

UNIVERZITA PARDUBICE  
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Tomáš Večeřa

UNIVERZITA PARDUBICE  
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

ÚSPORA POHONNÝCH HMOT PŘI JÍZDĚ Z KOPCE

TOMÁŠ VEČEŘA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš Večeřa**  
Osobní číslo: **D14225**  
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Ochrana životního prostředí v dopravě**  
Název tématu: **Úspora pohonných hmot při jízdě z kopce**  
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

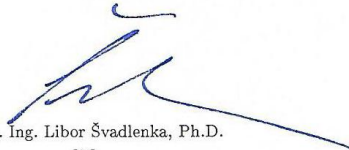
1. Úvod
2. Odpory působící na vozidlo ve vztahu ke spotřebě
3. Funkční popis čtyřdobého motoru
4. Vstřikování paliva
5. Měření jízdy se zařazeným rychlostním stupněm
6. Měření jízdy bez rychlostního stupně
7. Celkové zhodnocení
8. Závěr

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce  
Rozsah pracovní zprávy: 30-40stran textu a přílohy  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná  
Seznam odborné literatury:


1. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., Elektronické systémy motorových vozidel 1, 1.vydání, Brno 2002.
2. Ing. Jan Hromádko, Ph.D., Ing. Jiří Hromádko, Ph.D., Ing. Vladimír Hönig, Ph.D. AMRSC, Ing. Petr Miler, Ph.D., Spalovací motory. 1. vydání, Praha 2011.
3. Ing. Bronislav Žďánský, Ing. Zdeněk Jan, Automobily 3 Motory. 6. vydání, Brno 2010.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Pokorný, Ph.D.  
Výukové a výzkumné centrum v dopravě

Datum zadání bakalářské práce: 19. února 2018  
Termín odevzdání bakalářské práce: 18. května 2018

  
doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.  
děkan

L.S.

  
Ing. Jakub Vágner, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 12. února 2018

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne ..... 2018

Tomáš Večeřa

## Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Petru Jílkovi, Dis., za poskytnutí cenných rad a informací při tvorbě bakalářské práce a panu Ing. Janu Pokornému, Ph.D., za odborné vedení a korekci této práce. Dále děkuji mému otci Romanu Večeřovi za poskytnutí důležitých informací a celé své rodině za podporu během mého studia.

## **NÁZEV**

Úspora pohonných hmot při jízdě z kopce

## **ANOTACE**

Práce se zabývá uvedením do problému úspory paliva a následným popisem čtyřdobého motoru. Srovnání jednotlivých druhů vstřikovacích systémů u dvoustopých motorových vozidel a následné zaměření na vstřikovací systém PDE a jeho spotřebu na trase Nová Ves – Slatiňany, a to se zařazeným rychlostním stupněm a na neutrál. V závěru se práce zabývá vyhodnocením naměřených hodnot a srovnání kladů a záporů.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Palivo, vstřikovací systém, čtyřdobý motor, kopec, brzdění, dojezd

## **TITLE**

Save fuel when driving downhill

## **ANNOTATION**

In this bachelor thesis I deal with problem saving of fuel and describing four stroke combustion engine. Comparing of particular kind of injection systems of two-track vehicles. It specializes in PDE injection and consumption at line Nová Ves to Slatiňany and drive with neutral or any gear. At the end of the thesis it deals with evaluation of measured values and comparison of pros and cons.

## **KEYWORDS**

Fuel, injection system, four stroke engine, hill, braking, range

# OBSAH

Úvod.....	13
1 Úspora paliva .....	14
2 Funkční popis čtyřdobého motoru .....	16
3 Vstřikování paliva.....	18
3.1 Přímé vstřikování .....	19
3.1.1 Základní komponenty přímého vstřikování .....	20
3.2 Nepřímé vstřikování .....	24
4 Vysokotlaké systémy vstřikování motorové nafty.....	25
4.1 Základní rozdělení palivových soustav.....	25
4.1.1 Palivová soustava se stejným počtem vstřikovacích jednotek jako je počet válců motoru.....	25
4.1.2 Palivová soustava se vstřikovacím čerpadlem s vysokotlakým rozdělovačem paliva .....	25
4.1.3 Palivové systémy s elektronickou regulací .....	26
4.2 Systémy vstřikování motorové nafty .....	27
4.2.1 Řadová vstřikovací čerpadla.....	27
4.2.2 Rotační (jednopístová) vstřikovací čerpadla.....	30
4.2.3 Rotační (vícepístová) radiální vstřikovací čerpadla.....	31
4.2.4 Vstřikovací systém Common Rail .....	31
5 Palivová soustava se sdruženou vstřikovací jednotkou PDE.....	33
6 Základní rozdíl vstřikování mezi starými a novými automobily.....	35
7 Praktická část – experiment .....	36
7.1 Podmínky a metodika měření .....	37
8 Měřená trasa.....	40
8.1 Měření 1 – režim jízdy bez zařazeného rychlostního stupně.....	41
8.2 Měření 2 - režim jízdy bez zařazeného rychlostního stupně při dodržení maximální povolené rychlosti.....	45
8.2.1 Měření 3 - režim jízdy bez zařazeného rychlostního stupně při dodržení maximální povolené rychlosti za použití letního obutí.....	48
8.3 Zařazený rychlostní stupeň .....	49
8.3.1 Měření 4 - Zařazený rychlostní stupeň v kombinovaném režimu jízdy .....	53
9 Zhodnocení měřených případů .....	56
10 Závěr .....	58
Seznam literatury .....	60



## SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1- Pracovní oběh (cyklus) čtyřdobého zážehového motoru .....	17
Obrázek 2– Systém přímého vstřikování paliva .....	20
Obrázek 3 – Podélný a příčný řez vysokotlakým čerpadlem HDP1 .....	21
Obrázek 4 – Vysokotlaký vstřikovací ventil.....	23
Obrázek 5 - Nepřímé vstřikování paliva.....	24
Obrázek 6 – Tlakový zásobník Common Rail.....	27
Obrázek 7 - Průhledová kresba vstřikovací jednotky řadového čerpadla.....	29
Obrázek 8 – Schéma systému Common Rail.....	32
Obrázek 9 – Sdružená vstřikovací jednotka PDE.....	34
Obrázek 10 - Zvolené vozidlo pro experiment se vstřikovacím systémem PDE .....	36
Obrázek 11– Autodiagnostika pro získání potřebných hodnot.....	36
Obrázek 12 – HEX+CAN kabel pro propojení vozidla s počítačem .....	37
Obrázek 13 – Zobrazení měřeného úseku na mapě .....	40
Obrázek 14 – znázornění klesání na měřené trase .....	40
Graf 1 – závislost spotřeby paliva v čase na neutrál .....	40
Graf 2 – závislost otáček motoru v čase na neutrál .....	40
Graf 3 – znázornění rychlosti vozidla při klesání na neutrál .....	40
Graf 4 - závislost spotřeby paliva v čase na neutrál při udržování rychlosti 90 km/h .....	43
Graf 5 - závislost otáček motoru v čase na neutrál při udržování rychlosti 90 km/h .....	43
Graf 6 - znázornění rychlosti vozidla při klesání na neutrál a udržování rychlosti 90 km/h ..	43
Graf 7 – závislost spotřeby paliva v čase na šestý rychlostní stupeň .....	48
Graf 8 – závislost otáček motoru v čase na šestý rychlostní stupeň .....	48
Graf 9 - znázornění rychlosti vozidla při klesání na šestý rychlostní stupeň .....	48
Graf 10 – závislost spotřeby paliva v čase na šestý rychlostní stupeň v kombinovaném režimu .....	51
Graf 11 – závislost otáček motoru v čase na šestý rychlostní stupeň v kombinovaném režimu.....	51
Graf 12 - znázornění rychlosti vozidla při klesání na 6. rychlostní stupeň v kombinovaném režimu .....	51
Tabulka 1- naměřené hodnoty pro výpočty na neutrál, upraveno podle Gregory .....	42

Tabulka 2- naměřené hodnoty pro výpočty na šestý rychlostní stupeň, upraveno podle Gregory .....	50
Tabulka 3- Shrnutí naměřených hodnot.....	56

## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

STK – Stanice technické kontroly.

SME – Stanice měření emisí

PD – (Pumpe-Düse) Vstřikovací jednotky jsou složeny z vysokotlakých vstřikovačů se zabudovanými vstřikovacími tryskami.

PDE – (Pumpe-Düse-Einheit) Systém sdružených vstřikovacích jednotek „čerpadlo – tryska“

PLD – (Pumpe-Leitung-Düse) Modulární vysokotlaký vstřikovací systém se samostatnými jednopístovými vstřikovacími čerpadly poháněný vačkovým hřídelem ventilového rozvodu motoru. Též česky označováno „čerpadlo-potrubí-tryska“

CR – Vysokotlaký vstřikovací systém paliva Common Rail

DÚ – Dolní úvrať pístu ve válci

HÚ – Horní úvrať pístu ve válci

K-Jetronic – Mechanický vstřikovací systém s kontinuálním (nepřetržitým) vstřikováním paliva

KE-Jetronic – Vstřikovací systém paliva s použitím elektronické řídicí a elektrohydraulického nastavovače tlaku.

L-Jetronic – Elektronicky řízený vstřikovací systém s přerušovaným simultánním vstřikováním paliva do sacího potrubí a měřičem množství nasávaného vzduchu

LH-Jetronic – Vyvinutější princip vstřikování paliva L-Jetronic. Rozdíl je pouze v principu měření množství vzduchu.

CO – oxid uhelnatý

HC – organická sloučenina, jejíž molekula se skládá výhradně z atomů uhlíku a vodíku

NO<sub>x</sub> – oxidy dusíku

EDC – (Electronic Diesel Control) Elektronická regulace výkonu vznětového motoru

UIS – (Unit Injektor Systém) viz PDE

SV – Sací ventil

VV – Výfukový ventil

EURO – Emisní normy stanovující limitní hodnoty výfukových exhalací, které platí po celé Evropské unii.

OBD - (On-Board Diagnostics) Palubní diagnostika vozidla

USB - (Universal Serial Bus) Universální sériová sběrnice sloužící pro připojení periferií k počítači.

TDI - (Turbocharged Direct Injection) Vznětové motory s přímým vstřikem paliva vybavené turbodmychadlem

## Úvod

Znečišťování prostředí je jedním z globálních problémů lidstva. V dnešní době je dbán největší zřetel na ekologii nejen v dopravě, ale také v průmyslu. S postupným růstem populace na Zemi se bude celosvětová ekologie do budoucna pravděpodobně zhoršovat. Největší snahu na udržení a podporu životního prostředí vydávají úřady formou návrhu nových vyhlášek či zavádění norem, ať už do výroby, či nejrůznějších kontrol. Pokud se budeme bavit o motorových vozidlech, tak jejich provoz a dodržování kontroluje STK a SME. Ekologie motorových vozidel je regulována evropskými normami EURO I – VI, které vydal Evropský parlament a je platný pro všechny země EU.

Každý uživatel dvoustopého motorového vozidla by měl své vozidlo dostatečně ovládat a také vědět, že i řidič samotný může ovlivňovat tvorbu nežádoucích emisí, a to jak samostatnou jízdou, tak i celkovým udržováním vozidla. Tímto problémem se zabývá moje práce.

V této práci jsou zahrnuty poznatky ze zkušebních jízd a jejich následné vyhodnocení. Byla snaha odpovědět na otázku, zda je z hlediska spotřeby paliva lepší sjíždět táhlé klesání se zařazeným rychlostním stupněm, nebo zda je výhodnější sjíždět s vyřazenou rychlostí na tzv. neutrálu a zhodnotit způsob jízdy při sjíždění klesání. Měření je realizováno na vozidle se vznětovým agregátem.

## 1 Úspora paliva

Cest k úspoře paliva, a tím i snížení produkovaných emisí je několik. Jednou z nich je minimalizovat neproduktivní běh motoru vozidla. Za tímto účelem byl u mnoha nejen evropských, ale i světových značek automobilů vyvinut systém START/STOP. Tento systém funguje na principu automatického vypínání motoru při delším stání na semaforech nebo v kolonách, a u novějších vozidel je tento systém běžnou funkcí na snížení emisí. Především v městském provozu pomáhá tento systém snižovat spotřebu a také množství vyprodukovaných emisí. Tento systém má však i své nevýhody, které ale nemají takový dopad na životní prostředí jako výše zmiňované emise. Jednou z hlavních nevýhod je nekultivovaný chod motoru při automatickém startování a důsledkem toho je vznik vibrací a následný hluk. V neposlední řadě je nevýhodou kratší životnost součástí podporující tento elektronický systém, například startér. Ovšem zásadní problém tohoto systému je ztráta tlaku oleje pro mazané součásti spalovacího motoru a následné přídření těchto součástí a také nedochlazení turbodmychadla, čímž může dojít ke zdeformování naklápěcích lopatek<sup>1</sup>.

Dalším zásadním blokem pro úsporu paliva je dodržování správného tlaku v pneumatikách. Pokud se bude dodržovat ať doporučený nebo předepsaný tlak, je možno na každý litr paliva ujet více kilometrů z důvodu ideálního odvalování než s podhuštěnými nebo přehuštěnými pneumatikami. Není to sice nikterak vysoká úspora, ale pomáhá se tím i životnosti pneumatik.

Na úsporu paliva má také nezanedbatelný vliv způsob jízdy. To znamená nevytáčet motor do maximálních mezí ale také nepodtáčet motor skoro do volnoběžných otáček a dát pozor na agresivní jízdu, protože jejím vlivem se značně spotřebovává palivo. Na dálnici může tento způsob jízdy znamenat značné navýšení spotřeby. Ideální stav je také se vyhnout použití tempomatu. Tempomat slouží pouze k udržení rychlosti na delších rovných úsecích nebo na dálnicích. Tempomat funguje na principu dávkování paliva na základě polohy škrtky, čímž se docílí udržení zvolené rychlosti.

Dle uvedeného zdroje, který je převzatý z [goodyear.eu](http://goodyear.eu) je dalším z mnoha možností úspory paliva je při přepravě věcí se vyhnout nakládání zavazadel či jiného nákladu na přešňovací nosič vozidla. Umístěním nákladu dovnitř vozidla se sníží aerodynamický odpor, a tím se sníží množství spotřebovaného paliva. Stejný vliv na aerodynamický odpor mají otevřená okna

---

<sup>1</sup> Šmída Daniel, Start-Stop systémy, Pardubice 2016, s.25, Bakalářská práce, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, vedoucí práce Ing. Petr Jílek, DiS.

během jízdy. Jsou-li během jízdy okna otevřená, vzduch proudí až dovnitř vozidla a tím se zvýší aerodynamický odpor a dojde ke zvýšení spotřeby paliva<sup>2</sup>.

V neposlední řadě je důležité se zabývat i klimatizací vozidla, pokud je jím vozidlo vybaveno. K největší spotřebě paliva pomocí klimatizace dochází hned po spuštění na ochlazení interiéru u stojícího vozu na přímém slunečním světle. Vyšší spotřeba na ochlazení trvá přibližně tři minuty a podle německého autoklubu ADAC jde o spotřebu v rozmezí 0,76 až 2,11 l/100 km v městském provozu a 0,09 až 0,66 l/100 km na otevřených silnicích. Nepoužívání klimatizace za jízdy může ušetřit až 3 % pohonných hmot<sup>3</sup>.

Pro snížení celkové spotřeby je zapotřebí používat vhodný rychlostní stupeň a při vyšších rychlostech používat nejvyšší možný stupeň. Automobily jsou navrženy tak, aby se rozjížděly na co nejnižší rychlostní stupeň, protože právě v tomto okamžiku mají největší výkon potřebný pro rozjetí motorového vozidla.

---

<sup>2</sup> Pneu Šafránek. [online]. 2017 [citováno 2016-11-26]. Dostupné z: <<http://www.pneusafranek.cz/tipy-a-triky/tipy-pro-usporu-paliva>>

<sup>3</sup> Auto.cz, [online]. 2017 [citováno 2016-10-26]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/adac-jak-se-na-spotrebe-paliva-projevi-zapnuta-klimatizace-10969>>

## 2 Funkční popis čtyřdobého motoru

Ve válci se pohybuje píst spojený pístním čepem s vykyvující se ojnici. Ojnice přenáší tlak plynů z pístu na otáčející se klikový hřídel. V horní části je válec uzavřen hlavou válce, ve které je důležitou součástí ještě sací a výfukový kanál. Součástí sacího kanálu je sací ventil, který při sání umožňuje přístup a následné naplnění spalovacího prostoru zápalnou směsí. Výfukové plyny proudí z válce přes otevřený výfukový ventil do výfukového kanálu a následně dále do výfukového potrubí.

Princip činnosti:

1. doba – **sání** – Při pohybu pístu z horní úvratě do dolní úvratě vzniká ve válci podtlak 10 kPa až 20 kPa. Vzhledem k tomu, že tlak v okolí je vyšší než ve válci, je vzduch nasáván do sacího systému. V sacím systému dochází k mísení paliva se vzduchem pomocí karburátoru nebo vstřikovacího zařízení. Pomocí otevřeného sacího ventilu v této fázi je zajištěno naplnění válce motoru směsí paliva.

