

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA



**OPTIMALIZACE NASTAVENÍ ŘÍDICÍ
JEDNOTKY Z HLEDISKA KVALITY PRÁCE
ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ NA PALIVO E85**

Katedra Jakosti a spolehlivosti strojů

Doktorská disertační práce

ING. TOMÁŠ KOTEK

PRAHA 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci zpracovávanou na téma „Optimalizace nastavení řídicí jednotky z hlediska kvality práce zážehových motorů na palivo E85“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Martina Pexy, Ph.D. a použil jen pramenů, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Tištěná a elektronická verze se doslovně shodují.

.....

Tomáš Kotek

V Praze dne 26. 4. 2016

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval všem, se kterými jsem mohl o dané problematice hovořit a kteří mi poskytli informace vedoucí k vypracování této práce.

Především bych chtěl poděkovat své rodině, která mi poskytla podporu a čas k vypracování této disertační práce. Velké poděkování patří mému bratru Ing. Martinovi Kotkovi, Ph.D., za odborné vedení a pomoc při zpracování disertační práce. Dále bych rád poděkoval svému školiteli doc. Ing. Martinu Pexovi, Ph.D. za odborné rady a za vedení této disertační práce.

Abstrakt

Práce se zabývá optimalizací provozu zážehového spalovacího motoru na palivo E85. V rešeršní části je práce věnována problematice biopaliv z hlediska jejich výroby, distribuce a použití ve spalovacích motorech.

Experimentální část práce je věnována návrhu a ověření funkčnosti přídavné řídicí jednotky (PŘJ), která řeší optimalizaci provozu jinak neupraveného motoru na palivo E85.

První část experimentu je věnována návrhu a konstrukci PŘJ s cílem bezchybného provozu motoru na palivo E85.

Druhá část experimentu měla za cíl optimalizaci provozu z hlediska spotřeby paliva pomocí dynamické změny doby otevření vstřikovacích ventilů. Součástí experimentů bylo také hodnocení produkce emisí a vliv na výkonové parametry motoru.

Závěrečná část experimentu hodnotí dosažené výsledky při různé strategii nastavení PŘJ a porovnává je s výsledky při provozu motoru na předepsané palivo N95.

Dynamickou změnou doby otevření vstřikovacích ventilů bylo dosaženo snížení spotřeby cca o 5 %, snížení produkce CO řádově o 70 %, zhruba čtyřnásobné zvýšení produkce emisí NO_x a zhruba 50% pokles produkce pevných částic.

Klíčová slova: biopaliva, přídavná řídicí jednotka, prodloužení doby vstřiku, spotřeba paliva

Abstract

The work deals with optimizing the operation of spark ignition internal combustion engine on fuel E85. The theoretical part is devoted to the issue of biofuels in terms of production, distribution and use in internal combustion engines.

The experimental part is devoted to the design and verification of the additional control unit (ADU) which solves the optimisation of operation unmodified engine on E85.

The first part of the experiment is dedicated to the design and construction of ADU with aim to faultless operation of the engine on E85.

The second part of the experiment was devoted to optimisation of engine operation in terms of fuel consumption using dynamic changes of the injectors' opening time. Part of the experiments was an evaluation of emissions production and impact on the performance parameters of the engine.

The final part of the experiment evaluates the achieved results at the various settings strategy of ADU and compares them with results during engine operation on prescribed fuel N95.

By the dynamic change of the injector opening time were reached decrease in fuel consumption by about 5%, reduction in CO production by around 70%, approximately fourfold increase in the production of NO_x emissions and about 50% decrease in production of particulate matters.

Key words: biofuels, additional control unit, injection time extension, fuel consumption

Obsah

PROHLÁŠENÍ	I
PODĚKOVÁNÍ	II
ABSTRAKT	III
ABSTRACT	IV
OBSAH	V
SEZNAM OBRÁZKŮ	VII
SEZNAM GRAFŮ	VIII
SEZNAM TABULEK	X
SEZNAM ZKRATEK	XI
ÚVOD	1
1. ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU	2
1.1 PALIVA POUŽÍVANÁ PRO POHON MOTORŮ	2
1.2 BIOPALIVA PRO ZÁŽEHOVÉ MOTORY	3
1.2.1 <i>Biopaliva 1. generace</i>	4
1.2.2 <i>Biopaliva 2. generace</i>	4
1.2.3 <i>Biopaliva 3. generace</i>	5
1.3 LEGISLATIVA V OBLASTI BIOPALIV	6
1.4 PERSPEKTIVNÍ BIOPALIVA VHODNÁ PRO PROVOZ ZÁŽEHOVÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ	9
1.4.1 <i>Biometanol</i>	10
1.4.2 <i>Bioetanol</i>	10
1.4.2.1 Výroba bioetanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry	12
1.4.2.2 Výroba bioetanolu z biomasy obsahující škrob	13
1.4.2.3 Výroba bioetanolu z lignocelulózové biomasy	14
1.4.3 <i>Biobutanol</i>	15
1.5 NUTNÉ ÚPRAVY PRO PROVOZ VOZIDEL NA BIOPALIVA	17
1.6 VÝZKUM PROBÍHAJÍCÍ V OBLASTI BIOPALIV	18
2. VĚDECKÉ HYPOTÉZY A CÍLE PRÁCE	27
3. MATERIÁLY A METODY	29
3.1 METODIKA NÁVRHU A KONSTRUKCE PŘJ	29
3.2 METODIKA TESTOVÁNÍ FUNKČNOSTI PŘJ	29

