Cílem této práce bylo nasimulovat různé jízdní režimy motoru a ze zjištěných a naměřených hodnot zpracovat doporučení pro řidiče jak optimalizovat jízdu vozidla v závislosti na spotřebě a poškozování životního prostředí. Tento cíl se mi podařilo splnit i přes různá úskalí jednak v ucelení přehledu vstříkování, tak i simulaci jízdních režimů samotných. Samotné měření probíhalo na výukovém panelu od firmy Deggener Hemmer na pracovišti VOŠ, SPŠ automobilní a technickou v Českých Budějovicích.

Na základě naměřených a vypočtených hodnot lze vydat doporučení pro co nejnižší provozní náklady na pohonné hmoty a tím i nižší zatížení životního prostředí. Toto doporučení je popsáno v několika bodech:

- Nezahřátý motor má přibližně trojnásobnou spotřebu na volnoběh než má zahřátý motor. Proto je nejdůležitější snížit dobu ohřevu motoru. Jako nejvýhodnější je parkovat vozidlo ve vytopené garáži, popř. vozidlo přikrýt plachtou, využít nezávislého topení, předehříváče motoru nebo elektrického vyhřívání chladicí kapaliny.
- Porovnáním režimu částečného zatížení a plného zatížení je více než pětina násobný nárůst spotřeby paliva. Proto nedoporučuji jezdit v režimu plného výkonu, pokud to není nutné např. pro předjetí pomalu jedoucího vozidla.
- Při jízdě ze svahu není vždy pravda, že jedeme s nulovou spotřebou paliva. Záleží totiž na režimu motoru. Měření prováděné na tomto panelu palivové soustavy zážehového motoru jasně ukázalo, že otáčky pro nastavení nulové dodávky paliva při zavřeném škrticí klapce jsou 1500 min^{-1} . Pokud budou otáčky motoru nižší, pak řídicí jednotka motoru zvýší dodávku paliva nad volnoběžné množství, tedy režim částečného výkonu, aby stačila uregulovat klesající otáčky motoru na volnoběžné. Pokud budou otáčky motoru vyšší při

zavřené škrticí klapce, tak řídicí jednotka motoru vyhodnotí tento režim jako jízdy z kopce s „bržděním“ motorem a nastaví nulovou dodávku paliva.

- Pokud bude chtít řidič „brzdit motorem“ z kopce, tak musí podřadit na nižší rychlostní stupeň, aby zvýšil otáčky motoru. Pokud nebude chtít zpomalovat, potom je nejekonomičtější volit režim volnoběhu (vyřadit rychlostní stupeň). Vždy by měl respektovat pravidla silničního provozu a nepřeceňovat své zkušenosti.
- Pokud by řidič sjížděl dlouhý sjezd, pak doporučuji vyřadit rychlostní stupeň, pokud není na konci kopce překážka nebo nutné zpomalení. Pokud by musel brzdit, pak doporučuji zařadit postupně nižší rychlostní stupně z důvodu nižší nebo nulové spotřeby.

Seznam citované literatury a použitých pramenů

- [1] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. 3. přeprac. vyd. / . Překlad Iva Michňová, Zdeněk Michňa, Jiří Handlíř. Praha: Europa - Sobotáles, 2007, 685 s. ISBN 978-80-86706-17-7.
- [2] Motejl, V. - Horejš, K.: *Učebnice pro řidiče a opraváře automobilů*, Littera Brno 2001
- [3] Jan Z. – Žďánský B.: *Automobily 4 – Příslušenství*, Avid Brno 2007
- [4] VLK, František. *Automobilová technická příručka*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 791 s. ISBN 80-238-9681-4.
- [5] VLK, František. *Automobilová elektronika: systémy řízení motoru a převodu*. vyd. 1. Brno: Prof.Ing.František Vlk,DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006, 355 s. ISBN 80-239-7063-1.
- [6] VLK, František. *Paliva a maziva motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2006, 376 s. ISBN 80-239-6461-5.
- [7] MOTEJL, Vladimír. *Vstříkovací zařízení vznětových motorů: učební text pro učební obor 23-68-4 /001 automechanik*. 1. vyd. České Budějovice: Kopp, 2003, 180. ISBN 80-723-2142-0.
- [8] MATĚJOVSKÝ, Vladimír. *Automobilová paliva*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2005, 223 s. ISBN 80-247-0350-5.
- [9] DVOŘÁK, František. Údaje o spotřebě se stále více liší. U služebního vozu to je problém Zdroj: http://auto.idnes.cz/spotreba-paliva-0ji-automoto.aspx?c=A130528_152250_automoto_fdv. [Http://auto.idnes.cz/](http://auto.idnes.cz/). 2013. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/spotreba-paliva-0ji-automoto.aspx?c=A130528_152250_automoto_fdv
- [10] Jak se měří spotřeba paliva?. [Http://www.autoweb.cz/](http://www.autoweb.cz/). roč. 2010. Dostupné z: <http://www.autoweb.cz/autonovinky-nova-auta/jak-se-meri-spotreba-palivat/18405/>
- [11] Prospekty a materiály firmy Bosch – automobilová diagnostika
- [12] mapy.cz. In: [online]. [cit. 2013-06-03]. Dostupné z: http://mapy.cz/#!x=14.557683&y=49.000180&z=14&t=r&rc=14.553208_49.002249_14.548856_48.998166&rl=49%C2%B00'8.098%22N%2C%2014%C2%B033'11.548%22E_48%C2%B059'53.399%22N%2C%2014%C2%B032'55.880%22E&rp=%7B%22criterion%22%3A%22fast%22%7D