2. doba – **komprese (stlačování)** – V druhé době se píst pohybuje z dolní úvratě do horní, přičemž jsou oba ventily zavřené a dochází ke stlačení čerstvé náplně. Vlivem stlačení se zvýší ve válci teplota, která dosahuje teplot na konci zdvihu 350°C až 450°C. Současně se zvýší tlak ve válci až na 1,8 MPa. Těsně před horní úvratí (0° až 45°) v závislosti na otáčkách dojde k zapálení směsi.

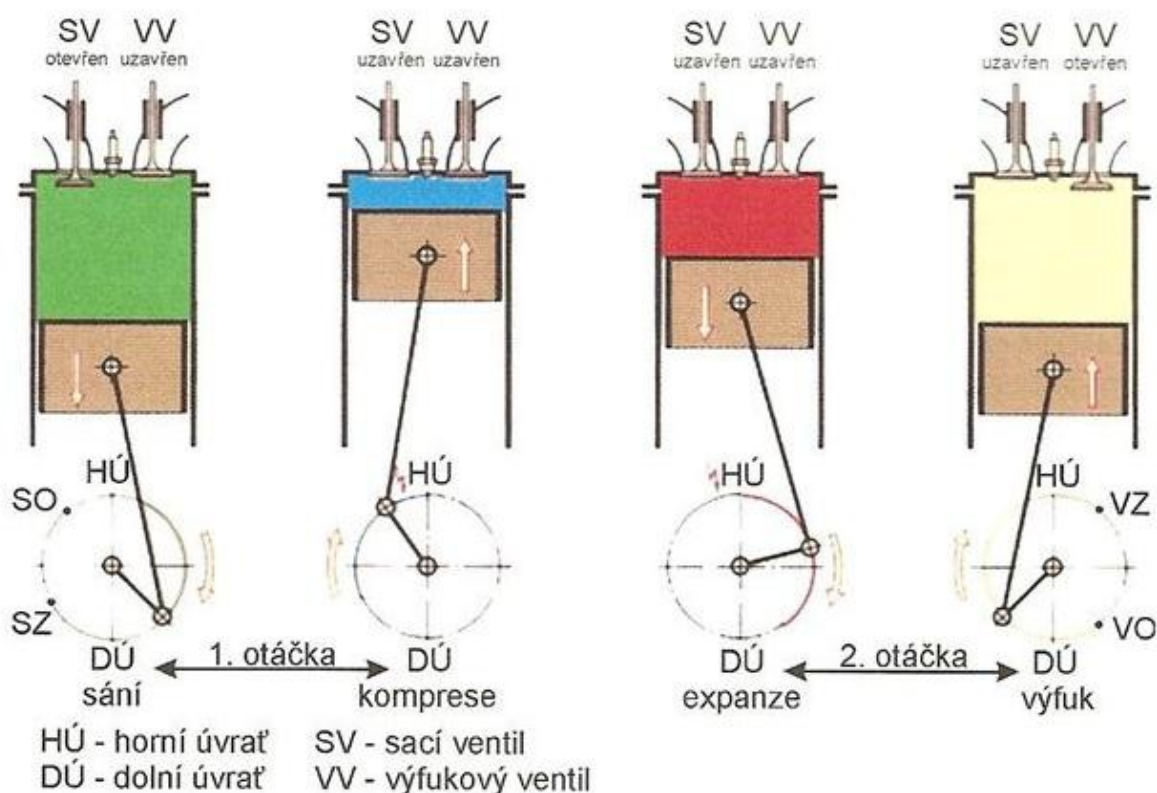
3. doba - **expanze** – Expanze je jedinou pracovní dobou čtyřdobého motoru. Píst se pohybuje z horní úvratě do dolní díky předchozímu zapálení směsi paliva a vzduchu. Během hoření dochází k teplotám 2000 °C až 2500 °C a k tomu vzniká příslušný maximální tlak 4 MPa až 6 MPa a tlačí píst do dolní úvratě. Během pohybu pístu se tepelná energie obsažená v palivu se přeměňuje na mechanickou práci.

4. doba – **výfuk** – Vlivem setrvačných sil z předchozí doby hoření dochází k pohybu pístu z dolní do horní úvratě a k následnému vyprazdňování spalovacího prostoru od vzniklých spalin z hoření přes výfukový ventil, přičemž se udržuje ve válci přetlak asi 0,2 MPa, kterým jsou vytlačovány zbytkové výfukové plyny. Během této doby také dochází k překrytí ventilů, které podporuje výplach válce a ochlazením spalovacího prostoru zlepšuje následné plnění válce<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Žďánský Bronislav, Jan Zdeněk, *Automobily 3 – Motory*. 6. vydání, Brno 2010. s. 13, 14, 15, 16, 17





Obrázek 1- Pracovní oběh (cyklus) čtyřdobého zážehového motoru <sup>4</sup>

Tyto fáze se neustále opakují, když je motor v činnosti.

Regulace dodávky paliva u karburátorových motorů je zajištěno nastavením hladiny plováku v plovákové komoře karburátoru a polohou škrtící klapky. Následně po průchodu paliva tryskou dochází ke směšování paliva s nasátým vzduchem nad škrtící klapkou a vytváření ideální spalovací směsi. Poloha škrtící klapky je ovládána z kabiny řidiče přes plynový pedál a lanko, kterým řidič reguluje přísun vzduchu a ovládá tím vytváření podtlaku v sacím traktu.

V dnešní době se dávkování paliva pomocí karburátorů již nevyskytuje kromě rozvojových zemí. Celý tento mechanismus je dnes u novějších vozidel nahrazen elektronikou.

<sup>4</sup> Žďánský Bronislav, Jan Zdeněk, *Automobily 3 – Motory*. 6. vydání, Brno 2010. s.14

### 3 Vstřikování paliva

Již na pokraji vývoje spalovacích motorů mělo své uplatnění dávkování paliva u leteckých motorů, u kterých kromě požadavku na dobré rozprášení paliva plnilo i další požadavky související s podmínkami provozu. Dávkování by mělo být nezávislé na zemské gravitaci, tlaku vzduchu a poloze motoru. Kromě výše zmíněných požadavků se vyžaduje ochrana před zamrzáním směšovacího zařízení ve vysokých letových výškách a vysoká bezpečnost provozu. Těmto požadavkům lépe vyhovuje vstřikování paliva. Průkopníkem ve vstřikování paliva byla firma Bosch, díky které bylo možno zavést do výroby vozidel přímé vstřikování paliva u dvoutaktních motorů. U těchto typů motorů přináší přímý vstřik paliva značnou úsporu paliva, ve volnoběžných otáčkách se může jednat až o 50 %. Oproti karburátorům se spotřeba během plynulé jízdy snížila o 20 % a vlivem menších ztrát se zvýšil výkon motoru rovněž o 20 %. V roce 1973 byly uvedeny rovněž firmou Bosch na trh systémy L a K-Jetronic, které se vyznačovali již velmi přesným dávkováním paliva a schopností krátké reakční doby při přechodových režimech. První systém s  $\lambda$ -sondou a třicestným katalyzátorem byl rozšířen v roce 1976. První digitální systém řízení motoru s integrací zapalování a vstřikování – systém Motronic – se objevuje na trhu v roce 1979. Roku 1982 byl doplněn elektronikou mechanický systém dávkování paliva K-Jetronic na KE-Jetronic. Později následoval systém Mono-Jetronic, určený pro vozidla s malým a středním obsahem válců. Následně byl tento systém nahrazen systémem Mono Motronic, který je použitý například ve vozidlech Škoda Favorit. V roce 2000 přichází firma Bosch na trh se systémem přímého vstřikování paliva do válců, označeným jako DI-Motronic a v roce 2005 přichází s inovovanou verzí DI-Motronic 2. generace.

Vstřikování paliva můžeme rozdělit z několika pohledů.

#### 1) Podle způsobu dávkování paliva:

**a) pulsní vstřik** – na každý pracovní cyklus odměří vstřikovací ventil jednou nebo dvěma dávkami potřebné množství paliva do sacího potrubí před sací ventil. Regulace dávky je provedena dobou vstřiku. Ta je obvykle řízena mikroprocesorem, který provádí příslušné korekce pro různé pracovní režimy motoru. Pro jednotlivá zatížení vyjádřená časem otevření vstřikovacího ventilu, připadající na jednu otáčku, jsou v paměti uloženy korekční činitele pro příslušné otáčkové rozsahy.

**b) sekvenční vstřík** – časovaný vstřík před sací ventil do jednotlivých válců v souladu s pořadím zapalování. Vstřikovací impulsy jsou řízeny v závislosti na frekvenci zapalovacích impulsů, (L-, LE-, LH-Jetronic).

**c) kontinuální vstřík** – nepřetržitá dodávka paliva do sacího systému. Regulace může být provedena buď změnou tlaku, nebo častěji regulací průtočného průřezu dávkovacího zařízení v závislosti na průtočném množství vzduchu (K-, KE-Jetronic).

**d) jednobodový (centrální) vstřík** – dávkování paliva do sacího potrubí v místě společném pro všechny válce motoru, často bývá použito u startovacích vstřikovacích ventilů, později samostatný systém Mono Motronic

**e) vícebodový vstřík** – samostatné vstřikovací ventily pro jednotlivé válce, dávka paliva se odměřuje před sací ventil do potrubí, případně přímo do válce<sup>5</sup>.

## 2) Podle způsobu uspořádání regulačního obvodu:

**a) otevřený** – směšovací poměr se nastavuje elektronickou řídicí jednotkou s naprogramovaným  $\lambda$ -polem. Tato jednotka podle okamžitého režimu otáček a zatížení dává impulsy akčním členům pro korekci dávky paliva.

**b) uzavřený** – pro zajištění výrazného snížení škodlivých exhalací ve výfukových plynech (CO, HC a NO<sub>x</sub>) se používá regulační obvod s třicestným katalyzátorem výfukových plynů a  $\lambda$ -sondou.  $\lambda$ -sonda zajišťuje dodržení součinitele přebytku vzduchu v úzkém rozmezí kolem hodnoty 1.

## 3) Podle způsobu dopravy paliva do spalovacího prostoru:

**a) přímý vstřík**

**b) vstřík do sacího kanálu (nepřímé vstřikování)**

**c) vstřík do sacího potrubí (nepřímé vstřikování)** <sup>6</sup>

### 3.1 Přímé vstřikování

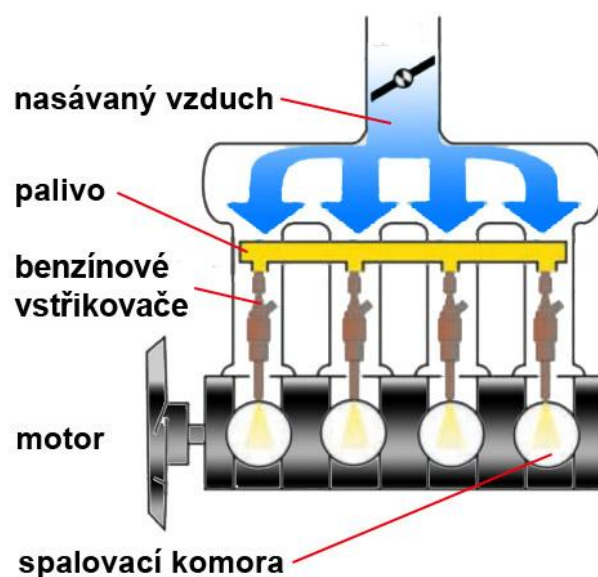
Tyto motory se vyznačují nižší měrnou efektivní spotřebou paliva, tedy ekonomičtějším provozem a snadnějším spouštěním motoru za nízkých teplot. U motorů s přímým

---

<sup>5</sup> Jílek Petr, Pokorný Jan, *Úvod do spalovacích motorů*. 1. vydání, Pardubice 2013. s. 152, 153

<sup>6</sup> Hromádko Jan, Hromádko Jiří, Hönig Vladimír, Miler Petr, *Spalovací motory*. 1. vydání, Praha 2011. s. 113, 114, 115

vstřikováním paliva se směs vzduchu a paliva vytváří přímo ve spalovacím prostoru. Během sacího cyklu je otevřeným sacím ventilem nasáván pouze vzduch, palivo je do spalovacího prostoru vstříknuto pod vysokým tlakem speciálními vstřikovači. Přesné odměrování, příprava, rozvod nasávaného vzduchu a vstřikovaného paliva při každém pracovním zdvihu pístu válce vede k nízké spotřebě paliva a nízké hladině emisí. Vysokotlaký okruh přímého vstřikování paliva je napájen vysokotlakým čerpadlem stlačujícím palivo na hodnotu vysokého tlaku vyžadovanou v rozdělovači paliva. Vstřikovače připojené k rozdělovači paliva mimořádně rychle měří a rozprašují palivo pod vysokým tlakem, aby se dosáhlo nejlepšího možného vytváření směsi přímo ve spalovacím prostoru.



Obrázek 2– Systém přímého vstřikování paliva <sup>7</sup>

### 3.1.1 Základní komponenty přímého vstřikování

Základní komponenty tvoří tlakový zásobník, vysokotlaké čerpadlo, ventil pro řízení tlaku, snímač tlaku v tlakovém zásobníku a vysokotlaký vstřikovací ventil.

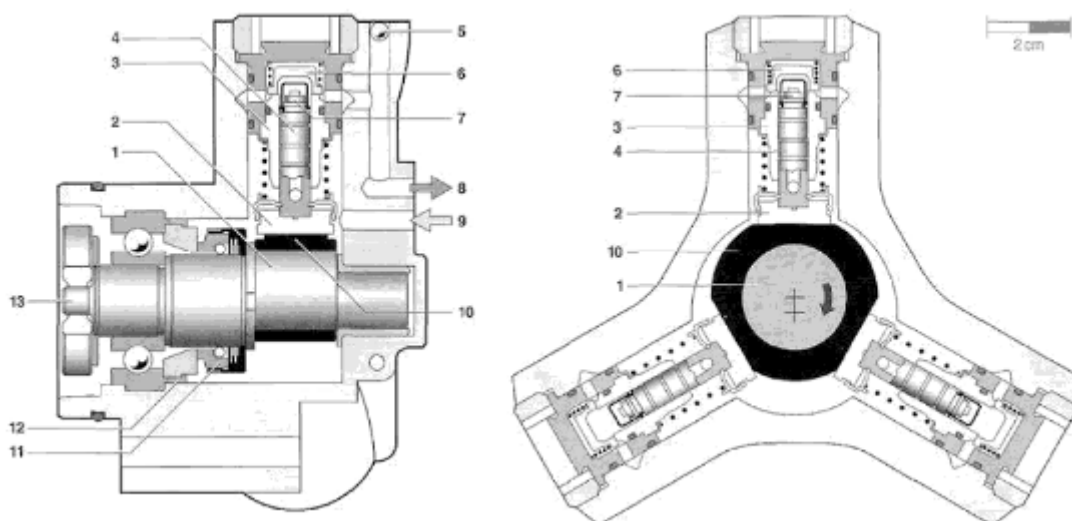
#### **Tlakový zásobník**

Tlakový zásobník (Rail) má za úkol ukládat palivo dodávané vysokotlakým čerpadlem a rozdělovat je vysokotlakým ventilům. Objem tlakového zásobníku je dostatečný k vyrovnání pulsací v palivovém okruhu. Materiálem na výrobu zásobníku je hliníková slitina a konstrukční provedení (objem, hmotnost, rozměry atd.) závisí na motoru a použitém systému vstřikování paliva.

<sup>7</sup> Neptun Harfa, [online]. 2017 [citováno 2016-11-12]. Dostupné z:< <http://www.neptun-harfa.cz/System-primeho-vstrikovani/3871.html>>

## Vysokotlaké čerpadlo

Vysokotlaké čerpadlo má za úkol stlačovat palivo, dodávané elektrickým palivovým čerpadlem s podávacím tlakem 0,3 – 0,5 MPa v dostatečném množství, na tlak potřebný pro vysokotlaké vstřikování, tedy 5–12 MPa. Při startování je nejprve palivo dodáváno pod podávacím tlakem. Po zvýšení otáček motoru je vytvořen vysoký tlak vhodný pro vstřik paliva do spalovacího prostoru. Pulsace způsobené vysokotlakým čerpadlem musejí být co nejmenší, aby se snadno odstranily v tlakovém zásobníku. Vysokotlaké čerpadlo musí být chlazeno a mazáno palivem, aby se dopravované palivo nemohlo mísit s mazivem, což by mělo za následek spalování oleje a vyšší tvorbu emisních látek. Dopravované množství paliva je úměrné otáčkám motoru. Maximální dodávané množství paliva vysokotlakým čerpadlem je o něco vyšší než maximální spotřeba paliva, aby bylo bezpečně a spolehlivě zajištěno dostatečné množství paliva a aby bylo ohřívání paliva udrženo na nízké úrovni. Přebytečné palivo je vráceno zpět pomocí vratného potrubí zpět do nádrže.