3.3	METODIKA OPTIMALIZACE NASTAVENÍ PŘJ	37
3.4	METODIKA ZPRACOVÁNÍ DAT	38
3.4.1	<i>Systém Datalab</i>	38
3.4.2	<i>OBD</i>	39
3.4.3	<i>Emisní analyzátor VMK</i>	41
3.4.4	<i>Analyzátor pevných částic EEPS</i>	42
4.	VÝSLEDKY A DISKUZE	44
4.1	NÁVRH A VÝROBA PŘJ	44
4.1.1	<i>První verze PŘJ</i>	44
4.1.2	<i>Druhá verze PŘJ</i>	45
4.1.3	<i>Dílčí závěr</i>	49
4.2	TESTOVÁNÍ FUNKČNOSTI PŘJ	49
4.2.1	<i>Příklad vyhodnocení jízdního cyklu při konstantním prodloužení 15 %</i>	50
4.2.2	<i>Sumární zhodnocení statického prodloužení doby vstřiku</i>	51
4.2.3	<i>Dílčí závěr</i>	53
4.3	OPTIMALIZACE NASTAVENÍ PŘJ	53
4.3.1	<i>Progresivní varianta</i>	56
4.3.2	<i>Degresivní varianta</i>	58
4.3.2.1	<i>Vyhodnocení produkce pevných částic</i>	68
4.3.2.2	<i>Vyhodnocení teplot výfukových plynů</i>	70
4.3.3	<i>Porovnání provozu na E85 vs. N95</i>	72
4.3.3.1	<i>Porovnání provozních parametrů při provozu na N95 a E85</i>	72
4.3.3.2	<i>Finanční porovnání provozu na palivo N95 a E85</i>	74
4.3.4	<i>Dílčí závěr</i>	74
5.	ZÁVĚR	76
	POUŽITÉ ZDROJE	78
	PŘÍLOHA 1 – SCHÉMA PŘJ	87
	PŘÍLOHA 2 – SCHÉMA DATALAB	88

Seznam obrázků

Obr. 1:	Technologie výroby biopaliv 1. generace	5
Obr. 2:	Technologie výroby biopaliv 2. generace	5
Obr. 3:	Blokové schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry	13
Obr. 4:	Blokové schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující škrob.....	14
Obr. 5:	Blokové schéma výroby bioetanolu z lignocelulózové biomasy	15
Obr. 6:	Výsledky statické zkoušky měření výkonu motoru	19
Obr. 7:	Umístění teplotního čidla	30
Obr. 8:	Výkonová a momentová charakteristika testovaného motoru.....	31
Obr. 9:	Brzdové stanoviště (motor + vířivý dynamometr)	32
Obr. 10:	Ovládací prostředí brzdového stanoviště.....	33
Obr. 11:	Diagnostický systém VAG-COM.....	34
Obr. 12:	Osciloskop Autoskop II.....	34
Obr. 13:	Emisní analyzátor VMK.....	35
Obr. 14:	Emisní analyzátor ATAL AT-505.....	35
Obr. 15:	Zobrazovací panel plošinové váhy Soehnle	36
Obr. 16:	Umístění nádrže na vážícím zařízení.....	37
Obr. 17:	Záznam z osciloskopu – poruchový stav	44
Obr. 18:	První verze PŘJ	45
Obr. 19:	Funkční schéma PŘJ.....	46
Obr. 20:	Ovládací program PŘJ.....	47
Obr. 21:	Druhá verze přídavné řídicí jednotky	48
Obr. 22:	Oscilogram PŘJ při prodloužení 20 %.....	49