1 – excentr, 2 – kluzný segment, 3 – válec čerpadla, 4 – element čerpadla s pístem (dutý píst, přítok paliva), 5 – uzavírací kulička, 6 – výstupní ventil, 7 – vstupní ventil, 8 – přípojka k tlakovému zásobníku, 9 – přívod paliva (nízký tlak), 10 – zdvihový kroužek, 11 – axiálně působící těsnění (těsnicí třecí kroužek), 12 – statické těsnění, 13 – hnací hřídel

Obrázek 3 – Podélný a příčný řez vysokotlakým čerpadlem HDP1 <sup>8</sup>

<sup>8</sup> Hromádko Jan, Hromádko Jiří, Hönig Vladimír, Miler Petr, *Spalovací motory*. 1. vydání, Praha 2011. s. 139

### **Ventil pro řízení tlaku**

Ventil pro řízení tlaku je umístěn mezi tlakovým zásobníkem a nízkotlakou stranou vysokotlakého čerpadla. Ventil pro řízení tlaku nastavuje požadovaný tlak v tlakovém zásobníku změnou průřezu tak, že palivo, které dodá vysokotlaké čerpadlo navíc, dopravuje do nízkotlakého okruhu. Signál modulovaný šířkou impulsu řídí cívku. Kulička se nadzvedne ze sedla ventilu a mění průtočný průřez ventilu. Ventil pro řízení tlaku je bez připojeného napětí zavřený, aby i při výpadku elektrického zařízení byl zajištěn potřebný tlak v zásobníku. K ochraně komponent před nepřípustně vysokým tlakem je v zásobníku integrována funkce k omezení tlaku.

### **Snímač tlaku v tlakovém zásobníku**

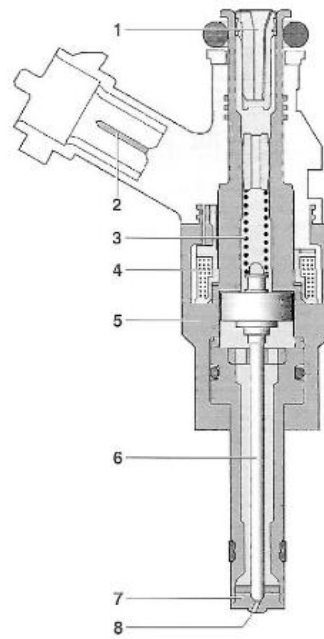
Snímače tlaku v tlakových zásobnících u systémů měří tlak paliva v tlakovém zásobníku paliva. Přesné dodržení předepsaného tlaku paliva v zásobníku má velký význam pro emise škodlivých látek, hlučnost a výkon motoru. Tlak paliva je regulován v regulačním okruhu. Případné odchylky od požadované hodnoty jsou vyrovnávány ventilem pro řízení tlaku. Přípustné tolerance pro tento snímač tlaku jsou velmi malé. Snímač tlaku systému MED-Motronic je obdobný snímači tlaku jako je u systému Common Rail.

### **Vysokotlaký vstřikovací ventil**

Vysokotlaký vstřikovací ventil (viz obrázek č. 4) představuje rozhraní mezi tlakovým zásobníkem a spalovacím prostorem. Úkolem vysokotlakého vstřikovacího ventilu je dávkovat palivo a jeho rozprášením dosáhnout cíleného promísení paliva se vzduchem v určité oblasti spalovacího prostoru. V závislosti na požadovaném provozním režimu je palivo koncentrováno v oblasti kolem zapalovací svíčky (vrstveně) nebo rovnoměrně rozprášeno v celém spalovacím prostoru (homogenní rozdělení). Vysokotlaký vstřikovací ventil se skládá ze sedla ventilu, jehly trysky s kotvou, pružiny a cívky. Podstatnými rozdíly přímého vstřikování oproti vstřikování do sacího potrubí jsou vyšší tlak paliva a podstatně kratší čas, který je k dispozici k dopravě paliva do spalovacího prostoru<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Hromádko Jan, Hromádko Jiří, Hönig Vladimír, Miler Petr, *Spalovací motory*. 1. vydání, Praha 2011. s. 138, 139, 140, 141



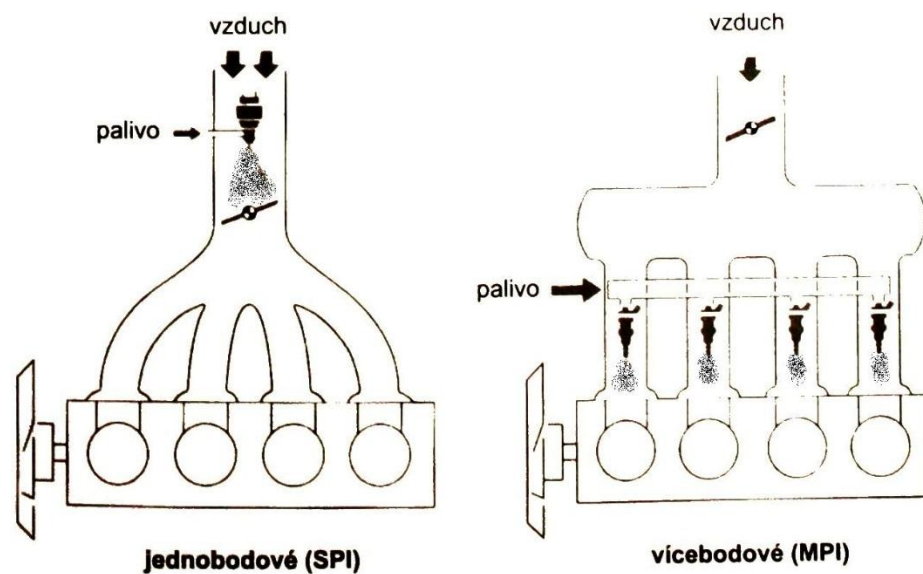
- 1 – přítok s jemným sítkem, 2 – elektrická přípojka,  
 3 – pružina, 4 – cívka, 5 – pouzdro, 6 – jehla trysky  
 s kotvou, 7 – sedlo ventilu, 8 – výstupní otvor ventilu

Obrázek 4 – Vysokotlaký vstříkovací ventil <sup>10</sup>

<sup>10</sup> Hromádko Jan, Hromádko Jiří, Hönig Vladimír, Miler Petr, *Spalovací motory*. 1. vydání, Praha 2011. s. 141

### 3.2 Nepřímé vstřikování

Palivo je vstřikováno do sacího potrubí, popřípadě do sacího kanálu. Palivo může být vstřikováno během sacího pracovní doby pístu a mísit se s nasávaným vzduchem, ale může také být vstřikováno i před otevřením sacího ventilu a po následném otevření sacího ventilu je pak nasávána již předmísená směs. Ke konečnému promísení a vytvoření zápalné směsi dochází ve válci motoru během kompresního zdvihu pístu. Řízení vstřikování může být mechanické nebo elektronické. Elektronicky řízené vstřikování má přesnější přizpůsobení dávky paliva jednotlivým režimům chodu motoru a umožňuje vytvoření některých přídatných funkcí<sup>11</sup>.



Obrázek 5 - Nepřímé vstřikování paliva<sup>12</sup>

<sup>11</sup> Žďánský Bronislav, Jan Zdeněk, *Automobily 4 – Příslušenství*. 3. vydání, Brno 2010. s. 49

<sup>12</sup> Učíme v prostoru, [online]. 2017 [citováno 2016-12-22]. Dostupné z: < [http://uvp3d.cz/drtic/?page\\_id=2267](http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2267)>



## 4 Vysokotlaké systémy vstřikování motorové nafty

Úkolem správně fungujícího vysokotlakého vstřikovacího systému motorové nafty je mnohonásobně zvýšit tlak dopravovaného paliva do spalovacího prostoru, aby došlo k co nejjemnějšímu rozprášení paliva a tím dosáhnout co nejlepšího prohoření paliva a následného snížení tvorby škodlivých emisí.

### 4.1 Základní rozdělení palivových soustav

#### 4.1.1 Palivová soustava se stejným počtem vstřikovacích jednotek jako je počet válců motoru

Vstřikovací jednotky (písty s válci) mohou být umístěny ve společné skříni, tzv. řadová vstřikovací čerpadla s vlastním pohonem (vačkovým hřídelem). Používají se především u vznětových motorů nákladních automobilů.

Samostatné vstřikovací jednotky, umístěné většinou na bloku motoru (klikové skříni) a poháněné vačkovým hřídelem ventilového rozvodu motoru. Tento druh palivových soustav je rozšířen zejména u vznětových motorů s větším zdvihovým objemem (lokomotivy, lodní motory). Vstřikovací tlak se pohybuje až okolo hodnoty 150 MPa.

#### 4.1.2 Palivová soustava se vstřikovacím čerpadlem s vysokotlakým rozdělovačem paliva

Vstřikovací čerpadla s rozdělovačem paliva, tzv. rotační, jsou používána u rychloběžných vznětových motorů osobních a lehkých užitkových vozidel do výkonu okolo 150 kW. V současné době se používají dva konstrukční typy vstřikovacích čerpadel:

- Jednopístová s axiálním pohybem pístu, kde počet výtlačných zdvihů pístu na jedno otočení odpovídá počtu válců v motoru. Píst kromě výtlačku řídí svým otáčivým pohybem rozdělení paliva do jednotlivých vstřikovačů.
- Dvoupístová s protiběžným radiálním pohybem pístu – výhodou těchto čerpadel je možnost dosažení vysokých vstřikovacích tlaků (až 160 MPa) při poměrně malých vnějších rozměrech.

Všechna předchozí konstrukční provedení lze opatřit systémem elektronické regulace množství vstřikovaného paliva (EDC).

#### 4.1.3 Palivové systémy s elektronickou regulací

Vedle již zmiňovaných systémů řadových a rotačních vstřikovacích čerpadel s elektronickou regulací sem patří:

- Palivová soustava PLD
- Palivová soustava PDE
- Zásobníkový systém Common Rail

##### **Palivová soustava PLD**

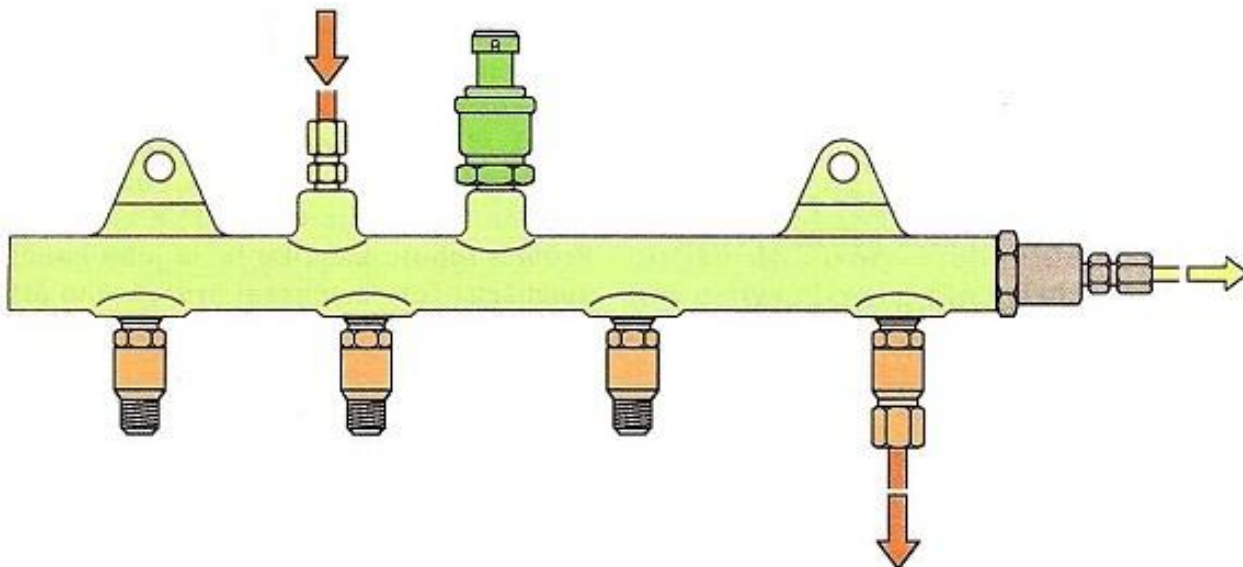
Systém „čerpadlo – potrubí – tryska“. Jedná se o modulární vysokotlaký vstřikovací systém se samostatnými jednopístovými vstřikovacími čerpadly, poháněnými vačkovým hřídelem ventilového rozvodu motoru. Počet čerpadel odpovídá počtu válců motoru. Ze vstřikovacích čerpadel je palivo přiváděno krátkým vstřikovacím potrubím k příslušným vstřikovačům jednotlivých válců motoru (vstřikovací tlak až 180 MPa na trysce). Regulace vstřikování je prováděna elektronickou řídicí jednotkou prostřednictvím elektromagnetických ventilů umístěných na jednotlivých vstřikovacích čerpadlech.

##### **Palivová soustava se sdruženými vstřikovacími jednotkami PDE**

Systém „čerpadlo – tryska“. V tomto případě tvoří pístová vstřikovací jednotka a vstřikovací tryska jeden celek umístěný v hlavě válce. Vstřikovací jednotky pohání vačkový hřídel ventilového rozvodu, elektromagnetické ventily a elektromagnetická regulace jsou součástí sdružených vstřikovacích jednotek. U tohoto systému tedy odpadá vstřikovací potrubí a vstřikovací tlaky mohou dosahovat hodnot až 200 MPa. Určitou nevýhodou je obtížné použití u stávajících motorů s původně konvenčním vstřikovacím zařízením.

## Zásobníkový systém Common Rail

Vyznačuje se použitím jednoho vysokotlakého čerpadla (obvykle třípístkového) a společného palivového potrubí (zásobníku tlaku), které je potrubím spojeno s jednotlivými vstřikovači. U nejnovějších provedení tohoto systému dosahuje vstřikovací tlak hodnoty až 160 MPa. Je zvláště vhodný pro současné rychloběžné víceválcové motory s přímým vstřikováním paliva<sup>13</sup>.



Obrázek 6 – Tlakový zásobník Common Rail<sup>14</sup>

## 4.2 Systémy vstřikování motorové nafty

### 4.2.1 Řadová vstřikovací čerpadla

Účelem řadového čerpadla je vytvořit požadovaný vstřikovací tlak, přesně odměřit vstřikované množství paliva v závislosti na poloze akceleračního pedálu a v neposlední řadě přizpůsobit okamžik vstřiku paliva otáčkám motoru.

Vstřikovací čerpadlo sestává z těchto základních částí:

- Skříň – dnes většinou vyrobené z hliníkové slitiny, ve které jsou uloženy vstřikovací jednotky.
- Kompletní vstřikovací jednotky – počet vstřikovacích jednotek je shodný s počtem válců motoru a jsou poháněny vačkovým hřídelem

<sup>13</sup> Žďánský Bronislav, Jan Zdeněk, *Automobily 4 – Příslušenství*. 3. vydání, Brno 2010. s. 205, 206

<sup>14</sup> Žďánský Bronislav, Jan Zdeněk, *Automobily 4 – Příslušenství*. 3. vydání, Brno 2010. s.293

- Vačkový hřídel – uložen obvykle na dvou valivých ložiskách. Pohon vačkového hřídele je proveden od hnacího hřídele buď přímo spojkou, nebo je v případě potřeby mezi hnací a vačkový hřídel vložen předsuvník vstříku<sup>15</sup>.

Řadová vstříkovací čerpadla mají pro každý válec motoru jeden element čerpadla, ten se skládá z válce čerpadla a pístu čerpadla. Píst čerpadla se pohybuje ve směru dodávky prostřednictvím vačkového hřídele poháněného motorem a vrací se zpět pružinou pístu. Elementy čerpadla jsou uspořádány v řadě. Zdvih pístu je neměnný. Aby bylo možné dosáhnout změny dávky, jsou v pístu šikmé řídicí hrany, takže lze pootočením pístu pomocí posuvné regulační tyče dosáhnout požadovaného užitého zdvihu. Mezi vysokotlakým prostorem čerpadla a začátkem vstříkovacího vedení jsou podle podmínek vstříku umístěny přídatné výtlačné ventily. Ty určují přesné ukončení vstříku, zamezují dostřiku u vstříkovací trysky a zajišťují rovnoměrné pole charakteristik čerpadla<sup>16</sup>.

### **Standartní řadová vstříkovací čerpadla**

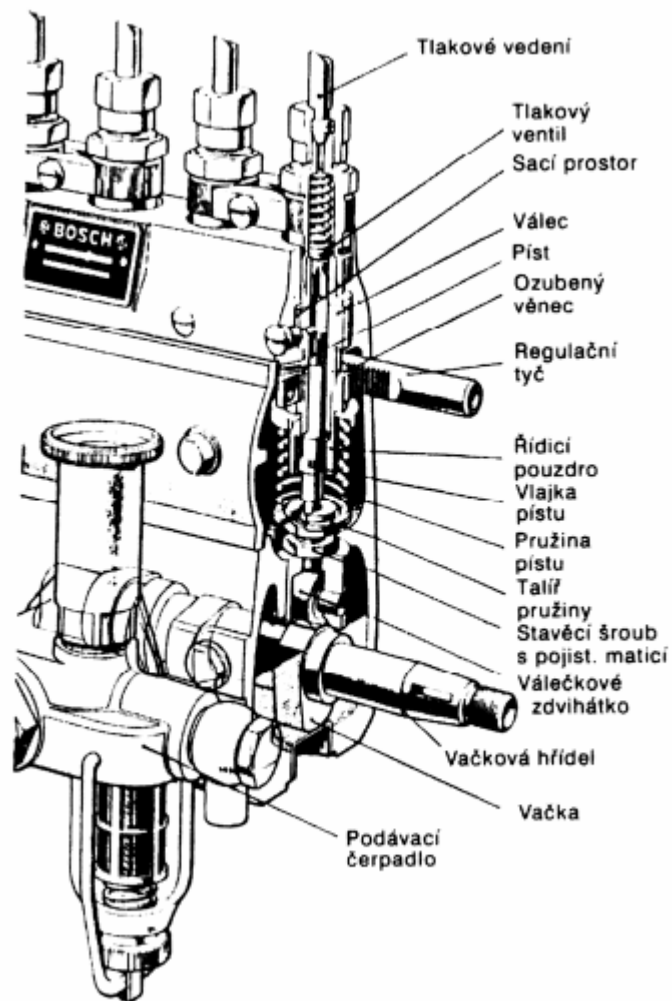
Počátek dodávky je určen sacím otvorem, který se uzavře horní hranou pístu. V pístu šikmo umístěná řídicí hrana uvolňující otvor sání, určuje vstříkovanou dávku. Poloha regulační tyče je řízena mechanickým odstředivým regulátorem nebo elektrickým nastavovacím mechanismem.