Seznam grafů

Graf 1:	Závislost změny předstihu na momentu motoru	22
Graf 2:	Emise CO v závislosti na předstihu	22
Graf 3:	Emise CO ₂ v závislosti na předstihu	22
Graf 4:	Emise NO _x v závislosti na předstihu	22
Graf 5:	Emise HC v závislosti na předstihu	23
Graf 6:	Závislost kompresního poměru na momentu motoru	24
Graf 7:	Vliv kompresního poměru na výkon motoru	25
Graf 8:	Vliv kompresního poměru na měrnou spotřebu	25
Graf 9:	Vliv kompresního poměru na teplotu výfukových plynů	26
Graf 10:	Průběh točivého momentu a otáček v navrženém jízdním cyklu	30
Graf 11:	Ukázka synchronizace dat z OBD	40
Graf 12:	Ukázka průběhu emisí CO ₂ a průměrné doby vstřiku	42
Graf 13:	Ukázka synchronizace dat částicového analyzátoru EEPS.....	43
Graf 14:	Emise CO při opakování jízdního cyklu.....	51
Graf 15:	Prům. doba vstřiku při opakování jízdního cyklu.....	51
Graf 16:	Závislost tlaku v sání na zatížení motoru.....	54
Graf 17:	Závislost analogového vstupu PŘJ a prodloužení doby vstřiku	55
Graf 18:	Progresivní závislost hodnoty tlak. čidla a vstupu PŘJ	57
Graf 19:	Degresivní závislost hodnoty tlak. čidla a vstupu PŘJ	58
Graf 20:	Porovnání průběhu momentu a výkonu v jízdním cyklu (prodloužení p10 a degre1).....	59
Graf 21:	Porovnání průběhu emisí CO ₂ v jízdním cyklu (prodloužení p10 a degre1).....	60
Graf 22:	Porovnání průběhu emisí CO v jízdním cyklu (prodloužení p10 a degre1).....	60
Graf 23:	Porovnání průběhu emisí NO _x v jízdním cyklu (prodloužení p10 a degre1).....	61
Graf 24:	Porovnání průběhu emisí HC v jízdním cyklu (prodloužení p10 a degre1).....	61
Graf 25:	Porovnání průběhu emisí CO v jízdním cyklu (prodloužení degre2 a degre3).....	63

Graf 26:	Porovnání průběhu emisí NO v jízdním cyklu (prodloužení degre2 a degre3).....	63
Graf 27:	Průběh emisí CO při dynamickém jízdním cyklu s prodloužením 10 %	65
Graf 28:	Průběh emisí NO při dynamickém jízdním cyklu s prodloužením 10 %	66
Graf 29:	Průběh produkce pevných částic E85 - konstantní prodloužení doby vstřiku 10 %	69
Graf 30:	Průběh produkce pevných částic E85 – proměnná doba vstřiku	69
Graf 31:	Průběh produkce pevných částic – palivo Natural 95.....	70
Graf 32:	Průběh teplot výfukových plynů v jednotlivých cyklech	70
Graf 33:	Vyhodnocení výkonu motoru	75

Seznam tabulek

Tab. 1:	Porovnání alkoholových paliv	9
Tab. 2:	Parametry měřeného motoru	31
Tab. 3:	Parametry vířivého dynamometru	32
Tab. 4:	Technické parametry analyzátoru VMK	35
Tab. 5:	Technická specifikace analyzátoru Atal AT-505	36
Tab. 6:	Technické parametry částicového analyzátoru EEPS TSI3090	36
Tab. 7:	Technické parametry vážicího zařízení	37
Tab. 8:	Ukázka záznamu hodnot z brzdového stanoviště	38
Tab. 9:	Ukázka záznamu hodnot z OBD	39
Tab. 10:	Ukázka záznamu hodnot z emisního analyzátoru VMK	41
Tab. 11:	Ukázka záznamu hodnot z částicového analyzátoru EEPS	43
Tab. 12:	Průměrné provozní parametry motoru v jízdním cyklu při prodloužení 15 %	51
Tab. 13:	Souhrnné výsledky provozních parametrů motoru v jízdním cyklu	52
Tab. 14:	Souhrnné výsledky testovacího cyklu při p10 a degre1	62
Tab. 15:	Porovnání výsledků testovacího cyklu při p10, degre2 a degre3	62
Tab. 16:	Porovnání výsledků testovacího cyklu při p10, degre4, a degre5 a degre6	64
Tab. 17:	Souhrnné výsledky s konstantním prodloužením 10 %	66
Tab. 18:	Souhrnné výsledky s dynamickým prodloužením	67
Tab. 19:	Porovnání souhrnných výsledků pdyn a p10	68
Tab. 20:	Porovnání maximálních teplot výfukových plynů	71
Tab. 21:	Souhrnné výsledky při provozu motoru na N95	72
Tab. 22:	Srovnání průměrných hodnot p10, pdyn a N95	72
Tab. 23:	Cenové srovnání	74

Seznam zkratek

ABE	Acetone–butanol–etanol fermentace
BMEP	Brake Mean Effective Pressure
CSV	Comma Separated Values
DBF	DataBase File
E100	Palivo složené ze 100 % bioetanolu
E22	Palivo složené z 22 % bioetanolu a 78 % automobilového benzínu Natural 95
E85	Palivo složené z 85 % bioetanolu a 15 % automobilového benzínu Natural 95
EEŘO	Etylester řepkového oleje
ETBE	Ethyltercbutylether
EEPS	Engine Exhaust Particle Sizer
EU	Evropská unie
FAME	Metylester mastných kyselin
FFV	Flexi Fuel Vehicle
HTP	High Torque Performance
LPG	Liquefied Petroleum Gas - zkapalněný topný plyn
MAF	Mass air flow – hmotnostní průtok vzduchu
MEŘO	Metylester řepkového oleje
N95	Benzin Natural 95
NDIR	Non-Dispersive Infrared, nedisperzní infračervená spektrometrie
OBD	Onboard diagnostika
PHP	Hypertext Preprocessor
PŘJ	Přídavná řídicí jednotka
ŘJ	Řídicí jednotka
SW	SoftWare - počítačový program

Úvod

Automobilová doprava je v dnešní době nedílnou součástí lidské společnosti. Vynález automobilu a potažmo spalovacího motoru lze považovat za jeden z největších vynálezů, který ovlivnil vývoj moderní společnosti. Bohužel s automobilovou dopravou a provozem spalovacích motorů jsou spojeny značné problémy, z nichž největší představuje produkce škodlivých emisí.