### **Řadová vstříkovací čerpadla se zdvihovými šoupátky**

Řadová vstříkovací čerpadla se zdvihovými šoupátky se liší od běžných řadových vstříkovacích čerpadel zdvihovým šoupátkem kluzně umístěným na pístu čerpadla. Pomocí tohoto šoupátka lze měnit úvodní zdvih, a tedy také počátek dodávky paliva, popřípadě vstříku pomocí přídatného ovládacího hřídele. Pozice zdvihového šoupátka se nastavuje v závislosti na různých veličinách. Řadová vstříkovací čerpadla se zdvihovými šoupátky mají na rozdíl od standartních řadových vstříkovacích čerpadel (Bosch PE) přídatné stupně volnosti.

<sup>15</sup> Žďánský Bronislav, Jan Zdeněk, *Automobily 4 – Příslušenství*. 3. vydání, Brno 2010. s. 212

<sup>16</sup> Vlk František, *Elektronické systémy motorových vozidel 1*. 1. vydání, Brno 2002. s. 162



Obrázek 7 - Průhledová kresba vstříkovací jednotky řadového čerpadla<sup>17</sup>

<sup>17</sup> Žďánský Bronislav, Jan Zdeněk, *Automobily 4 – Příslušenství*. 3. vydání, Brno 2010. s. 213

#### 4.2.2 Rotační (jednopístová) vstříkovací čerpadla

Tento druh čerpadel je vhodný pro motory osobních automobilů a menších užitkových vozidel. Hlavními výhodami jednopístových čerpadel oproti řadovým je malá hmotnost, kompaktní konstrukce, nezávislost na mazacím systému motoru a také, že použití pouze jednoho pístu zaručuje ve všech válcích motoru stejný počátek dopravy paliva a stejnou velikost jeho dodávky<sup>18</sup>. Rotační vstříkovací čerpadla mají mechanický regulátor otáček nebo elektronický regulátor s integrovaným přesuvníkem vstříku<sup>19</sup>.

Tento typ čerpadel se skládá z nízkotlakého a vysokotlakého okruhu. Hlavní součásti nízkotlakého okruhu jsou: čistič paliva, lamelové (křídlové) dopravní palivové čerpadlo, redukční ventil a škrťací tryska. Vysokotlakými součástmi jsou: axiální vačka, těleso rozdělovače a výtlačný ventil<sup>20</sup>.

#### **Rotační vstříkovací čerpadla s axiálním pístem**

U rotačních vstříkovacích čerpadel s axiálním pístem dopravuje křídlaté lopatkové čerpadlo palivo do prostoru čerpadla. Centrálně umístěný rozdělovací píst, který je otáčen váčkovým kotoučem, vytváří tlak a rozděluje palivo k jednotlivým válcům. Během jedné otáčky hřídele pohonu dělá píst tolik zdvihů, kolika válcům motoru musí dodávat palivo. Váčky na spodní straně váčkového kotouče se odvalují po kladkách prstence kladek a způsobují u rozdělovacího pístu přidavně točivému pohybu také zdvihový pohyb.

U běžného rotačního vstříkovacího čerpadla s axiálním pístem (Bosch VE) s mechanickým odstředivým regulátorem otáček nebo elektronicky regulovaným nastavovacím mechanismem určuje užitný zdvih regulační šoupátko, které takto dávku vstříkovanou dávku. Počátek dodávky čerpadla lze přestavit pomocí prstence s kladkami (přesuvník vstříku). U rotačních vstříkovacích čerpadel s axiálním pístem ovládaných elektromagnetickým ventilem dávkuje palivo elektronicky řízený vysokotlaký elektromagnetický ventil vstříkovanou dávku místo regulačního šoupátka. Řídící a regulační signály jsou zpracovány ve dvou elektronických řídicích jednotkách (řídící jednotka čerpadla a motoru). Otáčky jsou regulovány vhodným nastavením akčních členů.

---

<sup>18</sup> Žďánský Bronislav, Jan Zdeněk, *Automobily 4 – Příslušenství*. 3. vydání, Brno 2010. s. 253, 254

<sup>19</sup> Vlk František, *Elektronické systémy motorových vozidel 1*. 1. vydání, Brno 2002. s. 162

<sup>20</sup> Žďánský Bronislav, Jan Zdeněk, *Automobily 4 – Příslušenství*. 3. vydání, Brno 2010. s. 258–260

## Samostatná jednoválcová vstříkovací čerpadla

Samostatná jednoválcová vstříkovací čerpadla (Bosch PF) (používaná u malých motorů, lokomotiv se vznětovými motory, lodních motorů a stavebních strojů) nemají vlastní vačkový hřídel (F=cizí pohon), odpovídají však principem činnosti řadovým vstříkovacím čerpadlům (Bosch PE). U velkých motorů je mechanicko-hydraulický nebo elektronický regulátor montován přímo na tělese motoru. Jím určená dávka se přenáší přes pákový mechanismus začleněný v motoru. Poháněcí vačky pro jednotlivá vstříkovací čerpadla PF jsou umístěny na vačkovém hřídeli pro ovládání ventilů motoru. Proto nelze realizovat přestavení vstříků pootáčením vačkového hřídele. Zde však lze přestavením mezičlenů (například kulisa mezi vačkovým hřídelem a zdvihátkem) dosáhnout změny úhlu přestavení s hodnotou několika úhlových stupňů. Samostatná jednoválcová vstříkovací čerpadla jsou také vhodná pro provoz s vysoce viskózními těžkými oleji.

### 4.2.3 Rotační (vícepístová) radiální vstříkovací čerpadla

Rotační vstříkovací čerpadla s radiálními písty byla vyvinuta pro rychloběžné vznětové motory s přímým vstříkáváním paliva. Vyznačují se vysokou rychlostí při regulaci množství vstříkovaného paliva a počátku vstříku. Jsou schopna vyvinout špičkový vstříkovací tlak až 185 MPa, běžné hodnoty se pohybují okolo 150 MPa<sup>21</sup>. U tohoto systému vstříkování dodává křídlové palivové čerpadlo palivo. Čerpadlo s radiálními písty s vačkovým kroužkem a dvěma až čtyřmi radiálními písty realizuje vytváření vysokého tlaku a dodávky paliva. Vysokotlaký elektromagnetický ventil dávkuje vstříkované množství. Počátek dodávky se přestavuje pootáčením vačkového kroužku prostřednictvím přesuvníku vstříku. Stejně jako u elektromagnetickým ventilem ovládaného čerpadla s axiálním pístem jsou také zde veškeré řídicí a regulační signály ve dvou řídicích jednotkách (řídicí jednotka motoru a čerpadla). Otáčky jsou regulovány vhodným nastavením akčního členu<sup>22</sup>.

### 4.2.4 Vstříkovací systém Common Rail

U vstříkovacího systému "Common Rail" je odděleno vytváření tlaku a vstříkování. Vstříkovací tlak je vytvářen nezávisle na otáčkách motoru a vstříkované dávce paliva. Palivo je připraveno pro vstříkování ve vysokotlakém zásobníku paliva. Vstříkovanou dávku paliva určuje řidič polohou plynového pedálu, okamžik vstříku a vstříkovací tlak jsou vypočteny z uložených datových polí hodnot v řídicí jednotce a realizovány vstříkovačem každého válce prostřednictvím řízeného elektromagnetického ventilu.

<sup>21</sup> Žďánský Bronislav, Jan Zdeněk, *Automobily 4 – Příslušenství*. 3. vydání, Brno 2010. s. 271

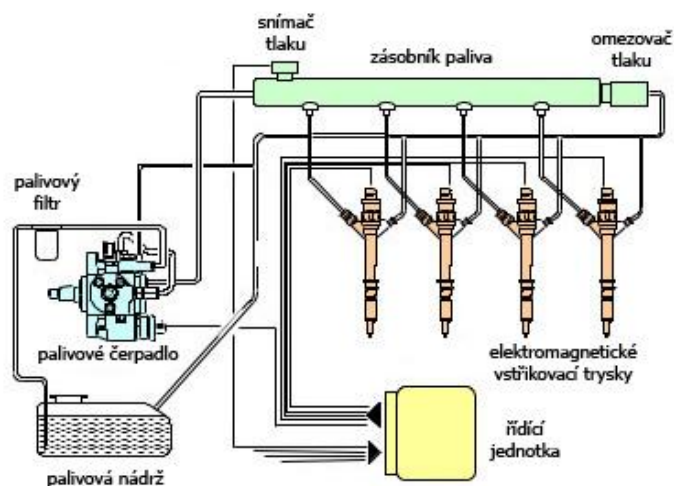
<sup>22</sup> Vlk František, *Elektronické systémy motorových vozidel 1*. 1. vydání, Brno 2002. s. 163

Základní funkce se řídí vstřikováním paliva ve správný okamžik, se správným množstvím a s daným tlakem. Zajišťují tím příznivou spotřebu a klidný chod vznětového motoru. Přídavné řídicí a regulační funkce slouží ke snížení emisí a spotřeby nebo ke zvýšení komfortu a bezpečnosti. Například to jsou: regulace plnicího tlaku, tempomat nebo recirkulace výfukových plynů.

Vstřikovací systém Common Rail je vstřikovací systém s tlakovým zásobníkem. To znamená, že u tohoto systému je k dispozici kontinuální tlak paliva, zatímco u původních systémů je pro každé vstřikování zapotřebí stále nový nárůst tlaku paliva do systému. Vytváření tlaku a vstřikování paliva je tedy u tohoto vstřikovacího systému oddělené. Vstřikovací tlak je vytvářen nezávisle na otáčkách motoru, na vstřikovaném množství a je připraven v rozdělovači pro vstřikování.

Předností tohoto systému jsou:

- vyšší vstřikovací tlak (140MPa),
- na každý provozní stav přizpůsobené vstřikované množství paliva, tlak paliva ve vysokotlakém zásobníku a počátek vstřiku,
- variabilní předvstřikování k optimalizaci kvality spalování ve všech provozních stavech,
- malé odchylky a vysoká přesnost během celé životnosti<sup>23</sup>.



Obrázek 8 – Schéma systému Common Rail<sup>24</sup>

<sup>23</sup> Vlk František, *Elektronické systémy motorových vozidel 1*. 1. vydání, Brno 2002. s. 180

<sup>24</sup> Autolexicon.net, [online]. 2017 [citováno 2017-1-15]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/common-rail/>



## 5 Palivová soustava se sdruženou vstříkovací jednotkou PDE

Palivová soustava se sdruženými vstříkovacími jednotkami PDE, (viz obrázek č. 9), z německého (**P**umpe – **D**üse – **E**inheit) je také označována zkratkou UIS z anglického (**U**nit **I**njektor **S**ystem) a všeobecně je systém nazýván „čerpadlo – tryska“. U tohoto vstříkovacího systému zcela odpadá vstříkovací čerpadlo a vysokotlaké potrubí, je možné dosáhnout podstatně vyššího vstříkovacího tlaku (až 220 MPa) než u řadových a rotačních vstříkovacích čerpadel. Vstřík je vypočten řídicí jednotkou a řízen otevřením a zavřením vysokotlakého elektromagnetického ventilu. Právě poměrně krátká, ale přece jenom choulostivá cesta stlačované nafty od vstříkovacího čerpadla ke vstříkovačům je slabým místem klasických palivových soustav vznětových motorů. I nepatrné rezonance potrubí vlivem tlakových kmitů mohou nepříznivě ovlivnit jak časování vstříku, tak i kvalitu rozprášení paliva do válců motoru<sup>25</sup>.

### **Konstrukce**

Sdružené vstříkovací jednotky jsou umístěny v hlavě válců. Vstříkovací tlak paliva se vytváří přímo ve vstříkovači pomocí integrovaného pístového čerpadla. Píst čerpadla je poháněn vačkou na vačkovém hřídeli ventilového rozvodu motoru prostřednictvím vahadla s kladkou. Vratný pohyb pístu je zajištěn vinutou pružinou. Palivo je dopravováno do vstříkovačů nízkotlakým palivovým čerpadlem rozváděcími kanálky v hlavě válců. Časový průběh nárůstu tlaku v prostoru pod pístem je ovládán elektromagnetickým ventilem. Nárůst tlaku nastává po uzavření elektromagnetického ventilu pomocí impulzu z řídicí jednotky motoru. Rychlé otevření elektromagnetického ventilu pak způsobí „ostré“ ukončení vstříkování, což je mimořádně důležité pro co nejdokonalejší spalování bez produkce emisí.

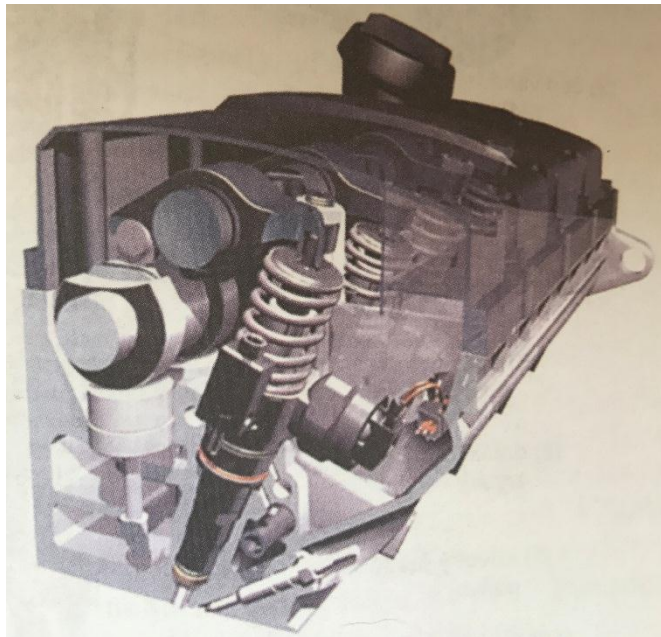
### **Princip činnosti**

Vysoký tlak se vytváří odděleně v každé jednotce (zvláště pro každý válec) pohybem pístu po uzavření elektromagnetického ventilu. Po dosažení požadovaného otevíracího tlaku dojde k nadzvednutí jehly ve vstříkovací trysce a ke vstříku paliva. Proces vstříku paliva řídí jednotka uzavíráním a otevíráním odtoku paliva elektromagnetickým ventilem. Tento systém umožňuje dosažení vstříkovacích tlaků až 200 MPa. Vyšší tlak přináší lepší rozvíření směsi, její lepší prohoření, a tím nižší emise a spotřebu, zatímco se zvýší výkon a účinnost motoru. Sdružené vstříkovací jednotky umožňují přesné stanovení objemu paliva pro takzvaný „pilotní vstřík“ (předvstřík). Předvstřík je vhodnou cestou k dosažení hladkého průběhu

---

<sup>25</sup> Žďánský Bronislav, Jan Zdeněk, *Automobily 4 – Příslušenství*. 3. vydání, Brno 2010. s. 283

spalování, kdy tlaky ve spalovacím prostoru narůstají plynule, namísto skokového nárůstu. Pro tento účel musí být vstřikované množství paliva malé a přesně načasované vzhledem k „hlavnímu“ vstřiku (předvstřík nesmí přecházet do hlavního vstřikování). Předvstřík, během kterého se do spalovacího prostoru dostává asi  $1,5\text{mm}^3$  paliva, je oproti hlavnímu vstřiku předsazen asi jen o 10 stupňů natočení klikového hřídele. Tím se podstatně klesá množství oxidů dusíku ve výfukových plynech a snižuje hlučnost spalovacího prostoru<sup>26</sup>.



Obrázek 9 – Sdružená vstříkovací jednotka PFI<sup>27</sup>

<sup>26</sup> Žďánský Bronislav, Jan Zdeněk, *Automobily 4 – Příslušenství*. 3. vydání, Brno 2010. s. 284

<sup>27</sup> Žďánský Bronislav, Jan Zdeněk, *Automobily 4 – Příslušenství*. 3. vydání, Brno 2010. s. 283

## 6 Základní rozdíl vstřikování mezi starými a novými automobily

Už dlouho se spekuluje nad otázkou, zda je lepší při jízdě ze svahu vyřadit na neutrální nebo nechat zařazený rychlostní stupeň. U starších vozidel používající karburátor je zajištěné dávkování paliva pomocí škrtící klapky ovládané přes lanko z kabiny řidiče čímž se reguluje přísun vzduchu a k němu pak karburátor nadávkuje benzín<sup>28</sup>. Volnoběh je realizován tak, že se klapka zastaví o mechanický doraz a je dávkováno minimální množství paliva.

U novějších vozidel je využíváno vstřikování paliva. Spojení mezi plynovým pedálem a škrtící klapkou je řízeno elektronicky. Obsluha sešlápně akcelerační pedál, který vysílá elektrický signál o poloze do řídicí jednotky a základě tohoto signálu dojde k nastavení škrtící klapky do polohy odpovídající signálu. Řídicí jednotka má údaje o poloze škrtící klapky a kolik vzduchu proudí do motoru, a podle těchto hodnot jsou ovládány vstřikovací ventily, aby bylo dosaženo požadovaného poměru palivo – vzduch.

Při brzdění motorem vyhodnotí řídicí jednotka motoru, že motor má určité otáčky a pedál plynu je v nulové poloze. Dojde k uzavření přívodu paliva, přesněji řečeno k odpojení signálu pro otevření vstřikovacích ventilů. Když otáčky klesnou pod 1344 ot/min. u měřeného agregátu, řídicí jednotka začne opět dávkovat palivo. Pokud tedy otáčky neklesnou během decelerace pod uvedených 1344 ot/min., tak jede vozidlo s nulovou spotřebou.

---

<sup>28</sup>Dfens-cz.com, [online]. 2017 [citováno 2017-1-19]. Dostupné z: <http://dfens-cz.com/uspورا-paliva-iii-neutral-vs-petka>



VAG-COM je počítačový program, který zajišťuje komunikaci mezi řídicí jednotkou vozidla přes OBD konektor a počítačovým zařízením. Komunikace probíhá přes HEX+CAN kabel, (viz obrázek č. 12), který je propojený s počítačem přes USB rozhraní. Při propojení musí být vozidlo nastartováno nebo musí mít zapnuté zapalování. Po následném propojení lze vybrat z jednotlivých řídicích jednotek, (viz obrázek č. 11), zobrazování všech typů dat, které jsou vydávány řídicí jednotkou v reálném čase<sup>29</sup>. Data jsou zobrazována v jednotlivých skupinách. Pro experiment práce jsou vyčtena následující data: otáčky motoru, absolutní tlak v sání, teplota nasávaného vzduchu, součinitel přebytku vzduchu, spotřeba paliva a rychlost vozidla.



Obrázek 12 – HEX+CAN kabel pro propojení vozidla s počítačem

## 7.1 Podmínky a metodika měření

Experimentální trasa byla měřena dne 28. 6. 2017 v čase 10:15 při okolní teplotě 15 °C +/- 2 °C. Tato doba byla vybrána, jelikož se na měřené trase nevyskytuje tak hustý provoz jako v brzkých ranních nebo odpoledních hodinách. Před usednutím do vozidla byl připojen počítačový program VAG-COM přes OBD zásuvku v přihrádce pod volantem řidiče vozidla, a poté bylo vozidlo nastartováno ve Žďáru nad Sázavou, což je 36 km od počátku experimentu. Vozidlo bylo zahřáto na provozní teplotu, tj. 90 °C. Při přepravě vozidla do místa experimentu byly dodržovány všechny zákony a předpisy týkající se jízdy na pozemních komunikacích. Vozidlo bylo dopraveno do počátku experimentu za 33 minut při

<sup>29</sup> Červenka Petr, DiS., Elektronický řídicí systém zážehového spalovacího motoru a jeho diagnostika, České Budějovice 2008, s.163, Bakalářská práce, Jihočeská Univerzita, Pedagogická fakulta, vedoucí práce doc. PaedDr. Petr Adámek, Ph.D.

nízké hustotě provozu a za použití zimních pneumatik. Na počátku fáze prvního měření – režim jízdy bez zařazeného rychlostního stupně bylo řidičem v počítačovém programu spuštěno logování vybraných hodnot na experimentálním úseku. V prvním měření je požadovaná počáteční rychlost 80 km/h +/- 5 km/h, a vyřazení rychlostního stupně. Poté následuje pouze sledování provozu před vozidlem a úprava rychlosti za pomoci brzdového systému z důvodu dojetí vozidel před měřicím objektem, případně sešlápnout akcelerační pedál pro zajištění plynulosti provozu. Při dojetí vozidla měření pokračuje, a není nutné ho opakovat, protože téměř nikdy není žádný provoz, a tudíž je nutno s tímto omezením počítat.

Na počátku druhého měření - režim jízdy bez zařazeného rychlostního stupně při dodržení maximální povolené rychlosti bude opět nejprve řidičem spuštěno logování vybraných hodnot v počítačovém programu. Počáteční rychlost bude stejná jako při prvním měření, tudíž 80 km/h +/- 5 km/h, a okolní teplota vzduchu 15 °C +/- 2 °C. Rychlostní stupeň také nebude zařazen jako při prvním měření. Při tomto měření je důležité nepřekročit maximální povolenou rychlost, a to 90 km/h, a v případě nutnosti ubírat rychlost vozidla. Pokud dojde k dojetí vozidla před měřeným objektem, musí se snížit rychlost a případně nechat vozidlo poodjet a dosáhnout opět rychlosti 90 km/h, nebo měření opakovat.

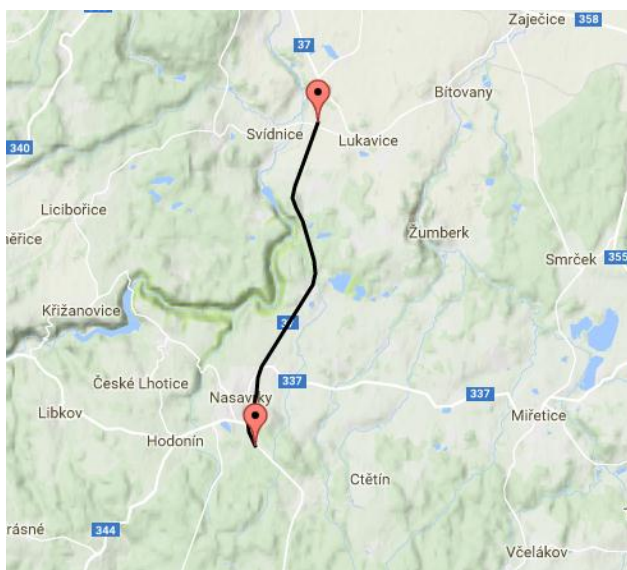
Třetí měření – režim jízdy bez zařazeného rychlostního stupně při dodržení maximální povolené rychlosti za použití letního obutí bude prováděno o týden později než předchozí dvě měření a následující poslední. Zpoždění měření je z důvodu přezutí pneumatik na měřeném vozidle. Jinak metodika měření je podobná s předchozím režimem. Tudíž počáteční rychlost vozidla bude 80 km/h +/- 5 km/h, a okolní teplota vzduchu 15 °C +/- 2 °C. Zde bude také kladen důraz na nepřekročení zákonem dané maximální rychlosti vozidla na pozemní komunikaci. Před počátkem měření bude obsluhou vozidla zapnuto logovací zařízení, a posléze dojde k vyřazení zařazené rychlosti a k uvolnění akceleračního pedálu. Následně bude nutné pouze sledovat provoz před měřeným objektem a případně korigovat rychlost za použití brzdového systému vozidla. V případě ztráty rychlosti bude nutno při měření zařadit na okamžik rychlostní stupeň a nabrat část rychlosti nebo měření opakovat.

Čtvrté měření – Zařazený rychlostní stupeň v kombinovaném režimu jízdy. V tomto měření bude na počátku měřeného úseku počáteční rychlost vozidla také 80 km/h +/- 5 km/h jako u výše zmiňovaných měření, a okolní teplota vzduchu bude taktéž 15 °C +/- 2 °C. U tohoto měření bude nutné mít zařazený nejvyšší rychlostní stupeň, a v tomto případě tedy šestý rychlostní stupeň. Po spuštění logování se následně odlehčí akcelerační pedál, a nechá se

vozidlo sjíždět se stálým přenosem momentu, dokud počítačový program neznázorní pomocí sledovaných parametrů, že byla obnovena dodávka paliva do spalovacího prostoru. Od té doby bude jízda korigována akceleračním pedálem dle stavu a hustoty provozu. Při tomto měření bude opět brán zřetel na maximální povolenou rychlost a její úprava bude probíhat za pomoci brdového systému vozidla, nebo uvolněním akceleračního pedálu a přerušením dodávky paliva do spalovacího prostoru. V případě dojetí vozidla není nutné měření pozastavovat nebo opakovat.

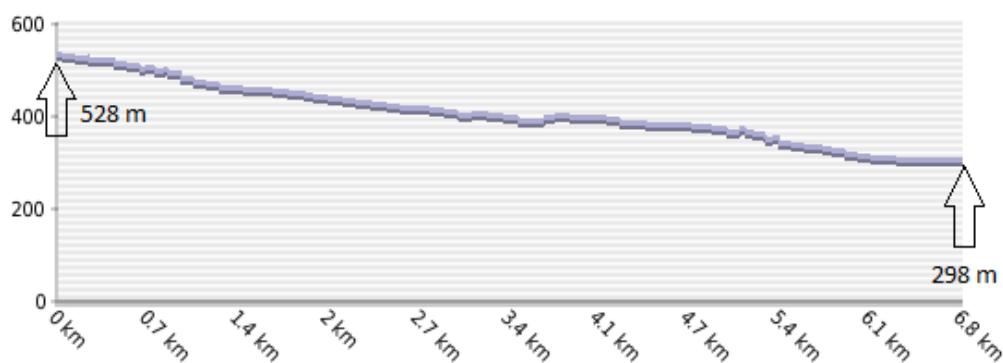
## 8 Měřená trasa

Měřená trasa se nachází mezi obcemi Nová Ves u Nasavrk a rozcestím mezi obcemi Svídnice a Lukavice na silnici č. 37/I. třídy v Pardubickém kraji. Výchozí souřadnice měřeného úseku jsou  $49^{\circ}50'13.2''$  severní šířky a  $15^{\circ}48'27.7''$  východní délky a cílové souřadnice jsou  $49^{\circ}53'30.1''$  severní šířky a  $15^{\circ}49'29.7''$  východní délky. Celková vzdálenost měřené trasy (L) je 6,8 km a výškový rozdíl (H) mezi počátkem a koncem měření činí dle obrázku č. 13, 230 metrů. Na souřadnicích  $49^{\circ}52'39.6''$  severní šířky a  $15^{\circ}49'08.5''$  východní délky je maximální rychlost omezena na 70 km/h z důvodu zvýšeného pohybu chodců v blízkosti motorestu. Experimentální měření probíhalo při okolní teplotě vzduchu  $15^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .



Obrázek 13 – Zobrazení měřeného úseku na mapě<sup>30</sup>

$$\text{Určení klesání v měřeném úseku: } \frac{H}{L} * 100 = \frac{230}{6800} * 100 = \underline{\underline{3,38\%}}$$



Obrázek 14 – znázornění klesání na měřené trase<sup>31</sup>

Klesání na vybraném úseku je 3,38 % určeného dle vztahu zmiňovaného výše.

<sup>30</sup> Výškopis ČR, [online]. 2017 [citováno 2017-03-02]. Dostupné z: < <http://www.cbpmr.cz/vyskopis.html> >

<sup>31</sup> Výškopis ČR, [online]. 2017 [citováno 2017-03-03]. Dostupné z: < <http://www.cbpmr.cz/vyskopis.html> >



## 8.1 Měření 1 – režim jízdy bez zařazeného rychlostního stupně

System běhu naprázdno nastává tehdy, když akcelerační pedál se nachází v nulové poloze. To znamená, že řidič nepožaduje po motoru výkon a není zařazený rychlostní stupeň. Pohonný agregát se nachází v tzv. volnoběhu. Volnoběžné otáčky se při zahřátém motoru pohybují v rozmezí 600–900 otáček za minutu. V tomto volnoběžném rozmezí otáček motor spotřebovává přibližně 0,4 – 1 litr paliva za hodinu. Volnoběžných otáček lze dosáhnout vyřazením rychlostního stupně na tzv. neutrál. Neutrál nastává tehdy, když není zařazený žádný rychlostní stupeň. Na kola není přenášený žádný kroutící moment.

Motory se vstřikováním motorové nafty při volnoběžných otáčkách pracují s chudší směsí lambda. Tyto směsi se přibližně pohybují okolo hodnot ( $\lambda = 1,3$  až  $1,4$ )<sup>32</sup>. Cílem je provozovat spalovací motor při nejnižších otáčkách, ale zároveň v takových otáčkách, aby nedocházelo k nepravdělnostem chodu motoru či zastavení chodu motoru.

Pomocí naměřených hodnot za užití sériové diagnostiky během jízdy na volnoběh lze určit hustotu nasávaného vzduchu, hmotnostní průtok vzduchu, hmotnostní průtok paliva a hmotnostní průtok paliva pro jeden válec pro porovnání s hodnotami průtoku paliva z grafu.

Dle tabulky převzaté z přednášky od docenta Gregory z předmětu elektronické systémy silničních vozidel byly naměřeny následující hodnoty (viz tabulka č.1)

---

<sup>32</sup> Katedra vozidlových motorů, Technická Univerzita Liberec [online], 2018 [citováno 2018-04-06]. Dostupné z: < <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:1960> >

Tabulka 1- naměřené hodnoty pro výpočty na neutrální, upraveno podle Gregory

Otáčky motoru $N [1/min]$	819
Absolutní tlak v sání $P [kPa]$	96,9
Teplota nasávaného vzduchu $T_a [^{\circ}C]$	15
Objemová účinnost $\eta [-]$	0,69
Objem motoru $V_m [l]$	1,968
Počet válců (vstřikovacích ventilů) $n$	4 (4)
Součinitel přebytku vzduchu $\lambda$	1,32
Konstanta ideálního plynu $R [J/mol.K]$	8,314
Molární hmotnost vzduchu $M_m [g/mol]$	28,96
Absolutní teplota nasávaného vzduchu $T[K]$	$273,15 + T_a$

Hustota nasávaného vzduchu:

$$\rho = \frac{P \cdot M_m}{R \cdot T} = \frac{96,9 \cdot 28,96}{8,314 \cdot 288,15} = \underline{\underline{1,1714 \text{ kg/m}^3}}$$

Hmotnostní průtok vzduchu:

$$m_{a[kg/h]} = V_m \cdot \rho \cdot \eta \cdot \frac{N}{2} \cdot 60 [kg/h] = 1,968 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1714 \cdot 0,69 \cdot (819/2) \cdot 60 = \underline{\underline{39,08 \text{ kg/h}}}$$

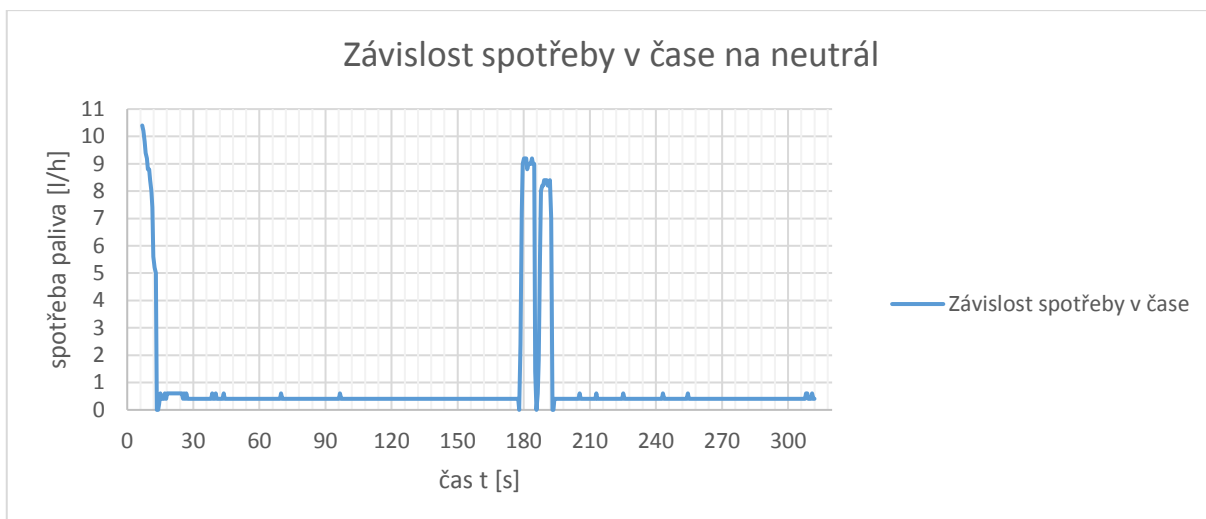
Hmotnostní průtok paliva:

$$m_{f[kg/h]} = \frac{m_{a[kg/h]}}{\lambda \cdot 14,7} [kg/h] = \frac{39,08}{1,32 \cdot 14,7} = \underline{\underline{2,014 \text{ kg/h}}}$$