Jednou ze základních možností, jak snižovat produkci škodlivých emisí, je zavádění biopaliv. Definování biopaliv jako vhodných alternativních paliv je poprvé popsáno v tzv. „Zelené knize“ s oficiálním názvem „Směrem k evropské strategii pro zabezpečení dodávek energie“. Podle tohoto dokumentu má dojít k 20% náhradě konvenčních paliv alternativními palivy do roku 2020. Z toho by měl být podíl biopaliv ve výši 8 %. Širší používání biopaliv má za cíl snížit energetickou závislost EU, pomoci zkvalitnit životní prostředí, diverzifikovat produkci a zvýšit zaměstnanost v sektoru zemědělství [1].

Perspektivním biopalivem je dnes palivo nesoucí název E85, které obsahuje 85 % bioetanolu (norma ČSN P CEN/TS 15293 uvádí rozsah 70-85 obj.%) a 15 % (15-30 obj.%) automobilového benzínu Natural 95 (N95) a lze jej v dnešní době bezproblémově spalovat v tzv. FFV vozidlech (Flexi Fuel Vehicle). I když takovéto automobily nabízí řada světových výrobců vozidel (mimo jiné i automobilka Škoda), je jejich podíl stále velmi malý. V České republice je v současné době podle statistik vedených v Centrálním registru vozidel cca 850 FFV vozidel. V kontrastu s počtem registrovaných vozidel je přes 400 čerpacích stanic pro palivo E85 dostatečné množství, které nebrání většímu rozšíření tohoto paliva. Navíc FFV vozidla jsou schopna jezdit na libovolný poměr paliva E85 a automobilového benzínu, čímž klesá závislost na tankovacích místech. Hlavním problémem, který brání většímu využívání paliva E85, je tedy počet FFV vozidel. Bude-li požadováno větší využívání paliva E85, není možné se soustředit pouze na nová vozidla, ale je vhodné podpořit dodatečné přestavby automobilů na palivo E85, obdobně jako je tomu u LPG. Tématem možnosti úpravy starších vozidel pro provoz na biopaliva se bude zabývat tato disertační práce. Pozornost bude zaměřena hlavně na palivo E85, což bude reflektováno rozsáhlejšími kapitolami, týkajícími se daného biopaliva.

1. Rozbor současného stavu

V této kapitole budou popsána jednotlivá paliva používaná pro pohon spalovacích motorů. Snahou bude popsat různé druhy biopaliv od historie až po současnost.

1.1 Paliva používaná pro pohon motorů

Vznik spalovacího motoru prošel během 19. století složitým vývojem. Nejvýraznější postavou byl bezesporu německý vynálezce Nicolaus Otto. Tento konstruktér a vynálezce vyrobil a dne 25. května 1877 si nechal patentovat spalovací motor, který využíval čtyřtakový cyklus a jako palivo používal svítiplyn. V této době sloužilo mnoho hořlavých plynů jako pohonné látky. Nejčastěji to byl svítiplyn, dřevoplyn nebo také metan.[2]

Až v roce 1884 byl použit odpařovací karburátor, který umožnil spalovat kapalná paliva. Důvodem přechodu na kapalná paliva byla jejich vyšší objemová hustota energie, která znamenala delší provoz a lepší skladovatelnost ve srovnání s plynými palivy. Na konci 19. století se zdálo, že kapalná paliva nad plynými zvítězila, avšak nedostatek kapalných paliv za 1. i 2. světové války znovu poukázal na výhody plyných paliv. Nevýhodou těchto paliv zůstával malý akční rádius daný řídkou sítí distribučních míst.[2]

Benzin jako palivo využil ve svém spalovacím motoru Gottlieb Daimler, jenž jej využil nejdříve v motocyklu a následně v prvním čtyřkolovém automobilu. Na tomto základě pak Karl Benz sestrojil první prakticky použitelný benzinovým motorem poháněný automobil. Dalším, kdo se postaral o hromadné rozšíření automobilů mezi širokou veřejnost, byl Henry Ford. Jeho automobil Ford T byl v té době prvním automobilem, který se díky rozumné ceně dostal mezi široké vrstvy obyvatelstva. Benzin jako motorové palivo našel uplatnění na začátku dvacátého století. Jednalo se o produkt získaný prostou destilací ropy a jeho vlastnosti byly dány do jisté míry náhodnou skladbou uhlovodíků v závislosti na původu zpracovávané ropy. Se zdokonalováním spalovacích motorů byla zaměřena pozornost i na složení a kvalitu paliva. Bylo zjištěno, že různé druhy benzínu měly prokazatelný vliv na tzv. „klepání“ motoru, což byl důsledek detonačního spalování probíhajícího ve spalovacím prostoru. Jako měřítko tohoto jevu bylo zavedeno oktanové číslo, které vyjadřuje odolnost paliva ve směsi se vzduchem proti samozápalu. V této době používané pohonné směsi měly oktanové číslo v rozmezí 40 – 60 oktanových jednotek.