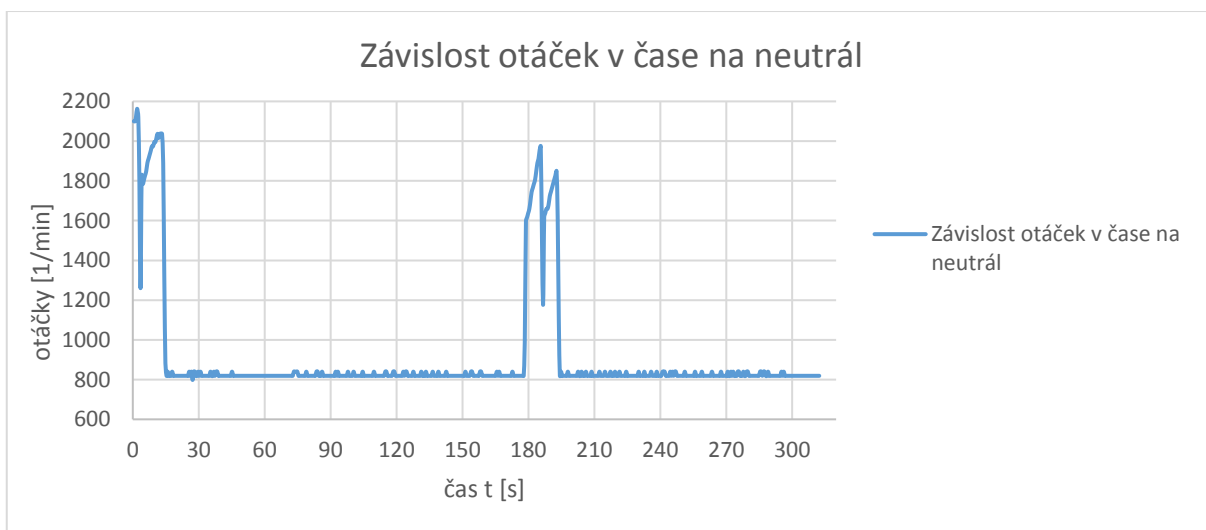
Hmotnostní průtok paliva pro jeden válec:

$$m_{f1[kg/h]} = \frac{m_f[kg/h]}{4} = \frac{2,014}{4} = \underline{\underline{0,504 \text{ kg/h}}}$$

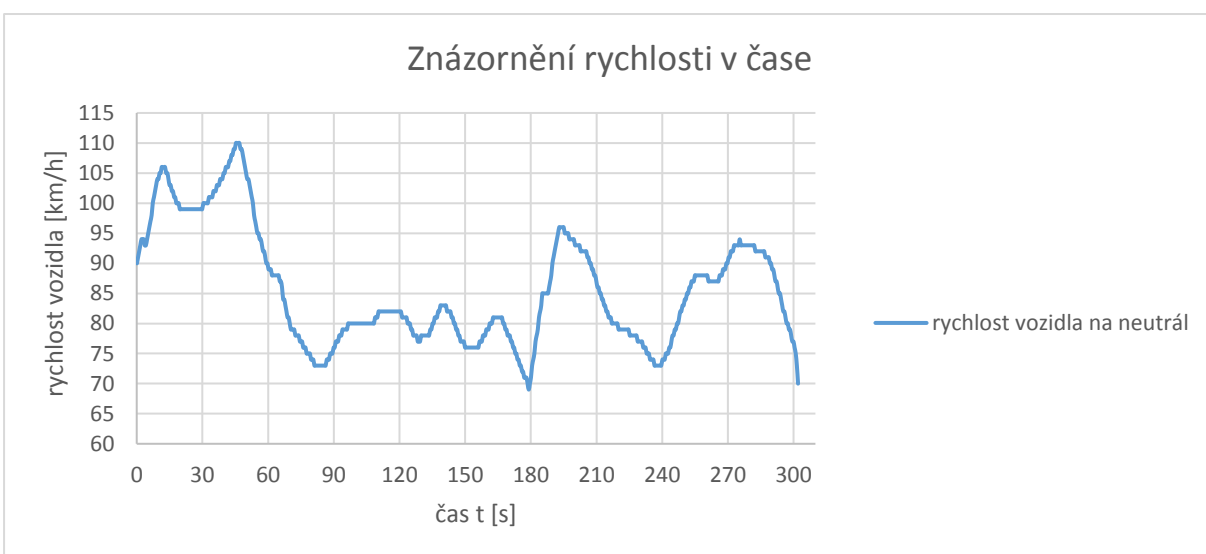
Jedná o čtyřválcový agregát s jedním vstřikovačem pro jeden válec.



Graf 1 – závislost spotřeby paliva v čase na neutrál



Graf 2 – závislost otáček motoru v čase na neutrál



Graf 3 – znázornění rychlosti vozidla při klesání na neutrál

Z grafu 1 je patrné, že v oblasti od 0 do 15 sekundy došlo k uvolnění akceleračního pedálu a následně k poklesu spotřeby paliva. Od 15 do 178 sekundy docházelo k jízdě ve volnoběžných otáčkách se spotřebou 0,4 – 0,6 litrů za hodinu. V oblasti od 178 do 190 sekund bylo nutno sešlápnout akcelerační pedál z důvodu plynulosti provozu na komunikacích, čímž došlo k nárůstu spotřeby paliva na cca 9,2 l/h a po uvolnění akceleračního pedálu spotřeba klesla opět na 0,4 – 0,6 l/h.

Graf 2 znázorňuje, že při dosažení 15 sekundy dojde k poklesu otáček z 2037 na volnoběžné otáčky (819 otáček za minutu), dokud nedojde k sešlápnutí akceleračního pedálu. Spotřeba během těchto otáček je 0,4 – 0,6 l/h.

Graf 3 zobrazuje rychlost vozidla na uvedené trase. Od počátku měření do 47 sekund docházelo k postupnému nárůstu rychlosti vozidla, čímž vozidlo nabíralo rychlost pro dosažení větší vzdálenosti na dojezd. Ovšem od 47 do 86 sekundy bylo nutno snížit rychlost z důvodu bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích. Od 178 do 190 vteřiny došlo ke zvýšení rychlosti z důvodu plynulosti provozu na komunikacích, čímž bylo způsobeno zvýšení spotřeby paliva, (viz graf 1).

Z údajů získaných při měření lze určit i částku, za kterou se měřený úsek projede. K výpočtu jsou potřebné následující údaje: měřená dráha, čas měření, průměrná spotřeba na měřeném úseku a cena motorové nafty za jeden litr.

Dráha [s] = 6800 m = 6,8 km

Čas [t] = 312 s = 0,0866 h

Průměrná spotřeba dle sériové diagnostiky: 0,56 l/100 km

Cena motorové nafty na čerpací stanici LEDOPA OIL dne 28.6.2017 činila 27,40 Kč/l

Spotřeba paliva se určí ze vztahu = (dráha x průměrná spotřeba) / 100

$$= (6,8 \times 0,56) / 100 = \underline{0,038081}$$

Celková cena měřeného úseku se určí ze vztahu: spotřeba paliva x cena paliva

$$0,03808 \times 27,40 = \underline{1,043392 \text{ Kč}}$$

Celková cena měřeného úseku (6800 metrů) při nezařazeným rychlostním stupni vyjde na 1,043392 Kč.

## 8.2 Měření 2 - režim jízdy bez zařazeného rychlostního stupně při dodržení maximální povolené rychlosti

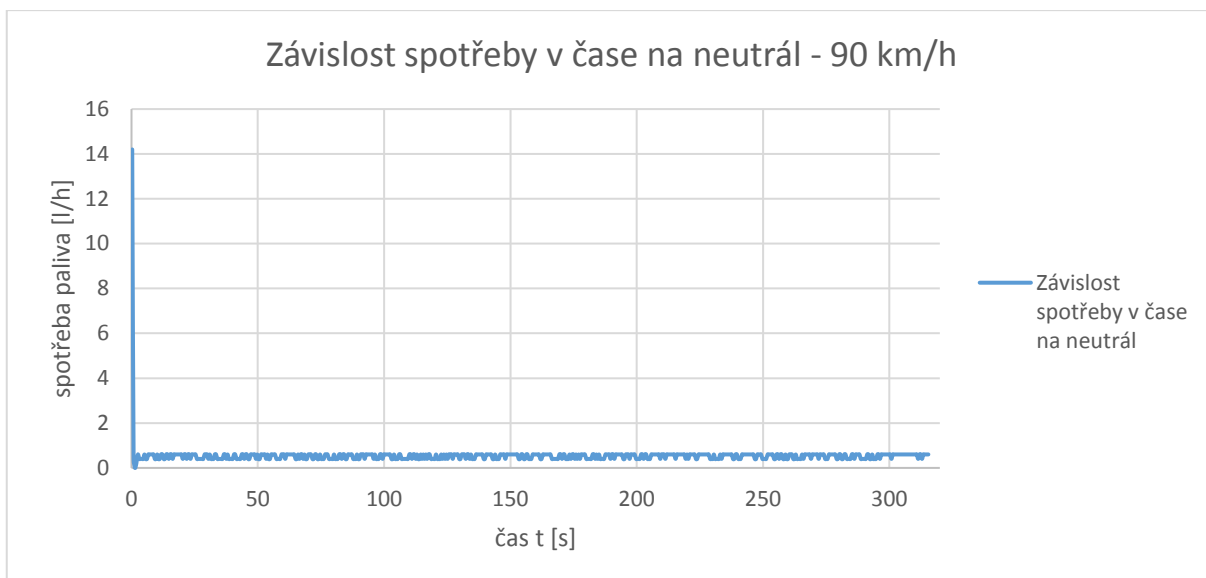
Další součástí tohoto experimentu bylo získat hodnoty pro jízdu bez zařazeného rychlostního stupně, přičemž byla zajištěna bezpečnost provozu na komunikacích tak, že byla dodržována zákonem stanovená maximální rychlost dle §18 odstavec 3 zákona č. 361/2000 Sb. – Zákon o provozu na pozemních komunikacích<sup>33</sup>, a to 90 km/h.

V této části experimentu není zajištěn žádný přenos momentu z motoru na kola, a tudíž není vozidlo přibrzdováno motorem ale pouze brzdami.

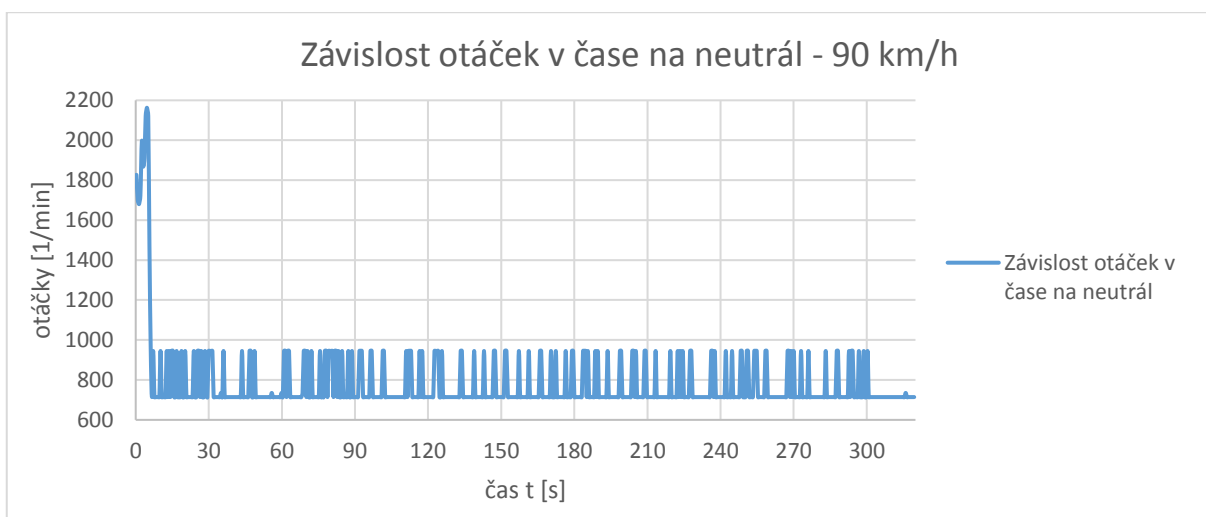
Následná získaná data byla převedena do grafu, která znázorňují veličiny pro určení celkové hodnoty spotřeby paliva v litrech na 100 km, a dále pomocí těchto naměřených hodnot lze určit i chod motoru.

---

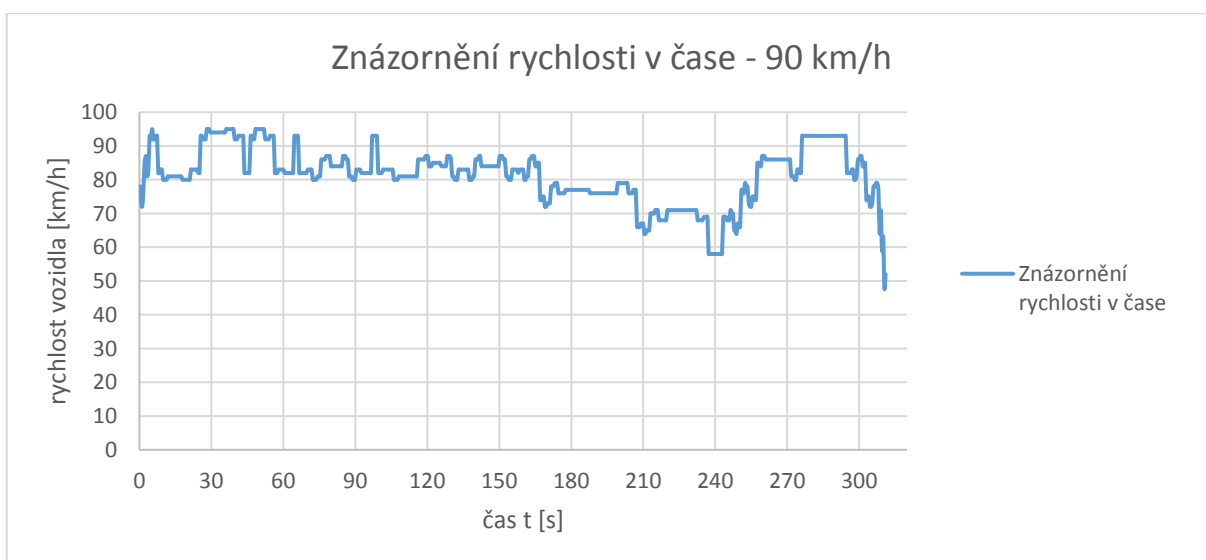
<sup>33</sup> Schröter Zdeněk, Autoškola? Pohodlně!, Plzeň 2012. s. 137



Graf 4 – závislost spotřeby paliva v čase na neutrál při udržování rychlosti 90 km/h



Graf 5 – závislost otáček motoru v čase na neutrál při udržování rychlosti 90 km/h



Graf 6 – znázornění rychlosti vozidla při klesání na neutrál a udržování rychlosti 90 km/h

Z grafu 4 je patrné, že po uvolnění akceleračního pedálu docházelo k dávkování paliva pouze v takovém množství, které je potřebné pro to, aby byl pohonný agregát udržen v nastartovaném stavu a nedošlo k jeho vypnutí. Během tohoto stavu docházelo k jízdě ve volnoběžných otáčkách se spotřebou paliva v rozmezí 0,4 – 0,6 litrů za hodinu.

Graf 5 znázorňuje, že od 5 do 8 sekundy došlo k uvolnění akceleračního pedálu a k poklesu otáček motoru z 2121 do volnoběžných (714 až 945) otáček za minutu. Ovšem jak je vidět, tak chod motoru v těchto otáčkách je velmi neklidný a pohybuje se ve velkém rozmezí, což značí nějakou závadu. Pravděpodobně se jedná o závadu na snímači otáček motoru, která při opakovaném měření nebyla odstraněna. Nicméně nemá vliv na množství dodávaného paliva přes vstřikovače, (viz graf č. 4).

V grafu 6 je znázorněna rychlost vozidla pohybující se okolo 90 km/h, přičemž téměř nedochází k překročení této hranice z důvodu dodržení zákona o provozu na pozemních komunikacích. Naopak dochází od 165 do 250 sekundy měřeného úseku k poklesu rychlosti z důvodu výskytu mírného stoupání a od 250 sekundy daného úseku dochází opět k pozvolnému nárůstu rychlosti kvůli opětovnému klesání komunikace.

Podle údajů získaných ze sériové diagnostiky se určí i částka, za kterou se měřený úsek projede. Mezi potřebné údaje patří měřená dráha, čas měření, průměrná spotřeba na měřeném úseku a cena motorové nafty za jeden litr. Nutné podotknout, že měření probíhalo se zimními pneumatikami.

Dráha [s] = 6800 m = 6,8 km

Čas [t] = 319 s = 0,08861 h

Průměrná spotřeba dle sériové diagnostiky: 0,678 l/100 km

Cena motorové nafty na čerpací stanici LEDOPA OIL dne 28. 6. 2017 činila 27,40 Kč/l

Spotřeba paliva se určí ze vztahu = (dráha x průměrná spotřeba) /100

$$= (6,8 \times 0,678) / 100 = \underline{0,046104 \text{ l}}$$

Celková cena měřeného úseku se určí ze vztahu: spotřeba paliva x cena paliva

$$0,046104 \times 27,40 = \underline{1,2632496 \text{ Kč}}$$

Celková cena měřeného úseku (6800 metrů) při nezařazeným rychlostním stupni za dodržení maximální povolené rychlosti vyjde na 1,2632496 Kč.

V porovnání s měřením, kde nebyl brán ohled na maximální povolenou rychlost stanovenou zákonem byla určena větší spotřeba paliva, a tudíž i vyšší cena za ujetý úsek. Rozdíl po finanční stránce činí nepatrných 0,2198576 Kč.

8.2.1 Měření 3 - režim jízdy bez zařazeného rychlostního stupně při dodržení maximální povolené rychlosti za použití letního obutí

Stejně měření bylo v tomto případě provedeno i s letními pneumatikami. . Po absolvování dvou nezávislých jízd na suché vozovce byla naměřena průměrná spotřeba paliva 0,4728877 l/h. Při tomto měření byla cena paliva 27,40 Kč/l

Spotřeba paliva se určí ze vztahu = (dráha x průměrná spotřeba) /100

$$= (6,8 \times 0,4728877) / 100 = \underline{0,03215641}$$

Celková cena měřeného úseku se určí ze vztahu: spotřeba paliva x cena paliva

$$0,0321564 \times 27,40 = \underline{0,88108536 \text{ Kč}}$$

Po zhodnocení tohoto testu lze říci, že rozdíl ceny za ujetý úsek při stálé ceně pohonných hmot a za použití letních pneumatik je 0,38216424 Kč

Vzhledem ke vzdálenosti měřeného úseku se jedná o téměř zanedbatelnou částku.



### 8.3 Zařazený rychlostní stupeň

Brzdění motorem je jednou z metod, jak snížit spotřebu paliva při jízdě ze svahu. Při jízdě ze svahu při zařazeném rychlostním stupni dochází po uvolnění akceleračního pedálu k chvilkové jízdě při stejné velikosti otáček a následně k deceleraci (zpomalování). Při deceleraci vozidla je přerušena dodávka paliva do spalovacího motoru. Tím je možné snížit spotřebu paliva, ale také především chrání katalyzátor před přehřátím způsobeným špatným a neúplným spalováním. Před vypnutím vstřiku paliva je snížen předstih, aby došlo k omezení skokového nárůstu kroutícího momentu<sup>34</sup>.

U vznětových agregátů s brzděním pomáhá hlavně vyšší komprese. U přeplňovaných motorů dochází navíc ke zvyšování zpětného tlaku ve výfukovém potrubí, a to pomocí snížení otáček turbodmychadla po uvolnění akceleračního pedálu. Je možné se setkat i se speciální klapkou umístěnou za turbodmychadlem, tedy na straně výfuku. Motor musí zpětný tlak překonávat, což má za důsledek zpomalení pístů a tím i snížení rychlosti vozidla<sup>35</sup>.

Dodávka paliva je plynule obnovena, klesnou-li otáčky pod stanovenou mez. V případě experimentu pod 1344 ot/minutu. Při opětovném obnovení vstřikování dojde k pozvolnému zvýšení předstihu, aby se zajistil plynulý náběh kroutícího momentu bez nepříjemného cuknutí<sup>36</sup>.

Pomocí naměřených hodnot pomocí sériové diagnostiky během jízdy na zařazený rychlostní stupeň lze určit hustotu nasávaného vzduchu, hmotnostní průtok vzduchu, hmotnostní průtok paliva a hmotnostní průtok paliva pro jeden válec.

Nutno podotknout, že vzdálenost dojezdu se zařazeným šestým rychlostním stupněm bez použití akceleračního pedálu je o poznání kratší než jízda bez zařazené rychlosti. Tedy na neutrálu.

---

<sup>34</sup> Gregora Stanislav, Mašek Zdeněk, Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel, Pardubice 2008. s.44

<sup>35</sup> Auto.cz, [online]. 2017 [citováno 2017-05-26]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/brzdeni-motorem-funguje-vubec-projdete-si-vyhody-a-nevyhody-99153>>

<sup>36</sup> Gregora Stanislav, Mašek Zdeněk, Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel, Pardubice 2008. s.44

Tabulka 2- naměřené hodnoty pro výpočty na šestý rychlostní stupeň, upraveno podle Gregory

Otáčky motoru $N$ [1/min]	1743
Absolutní tlak v sání $P$ [kPa]	94,86
Teplota nasávaného vzduchu $T_a$ [°C]	15
Objemová účinnost $\eta$ [-]	0,78
Objem motoru $V_m$ [l]	1,968
Počet válců (vstřikovacích ventilů) $n$	4 (4)
Žádaný součinitel přebytku vzduchu $\lambda$	1,63
Konstanta ideálního plynu $R$ [J/mol.K]	8,314
Molární hmotnost vzduchu $M_m$ [g/mol]	28,96
Absolutní teplota nasávaného vzduchu $T$ [K]	273,15 + $T_a$

Hustota nasávaného vzduchu:

$$\rho = \frac{P \cdot M_m}{R \cdot T} = \frac{94,86 \cdot 28,96}{8,314 \cdot 288,15} = \underline{\underline{1,1467 \text{ kg/m}^3}}$$

Hmotnostní průtok vzduchu:

$$m_{a[\text{kg/h}]} = V_m \cdot \rho \cdot \eta \cdot \frac{N}{2} \cdot 60 [\text{kg/h}] = 1,968 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1467 \cdot 0,78 \cdot (1743/2) \cdot 60 = \underline{\underline{92,042 \text{ kg/h}}}$$

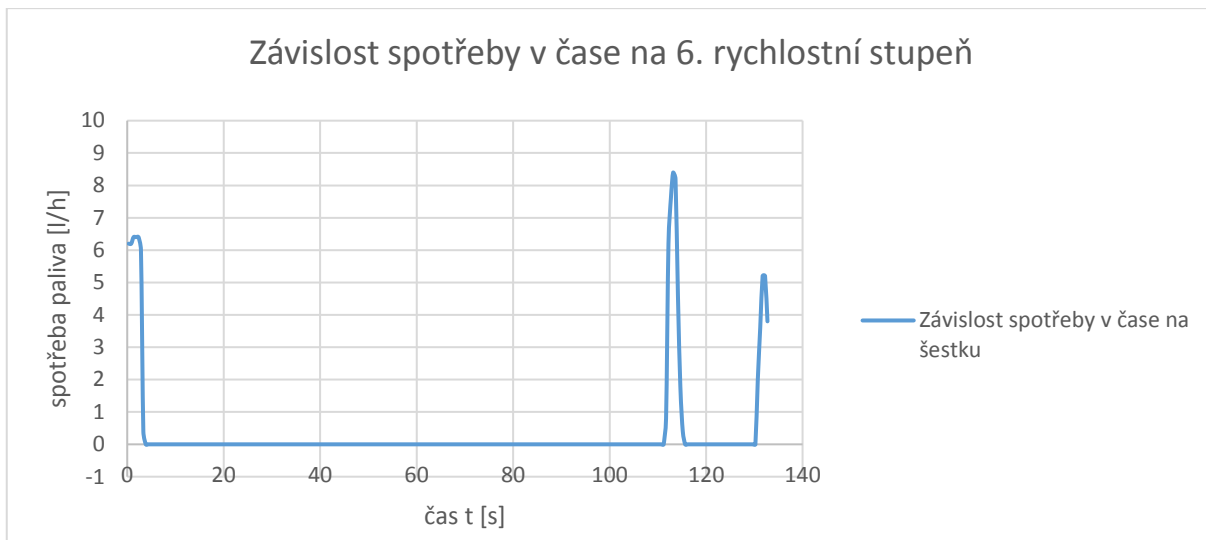
Hmotnostní průtok paliva:

$$m_{f[\text{kg/h}]} = \frac{m_{a[\text{kg/h}]}}{\lambda \cdot 14,7} [\text{kg/h}] = \frac{92,042}{1,63 \cdot 14,7} = 3,841 \underline{\underline{\text{ kg/h}}}$$

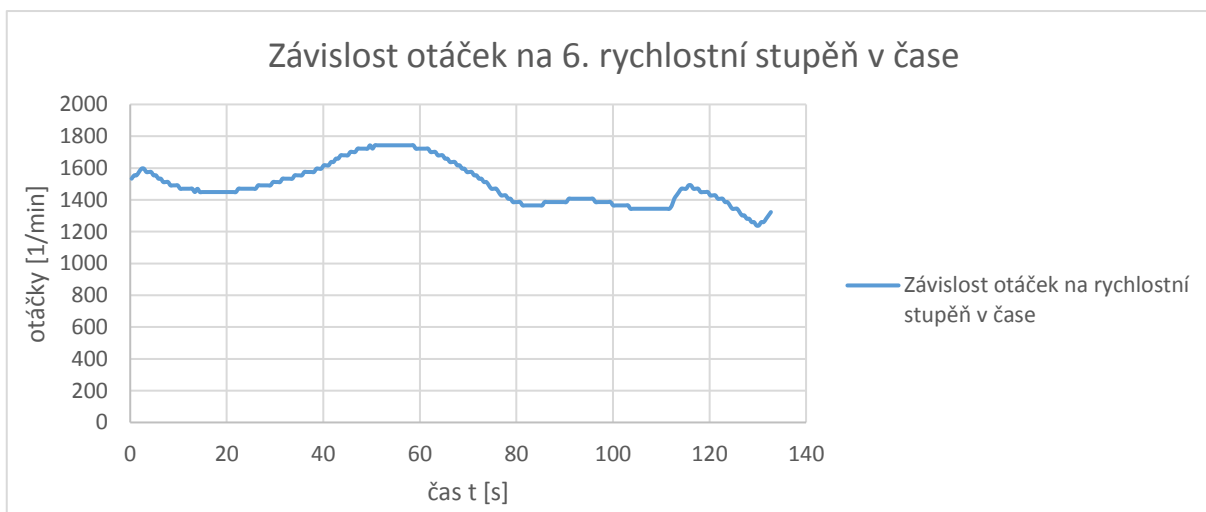
Hmotnostní průtok paliva pro jeden válec:

$$m_{f1[\text{kg/h}]} = \frac{m_f[\text{kg/h}]}{4} = \frac{3,841}{4} = \underline{\underline{0,960 \text{ kg/h}}}$$

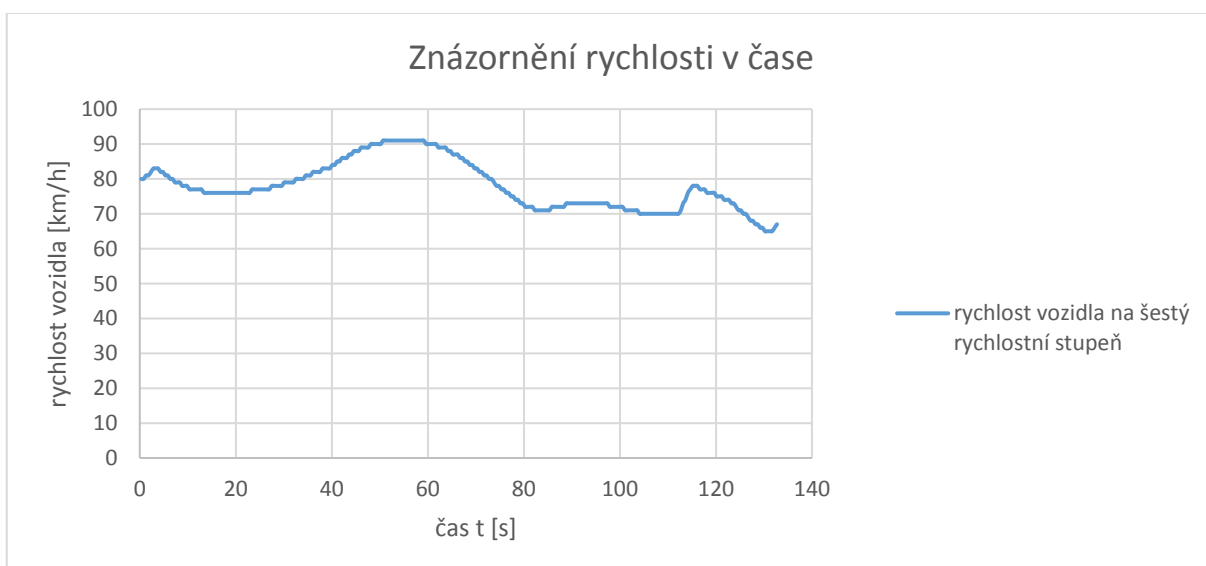
Jedná se o čtyřválcový agregát s jedním vstřikovačem pro jeden válec.



Graf 7 – závislost spotřeby paliva v čase na šestý rychlostní stupeň



Graf 8 – závislost otáček motoru v čase na šestý rychlostní stupeň



Graf 9 - znázornění rychlosti vozidla při klesání na šestý rychlostní stupeň

Z grafu 7 je patrné že v oblasti od 2,34 do 4,34 sekundy došlo k uvolnění akceleračního pedálu a následně řídicí jednotka rozpoznala zařazený rychlostní stupeň a odpojila vstřikování paliva, čímž se zajistila nulová dodávka paliva do spalovacího prostoru až do času 111,2 sekundy, kdy bylo nutné šlápnout na akcelerační pedál. Akcelerace probíhala od 111,2 do 113,66 sekundy a posléze došlo k uvolnění pedálu a opět k poklesu na nulovou spotřebu.

Graf 8 znázorňuje postupný nárůst a pokles otáček kvůli přenosu momentu z kol na pohonný agregát dle sklonu vozovky. Nárůst otáček znamená klesání z kopce a pokles otáček značí mírné stoupání. V oblasti od 111,2 sekund do 113,66 sekund nastala chvilková akcelerace z důvodu pomalé jízdy. Po 130 vteřinách jízdy se zařazeným rychlostním stupněm na zvolené trase došlo k poklesu požadovaných otáček pod nulovou spotřebu a dochází k pozvolnému nárůstu předstihu.

Graf 9 znázorňuje nárůst rychlosti otáček dle otáček motoru, které jsou upravovány dle terénu trasy. Rychlost se skokově nemění z důvodu přenosu momentu mezi motorem a hnacími koly a dochází k plynulému nárůstu nebo poklesu rychlosti. V oblasti od 112 do 117 sekundy ovšem dochází k prudkému nárůstu rychlosti z důvodu zvýšení otáček. Toto zvýšení otáček mělo za důsledek prudký vzrůst okamžité spotřeby paliva.

### 8.3.1 Měření 4 - Zařazený rychlostní stupeň v kombinovaném režimu jízdy

Kombinovaný režim jízdy v této práci představuje jízdu se zařazeným šestým rychlostním stupněm při sjíždění kopce, z počátku bez použití akceleračního pedálu, a poté za použití akceleračního pedálu. Tento způsob jízdy byl zvolen z důvodu dodržování maximální povolené rychlosti a také z důvodu plynulého a bezpečného provozu na pozemních komunikacích.

Následně se určí celková cena za spotřebované palivo v kombinovaném režimu na stejné vzdálenosti jako na neutrál. Použijí se stejné vstupní parametry jako při neutrálu. Jak již bylo zmiňováno, tak při zařazeném šestém rychlostním stupni se ujede o poznání kratší vzdálenost než na neutrál.

Dráha [s] = 2200 m = 2,2 km

Čas [t] = 130,4 s = 0,0369 h

Průměrná spotřeba dle sériové diagnostiky: 0 l / 100 km

Cena motorové nafty na čerpací stanici LEDOPA OIL dne 28. 6. 2017 činila 27,40 Kč/l

Spotřeba paliva je z důvodu odpojení dodávky paliva do spalovacího 0 l/100 km

Celková cena za spotřebované palivo je tedy 0 Kč. Tento úsek (2200 metrů) vozidlo ujelo tzv. "zadarmo".

Jelikož je dojezd se zařazeným šestým rychlostním stupněm pouze 2200 metrů, tak se určí částka za spotřebované palivo po obnovení dodávky paliva do konečných 6800 metrů, aby bylo možné porovnat co je tedy výhodnější.