Další vývoj ukázal, že cesta zvyšování oktanového čísla je předpokladem k dosažení vyššího výkonu zážehového motoru.[3]

Začátek používání nafty jako motorového paliva se datuje na počátek dvacátého století. Za tvůrce vznětového motoru je považován Rudolf Diesel, který v roce 1897 zkonstruoval vysokotlaký spalovací pístový motor se samočinným zážehem. Tento motor našel široké uplatnění v nákladní dopravě, kde nahradil do té doby používaný parní stroj.

1.2 Biopaliva pro zážehové motory

Pozvolná náhrada fosilních paliv je částečně motivována vyčerpatelností zásob fosilních zdrojů, částečně pak zvýšenými požadavky na ochranu životního prostředí. Dalším důvodem je možnost využití zemědělské půdy pro pěstování biomasy a je proto jednou z příležitostí pro vytvoření nových pracovních míst v rezortu zemědělství a lesnictví.

Hlavním důvodem zájmu společnosti a výzkumu ohledně biopaliv je nalezení odpovědi na otázku, do jaké míry jsou biopaliva schopná snižovat produkci oxidu uhličitého. Nesporným faktem je, že při pěstování rostlin použitých jako vstupní surovina dochází vlivem fotosyntézy ke spotřebě oxidu uhličitého. Ten se opět do ovzduší uvolní až následným spálením biopaliva. Tuto bilanci je však nutno doplnit o další faktory. Pěstování a úprava vstupních surovin na výsledné biopalivo je velmi složitý a energeticky náročný proces, který je bezpochyby spojen s další produkcí oxidu uhličitého. Pro komplexní environmentální hodnocení jednotlivých motorových paliv by se měla používat tzv. „Well to Wheels“ analýza, která spočívá ve stanovení množství spotřebované fosilní energie a množství vyprodukovaných emisí skleníkových plynů vozidlem na ujetou vzdálenost v rámci celého životního cyklu paliva. [4]

Pod termínem biopaliva si lze představit paliva, která vznikla přípravou z biomasy, popřípadě biologického odpadu. Termín biomasa je všeobecně vnímán jako hmota rostlinného původu, nicméně podle dostupných definic lze za biomasu považovat veškerou hmotu biologického původu.

1.2.1 Biopaliva 1. generace

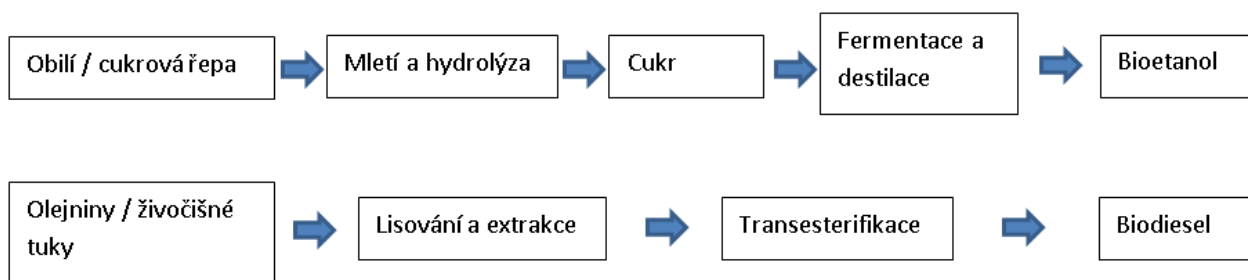
Pro výrobu biopaliv 1. generace sloužily jako vstupní suroviny plodiny, které byly využívány hlavně k výrobě potravin či krmiv. To mělo za následek „vlnu nevole“, protože produkce biopaliv 1. generace měla nepříznivý vliv na cenu potravin. Tato generace biopaliv se vyrábí fermentací cukrů a škrobu na bioetanol, nebo se získávají oleje a tuky, které se používají buď přímo, nebo se častěji reesterifikují na bionaftu. Mezi biopaliva první generace patří bioetanol vyrobený z obilí, z cukrové řepy, z cukrové třtiny, z kukuřice, ze škrobu nebo kvašením a rafinací z rostlinných odpadů. Výsledným produktem je metylester mastných kyselin (FAME) vyrobený z vylisovaných olejnatých rostlin (palmový olej, slunečnicový olej, aj.) Dalším produktem je metylester řepkového oleje (MEŘO) vyrobený z vylisované řepky olejné esterifikací, resp. jeho modifikace etylester řepkového oleje (EEŘO). [5] [6]

1.2.2 Biopaliva 2. generace

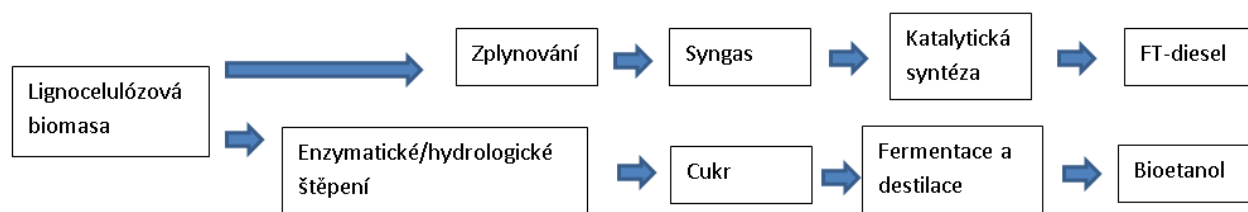
Za paliva 2. generace lze považovat taková paliva, která byla vyrobena z tzv. nepotravinářské biomasy. Vstupní surovinou tedy může být lesní biomasa včetně těžebních zbytků, zemědělský odpad (sláma, seno, kukuřičné, řepkové a jiné zbytky), energetické rostliny (křídlatka, čirok, šťovík apod.) či biologický odpad z domácností. Energetické plodiny druhé generace mají transformační potenciál na biopaliva výrazně vyšší než je tomu u první generace, avšak technologický proces je mnohem složitější a náročnější ve srovnání s biopalivy první generace. Konverzní poměr se uvádí obvykle 5:1 (z 5 tun biomasy lze vyrobit 1 tunu biopaliva). [5] [7] [8]

Mezi biopaliva druhé generace patří bioetanol vyráběný z lignocelulózové biomasy, syntetická motorová nafta jako produkt Fischer-Tropschovy syntézy, biometanol jako produkt katalytické konverze syntézního plynu, biodimethyléter jako produkt katalytické konverze syntézního plynu nebo biovodík jako produkt katalytické konverze syntézního plynu nebo biofermentačního procesu. [4] [9]

Porovnání technologie výroby nejpoužívanějších paliv je uvedeno na obr. 1. a obr. 2.



Obr. 1: Technologie výroby biopaliv 1. generace [10]



Obr. 2: Technologie výroby biopaliv 2. generace [10]

1.2.3 Biopaliva 3. generace

Vstupní surovinou pro biopaliva třetí generace jsou řasy a jednoduché fotosyntetické organismy. Výhodou těchto plodin oproti polním plodinám je v rychlosti jejich růstu, lze je sklízet průběžně (nikoliv sezónně), mají vysokou výtěžnost na jednotku plochy, mají vyšší obsah oleje (př.: řepka olejka 5 % hm., řasa 60 % hm.) a nízkou spotřebu vody. Perspektivní plodinou této generace biopaliv se ukazují sinice.

Biopaliva třetí generace zatím téměř nejsou prakticky využitelná, třebaže podle některých vědců právě jim patří budoucnost. Jako surovina pro výrobu paliva by vodní řasy mohly pomoci vyřešit spoustu problémů. Pokusy s biopalivy třetí generace jsou teprve na samotném počátku, proto lze očekávat první komerční výrobu až za dobu v řádech několika let. Dnes se přepracováním vodních řas na biopalivo (Algaculture) zabývá třeba PetroSun. Za rok vyrobí 4,4 miliónů galonů oleje z vodních řas. Tato hodnota produkce je prozatím na nižší úrovni, avšak výroba se neustále rozšiřuje a roste. [11]

Vývojem přeměny řas na biobutanol se zabývají i společnosti Du Pont a Bio Architecture Lab of Seattle, které získaly od amerického ministerstva energetiky (US DOE) grant ve

výši 9 milionů dolarů. Prvním cílem je výroba suroviny na bázi celulózy, která by měla mít vyšší výnosy než například kukuřice. Navíc, vyrobený biobutanol má oproti bioetanolu větší energetickou hustotu a může být proto přidáván do benzínu ve větší koncentraci. Problém je zatím v tom, že se nepodařila přeměna řas na základní cukry, ani jejich následné zpracování na biobutanol s použitím biokatalyzátoru. Pokud se ale podaří pěstovat řasy na 12,5 % příbřežních vod v USA, mohl by vyrobený biobutanol ročně nahradit 26 miliard litrů benzínu.