Dráha [s] = 4600 m = 4,6 km

Čas [t] = 176,6 s = 0,0490 h

Průměrná spotřeba dle sériové diagnostiky: 1,3 l / 100 km

Cena motorové nafty na čerpací stanici LEDOPA OIL dne 28. 6. 2017 činila 27,40 Kč/l

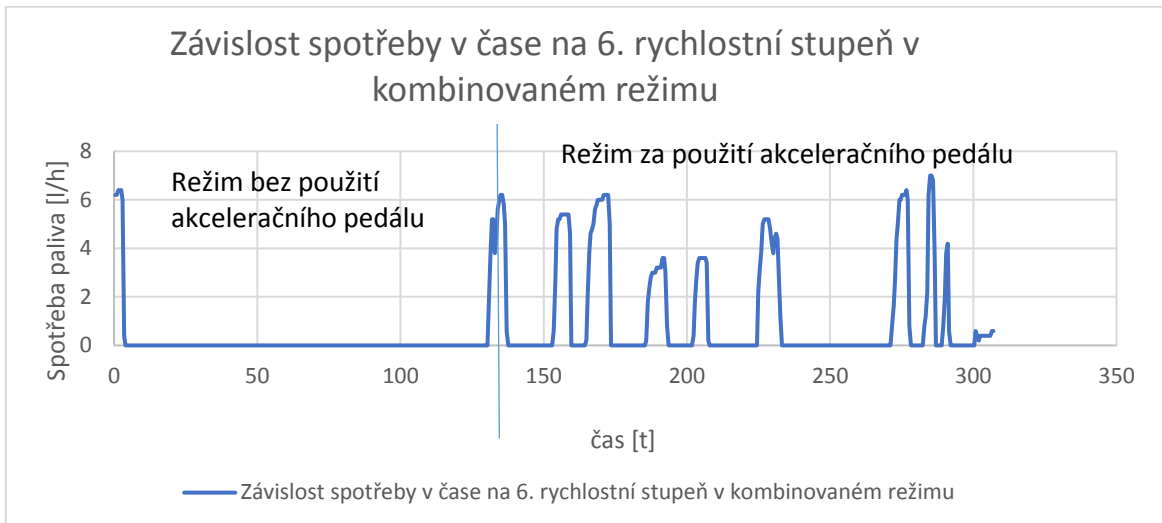
Spotřeba paliva se určí stejně jako u neutrálu = (dráha x průměrná spotřeba) / 100

$$= (4,6 \times 1,3) / 100 = \underline{0,0589 \text{ l}}$$

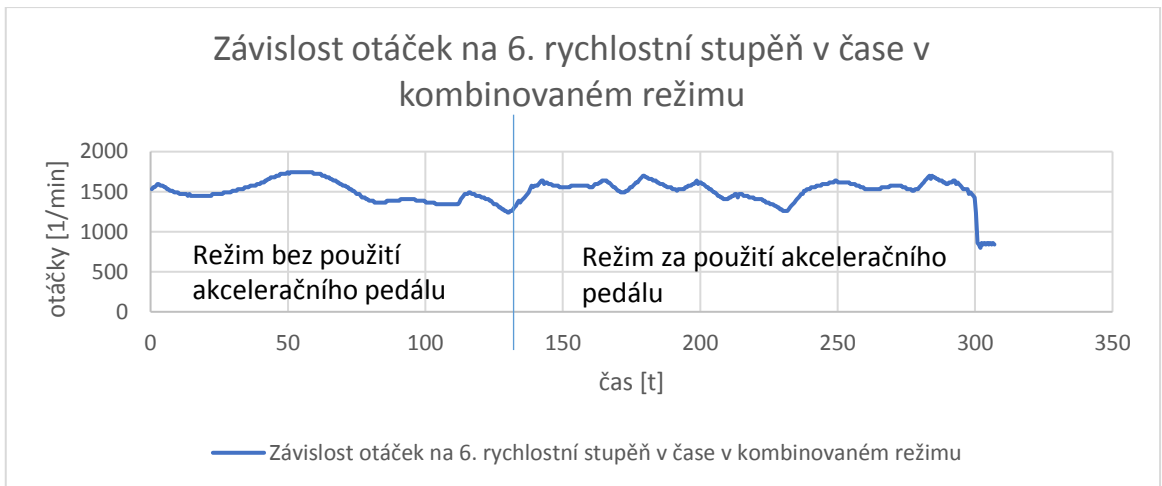
Celková cena za spotřebované palivo po obnovení dodávky paliva do spalovacího prostoru a pro dosažení konečné vzdálenosti 6800 metrů se určí taktéž ze vztahu spotřeby paliva x cena paliva za 1 litr.

$$0,0589 \times 27,40 = \underline{1,61386 \text{ Kč}}$$

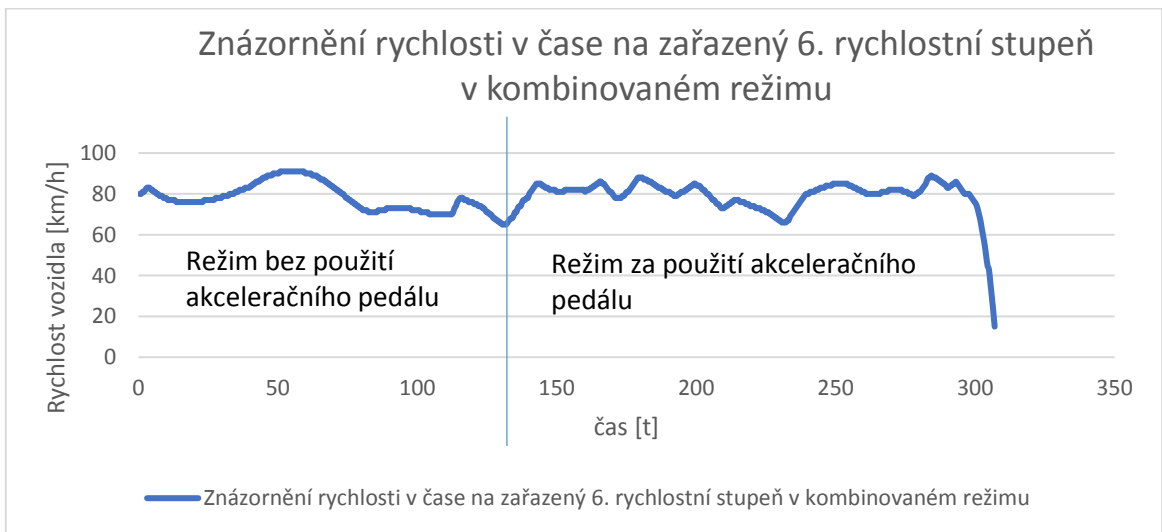
Celková cena za 4600 metrů na rychlostní stupeň je tedy 1,61386 Kč



Graf 10 – závislost spotřeby paliva v čase na šestý rychlostní stupeň v kombinovaném režimu



Graf 11 – závislost otáček motoru v čase na šestý rychlostní stupeň v kombinovaném režimu



Graf 12 - znázornění rychlosti vozidla při klesání na 6. rychlostní stupeň v kombinovaném režimu

Graf 10 znázorňuje, že od 2,51 do 4 sekundy došlo k uvolnění akceleračního pedálu a okamžitá spotřeba paliva klesla z 6,4 l/h na 0 l/h. Od právě zmiňované 4 sekundy není do agregátu dodáváno palivo, a tudíž je nulová spotřeba. Do 130,4 sekundy vozidlo ujelo výše zmiňovaných 2200 metrů bez dodávky paliva do spalovacího prostoru. Od 130,4 sekundy a překonání svislé osy jízda přešla na režim za použití akceleračního pedálu. Vždy po dosažení zákonem dané maximální rychlosti, tj. 90 km/h byl opět uvolněn akcelerační pedál na tak dlouho, dokud nebyl vyžadován plynulostí provozu.

Z grafu 11 je možno vidět, že v režimu bez použití akceleračního pedálu docházelo k pozvolnému nárůstu a klesání otáček dle sklonu vozovky. Pokles otáček motoru značí stoupání vozovky, zatímco mírný nárůst otáček znamená klesání vozovky. svislá čára v grafu značí počátek změny režimu jízdy – jízda za použití akceleračního pedálu. V tomto případě nárůst otáček pohonného agregátu značí stoupání vozovky, kdy vozidlo není schopno samovolně překonat toto stoupání a musí být podpořeno dodávkou paliva do spalovacího prostoru, zatímco při poklesu otáček je možné dočasně uvolnit akcelerační pedál a jet chvíli s nulovou spotřebou. Od 231,66 do 271 sekundy docházelo k mírnému nárůstu otáček a sklon vozovky umožňoval uvolnit akcelerační pedál, a tím ušetřit část paliva.

Graf 12 zobrazuje rychlost vozidla v kombinovaném režimu, přičemž v režimu bez použití akceleračního pedálu dochází k plynulému nárůstu a poklesu rychlosti dle sklonu vozovky. Nárůst rychlosti značí klesání pozemní komunikace, a naopak pokles rychlosti představuje mírný nárůst stoupání vozovky. Po překonání 132 sekund a svislé osy dochází k režimu jízdy za použití akceleračního pedálu. V tomto režimu jízdy dochází k udržování rychlosti okolo 90 km/h, tedy maximální povolené rychlosti danou zákonem. Změna rychlosti již není pozvolná a dochází k ní velmi prudce. Důsledkem prudkých změn rychlosti byla velká hustota provozu, a tedy dodržování bezpečné vzdálenosti vozidel od sebe. V čase od 215,7 sekundy do 232,16 sekundy bylo dosaženo většího snížení rychlosti z důvodu úpravy maximální povolené rychlosti na 70 km/h kvůli možnosti zvýšeného pohybu chodců na vozovce. Po překonání 232,16 sekund docházelo opět k pozvolnému nárůstu rychlosti vozidla. Pozvolného zrychlování bylo dosaženo bez použití akceleračního pedálu, protože sklon vozovky umožnil tento režim jízdy.

## 9 Zhodnocení měřených případů

Tabulka 3- Shrnutí naměřených hodnot

Shrnutí naměřených hodnot				
	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4
<i>Způsob jízdy</i>	Neutrál bez omezení	Neutrál při 90 km/h	Neutrál při 90 km/h letní kola	Kombinovaný režim jízdy
<i>Průměrná rychlost [km/h]</i>	83,886	79,5927	79,8963	78,5953
<i>Průměrná spotřeba paliva [l/100km]</i>	0,56	0,678	0,4728877	1,3
<i>Spotřeba paliva během měření [l]</i>	0,03808	0,046104	0,0321564	0,0589
<i>Náklady na měřený úsek [Kč]</i>	1,043392	1,2632496	0,88108536	1,61386

V porovnání neutrálu oproti zařazenému šestému rychlostnímu stupni v kombinovaném režimu lze říci, že se po stránce spotřeby paliva vyplatí sjíždět měřený úsek bez zařazeného rychlostního stupně. Spotřeba paliva při jízdě bez zařazeného rychlostního stupně činí 0,03808 litrů motorové nafty, zatímco na šestý zařazený rychlostní stupeň je spotřeba motorové nafty 0,0589 litrů. Rozdíl spotřeby motorové nafty tedy činí 0,02082 litrů. Co se týče finanční stránky, tak se vyplatí sjíždět táhlý kopec na neutrál, i když celkový rozdíl je zanedbatelný. Rozdíl na měřené trase mezi neutrálem a zařazeným rychlostním stupněm v kombinovaném režimu činí 0,570468 Kč.

Každopádně u obou případů stále nelze říci, že by jedna možnost byla lepší než druhá. Oboje varianty mají své výhody a nevýhody.

Co se týče jízdy na neutrál, tak jako výhoda se jeví to, že vozidlo je schopno ujet větší vzdálenost z kopce, protože je odpojen přenos momentu z převodovky na hnací kola, a tudíž nenastává žádná zátěž ani brzdový účinek, který by omezoval motorové vozidlo v dojezdu. Je ale nutné podotknout, že v tomto případě dochází k razantnímu překročení nejvyšší povolené rychlosti. V případě měřené trasy, na které probíhá experimentální měření, dochází ke klesání



a po pár stovkách metrů dochází i k mírnému stoupání. Na toto mírné stoupání není potřeba zařazovat rychlostní stupeň, protože rychlost a energie, kterou vozidlo nabralo je schopno využít i na následné stoupání, přičemž jednou z nevýhod je ztráta rychlosti.

Další nevýhoda může nastat při brzdění. S obecnou platností lze říci, že v případě táhlého klesání může dojít během intenzivního brzdění k přehřátí brzd nebo dokonce i k jejich ztrátě funkčnosti, což může mít za důsledek vznik kolize na pozemní komunikaci a úniku provozních kapalin vozidla, které velmi negativně ovlivňují životní prostředí. Mezi další nevýhodu může být zařazeno to, že se při delším stoupání musí zařadit rychlostní stupeň, a tím získat potřebnou energii pro dosažení otáček pro akceleraci.

U jízdy na zařazený šestý rychlostní stupeň při sjíždění z táhlého kopce bez použití akceleračního pedálu dochází k odpojení dodávky paliva do spalovacího prostoru, což má za důsledek nulovou spotřebu, nicméně vozidlo ujede o poznání kratší vzdálenost, než kdyby vozidlo jelo na neutrálu. Během zařazené rychlosti působí na kola brzdící síla, která je zapříčiněná odporovým momentem motoru. Motor je roztáčen setrvačnou silou, kterou je schopný následně využít při akceleraci během stoupání. To znamená, že se nemusí motor znovu roztáčet z volnoběžných otáček do otáček potřebných pro vyrovnání rychlosti a případnou akceleraci. Své využití to má i v bezpečnosti provozu. Jízdu ze svahu se zařazeným rychlostním stupněm lze považovat za odlehčovací brzdění, jak bylo zmiňováno již výše.

Lze tedy říci, že při sjíždění svahu před obcí se doporučuje jízda se zařazeným rychlostním stupněm. Napomáhá to i celkové životnosti brzdového obložení vozidla. Nutné podotknout, že u nákladních vozidel je dokonce zakázáno sjíždění táhlých kopců bez zařazeného rychlostního stupně.

## 10 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zanalyzovat a zhodnotit, zda je výhodnější a úspornější sjíždět táhlé kopce na nejvyšší zařazený rychlostní stupeň, nebo zda je lepší sjíždět táhlé kopce bez zařazeného rychlostního stupně, na takzvaný neutrální. Tato práce se zabývá tématem úspory paliva během jízdy ze svahu. Podle mého názoru je to pravděpodobně nejdiskutovanější téma na straně motoristů, ale také u řady expertů na dopravu a motorová vozidla.

V první části mé práce jsou uvedeny poznatky z problematiky ekologie v dopravě a jednoduché způsoby, jak ušetřit část paliva nejen při jízdě ze svahu, ale také za běžného provozu. Dalším bodem práce je seznámení s funkcí čtyřdobého spalovacího motoru, popis jednotlivých fází spalování paliva a dále popis jednotlivých druhů a typů vstřikování, které se liší typem dávkování benzínu či motorové nafty do spalovacího prostoru. Poté následovalo zaměření na vysokotlaké vstřikovací systémy využívající motorovou naftu na provoz – zejména na systémy Common Rail, PDE, PLD a systémy s řadovým a rotačním čerpadlem a podrobnější rozebrání systému PDE z důvodu použití u motorového vozidla na experimentální měření v praktické části.

Praktická část této práce spočívá v určení celkové spotřeby motorové nafty na vybraném úseku. Měření bylo prováděno s vozidlem Škoda Octavia II 2.0 TDI s výkonem 103 Kw a za pomoci počítačového programu VAG-COM. Experiment probíhal při okolní teplotě 15° a tudíž byly zajištěny stejné provozní podmínky motoru. Byly vypracovány a podrobně popsány grafy na závislost spotřeby paliva v čase, závislost otáček motoru v čase a znázornění rychlosti vozidla v čase v jednotlivých testovacích režimech. Mezi testovací režimy patří jízda bez zařazeného rychlostního stupně, režim jízdy bez zařazeného rychlostního stupně při dodržení maximální povolené rychlosti, režim jízdy se zařazeným rychlostním stupněm, a také režim jízdy se zařazeným rychlostním stupněm v kombinovaném režimu. Výsledkem experimentálního měření je analýza a vyhodnocení daných případů. Vyhodnocením bylo dosaženo závěru, že měřený úsek je z hlediska spotřeby výhodnější sjíždět bez zařazeného rychlostního stupně. Spotřeba paliva v tomto režimu jízdy činí 0,03808 litrů paliva, zatímco na zařazený rychlostní stupeň v kombinovaném režimu je spotřeba paliva 0,0589 litrů motorové nafty. Z pohledu finanční stránky je také výhodnější sjíždět měřený úsek bez zařazeného rychlostního stupně. Částka za měřený úsek činí 1,043392 Kč, zatímco při jízdě v kombinovaném režimu částka za ujetý úsek činí 1,61386 Kč. Rozdíl mezi těmito režimy při konstantní ceně paliva činí 0,570468 Kč, což je z mého pohledu zanedbatelná

částka a co se týče spotřeby paliva, tak rozdíl činí 0,02082 litrů motorové nafty, což je opět zanedbatelný rozdíl.

Pokud tedy shrnu oba případy tak je výhodnější absolvovat měřený úsek bez zařazeného rychlostního stupně, ale jelikož se jedná o minimální až zanedbatelné částky a hodnoty, tak je z hlediska bezpečnosti a ekologie lepší absolvovat úsek se zařazeným rychlostním stupněm.

## Seznam literatury

Ing. Bronislav Žďánský, Ing. Zdeněk Jan, Automobily 3 Motory. 6. vydání, Brno 2010.  
ISBN 978-80-87143-15-5

Ing. Bronislav Žďánský, Ing. Zdeněk Jan, Automobily 4 Příslušenství. 3. vydání, Brno 2010  
ISBN 978-80-87143-16-2

Ing. Jan Hromádko, Ph.D., Ing. Jiří Hromádko, Ph.D., Ing. Vladimír Hönig, Ph.D. AMRSC,  
Ing. Petr Miler, Ph.D., Spalovací motory. 1. vydání, Praha 2011. ISBN 978-80-247-3475-0

Prof. Ing. František Vlk, DrSc., Elektronické systémy motorových vozidel 1, 1.vydání, Brno  
2002. ISBN 80-238-7282-6

doc. Ing. Stanislav Gregora, Ph.D., Ing. Zdeněk Mašek, Elektronické a mechatronické  
systémy v konstrukci silničních vozidel, 1.vydání, Pardubice 2008. ISBN 978-80-7395-082-8

Ing. Petr Jílek, Dis., Ing. Jan Pokorný, Ph.D., Úvod do spalovacích motorů. 1. vydání,  
Pardubice 2013. ISBN 978-80-7395-743-8

Zdeněk Schröter, Autoškola? Pohodlně!, 7. upravené vydání, Plzeň 2012.  
ISBN 978-80-904665-6-2

### **Internetové zdroje:**

[www.auto.cz](http://www.auto.cz)

[www.cbpmr.cz](http://www.cbpmr.cz)

[www.autolexicon.net](http://www.autolexicon.net)

[uvp3d.cz](http://uvp3d.cz)

[www.neptun-harfa.cz](http://www.neptun-harfa.cz)

[www.pneusafranek.cz](http://www.pneusafranek.cz)

[www.dfens-cz.com](http://www.dfens-cz.com)

[www.kvm.tul.cz](http://www.kvm.tul.cz)

### **Závěrečné práce:**

Šmída Daniel, Start-Stop systémy, Pardubice 2016, Bakalářská práce, Univerzita Pardubice,  
Dopravní fakulta Jana Pernera

Červenka Petr, DiS., Elektronický řídicí systém zážehového spalovacího motoru a jeho diagnostika, České Budějovice 2008, Bakalářská práce, Jihočeská Univerzita, Pedagogická fakulta