Po dodání CO₂ rostou zelené řasy velmi rychle a pokud se je podaří přeměnit na biopalivo, jsou stonásobně výnosnější na hektar než kukuřice, soja nebo cukrová třtina. Porovnání vyrobeného biopaliva z některých plodin ukazuje srovnání:

- sojové boby – 470 l · ha⁻¹,
- řepka olejka – 1 200 l · ha⁻¹,
- řasy – 66 000 až 94 000 l · ha⁻¹. [12] [13]

1.3 Legislativa v oblasti biopaliv

V září 2001 vydala Evropská komise bílou knihu s názvem „Evropská dopravní politika pro rok 2010: čas rozhodnutí“. V této knize je poukázáno na to, že hlavním zdrojem znečištění ovzduší v městských aglomeracích je původem z dopravy, což se jeví jako závažný problém do budoucna. Evropská asociace výrobců automobilů se v této souvislosti zavázala k 25% snížení průměrných emisí CO₂ z nových aut do roku 2008. [14]

V České republice určují kvalitu dvou nejčastěji využívaných motorových paliv (naftu a benzínu) jakostní standardy ČSN EN 590 [15] a ČSN EN 228 [16]. Obě tyto normy mj. udávají i maximální obsah biopaliv pro motorový benzin a naftu. Z důvodu odlišnosti fyzikálních i palivářských vlastností je tento přídavek limitován tak, aby byla zachována kvalita paliva. Přídavek biosložek je kromě jakostních norem upraven také zákonem č. 180/2007 Sb. [17], kterým byl pozměněn zákon č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší [18]. Tento zákon implementuje směrnici Evropského parlamentu a Rady 2003/30/EC o podpoře využívání biopaliv nebo jiných obnovitelných paliv v dopravě [19]. Podle této směrnice mohou být biopaliva určena k prodeji v těchto podobách:

- jako čistá biopaliva nebo deriváty minerálních olejů o vysoké koncentraci v souladu se zvláštními jakostními normami pro použití v dopravě,
- biopaliva smíšená s deriváty minerálních olejů v souladu s příslušnými evropskými normami popisujícími technické specifikace pro dopravní pohonné hmoty (EN 228 a EN 590),
- kapaliny odvozené od biopaliv, jako ETBE (etyltercbutyleter).

Zákon č. 180/2007 Sb. dále určuje osobě uvádějící motorové benziny nebo motorovou naftu do volného daňového oběhu na daňovém území České republiky pro dopravní účely povinnost zajistit, aby v pohonných hmotách, které uvádí do volného daňového oběhu na daňovém území České republiky pro dopravní účely za kalendářní rok, bylo obsaženo i minimální množství biopaliv, a to:

- od 1. ledna 2008 ve výši 2 % objemových z celkového množství motorových benzinů přimíchaných do motorových benzinů,
- od 1. září 2007 ve výši 2 % objemových z celkového množství motorové nafty přimíchaných do motorové nafty,
- od 1. ledna 2009 ve výši 3,5 % objemových z celkového množství motorových benzinů přimíchaných do motorových benzinů,
- od 1. ledna 2009 ve výši 4,5 % objemových z celkového množství motorové nafty přimíchaných do motorové nafty.

Dalším důležitým krokem bylo přijetí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/EC o podpoře energie z obnovitelných zdrojů [20] a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/EC [21] a 2003/30/EC [22], dne 23. dubna 2009. Další směrnicí, která se významně dotýká uplatňování biopaliv ve směsích s fosilními palivy v dopravě v horizontu do roku 2020, je směrnice 2009/30/ES. [5] [11] [23]

Účinnost obou směrnic je od ledna 2011. Směrnice se zaměřují na alternativní zdroje se zřetelem na biopaliva pro dopravu. Aplikace cílů směrnice je závazná. Česká republika obě směrnice (2009/28/ES a 2009/30/ES) transponovala do českého práva prostřednictvím novely zákona o pohonných hmotách (zákon č. 91/2011 Sb.) [24], zákona o ochraně ovzduší (zákon č. 201/2011 Sb.) [25] a nařízení vlády č. 446/2011 Sb. [26], které bylo

novelizováno nařízením vlády č. 351/2012 Sb. [27]. Účinnost legislativy je pro zákon č. 91/2011 Sb. od 1. 7. 2011, pro zákon č. 201/2011 Sb., kterým se mění zákon o ochraně ovzduší, od 1. 1. 2012 a pro nařízení vlády č. 446/2011 Sb. pak od 12. 1. 2012.

Pro petrolejářský průmysl je rozhodující cíl náhrady 10 % energie fosilních paliv pro dopravu biopalivy do roku 2020. Zvyšuje se podíl biopaliv ve směsích s fosilními palivy, a to tak, že benziny budou obsahovat až 10 % bioetanolu nebo 22 % bioetyltercbutyléteru a motorová nafta obsahovala max. 7 % FAME, později i 10 %. Směrnice dále stanoví, že pro starší park vozidel se zážehovým motorem musí být minimálně do roku 2013 v síti čerpacích stanic benzin s obsahem do 5 % bioetanolu. Zákonem č. 91/2011 Sb., je v České republice tato povinnost prodloužena až do konce roku 2018. Prodej dvou druhů automobilových benzinů stejného oktanového čísla, ale rozdílného obsahu biosložky, bude vyžadovat rozdílné značení výdejních stojanů a osvětlu zákazníků. [28]

Jako kritéria udržitelnosti stanovila směrnice 2009/28/ES následující požadavky:

- úspora emisí skleníkových plynů musí být alespoň 35 %, od 1.1.2017 pak alespoň 50 % a od 1.1.2018 alespoň 60 % u biopaliv a biokapalin vyrobených v zařízeních, která zahájí výrobu po 1.1.2017. Z požadavku na zvýšené hodnoty úspor emisí směrnice vyňala biopaliva a biokapaliny vyrobené z odpadů a zbytků jiných než ze zemědělství, akvakultury, rybolovu a lesnictví. U biopaliv a biokapalin vyrobených v zařízeních, která byla v provozu ke dni 23.1.2008, se požadavek na úsporu 35 % uplatnil od 1.4.2013.
- biopaliva a biokapaliny nesmí být vyrobeny ze surovin pěstovaných na půdě s vysokou hodnotou biologické rozmanitosti,
- nesmí být ani vyrobeny ze surovin získaných z půdy s velkou zásobou uhlíku, tj. z mokřadů, souvisle zalesněných oblastí,
- suroviny užití k výrobě biopaliv a biokapalin musí být vypěstovány v souladu s požadavky na dobrý zemědělský a environmentální stav, jak je určuje nařízení Rady 73/2009 - Pravidla pro režimy přímých podpor v rámci společné zemědělské politiky. [29]

1.4 Perspektivní biopaliva vhodná pro provoz zážehových spalovacích motorů

Tato kapitola se bude zabývat vhodnými palivy pro provoz zážehových spalovacích motorů. Hlavní důraz bude kladen na paliva, která budou použita v plánovaném experimentu.

V tabulce 1 je porovnání základních vlastností benzínu a alkoholů, používaných jako motorová paliva.

Tab. 1: Porovnání alkoholových paliv [6] [39]

Vzorec	metanol	etanol	butanol	benzín
	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	C ₄ H ₉ OH	přibližně C _x H _{1,8x}
Výhřevnost [MJ . kg ⁻¹]	19.9	28.9	33.1	44.4
Oktanové číslo [1]	110	106 - 130	94	91 - 100
Teplota vznícení [°C]	450	420	340	450
Výparné teplo [kJ . kg ⁻¹]	1110	904	710	320
Hustota při 15 °C [kg . m ⁻³]	796	794	814	720 - 775
Směšovací poměr se vzduchem [1]	6.6	9	11 - 12	12 - 15
Obsah uhlíku [% hm.]	37.5	52.2	64.8	85.5
Obsah vodíku [% hm.]	12.5	13	13.6	14.5
Obsah kyslíku [% hm.]	50	34.8	21.6	až 2.7
Tlak par [kPa]	42	21	2	45 - 90
Bod vzplanutí [°C]	11	20	34	pod -30

1.4.1 Biometanol

Biometanol je čistá kapalina, bez zápachu, pro člověka silně jedovatá. Dříve vystupoval jako vedlejší produkt při výrobě dřevěného uhlí. Biometanol je možno vyrobit z biomasy a z fosilních paliv, jako je zemní plyn a uhlí. Nevýhodou výroby metanolu z biomasy je jeho vysoká cena v porovnání se syntetickým metanolem ze zemního plynu. Biometanol je možné převést na vysoce oktanové palivo při relativně nízkých nákladech. Výhodou je, že takové palivo neobsahuje síru a znečištění ovzduší vlivem jeho spalování je velmi nízké. [30]

Výkon vozidel spalující biometanol je srovnatelný jako při spalování benzínu, avšak spotřeba paliva je díky odlišné výhřevnosti rozdílná. Palivová směs se může skládat z různého poměru biometanolu a klasického benzínu. Je možné provozovat spalovací motor i na čistý biometanol. V porovnání s benzinem má toto palivo vyšší oktanové číslo (zhruba 110), nižší teplotu hoření a produkuje méně škodlivin. Mezi hlavní nevýhody tohoto paliva patří již zmíněná toxicita, nižší energetická hustota, koroze kovových materiálů, detergentní účinky a negativní vliv na plastové materiály. [6]

1.4.2 Bioetanol

Bioetanol je biopalivo, které je vyrobeno technologií alkoholového kvašení z biomasy. Historie tohoto paliva v České republice sahá do meziválečného období, kdy toto palivo dosáhlo značného využití. Bioetanol byl vyráběn hlavně z přebytků zemědělské produkce. Celosvětový nástup využívání bioetanolu je spojen s ropnou krizí v sedmdesátých letech minulého století. V roce 1970 zavedla Brazílie první velký bioetanolový program s názvem Próalcool s cílem nahradit část klasického benzínu bioetanolem. Tento program přispěl k zájmu o rozvoj výzkumných aktivit s cílem zvýšení produkce bioetanolu a snahou o snížení výrobních nákladů. [5] [31]

První pokusy použití paliva na bázi etanolu se datují již na začátek 20. století. V důsledku nedostatku ropných produktů během druhé světové války byla snaha zdokonalit tato paliva s cílem odstranit technické problémy spojené s užíváním etanolu. Největším problémem byl obsah vody a hygroskopičnost etanolu, což mělo za následek korozi kovových součástí

motoru. I po válce se etanol používal do pohonných směsí. Hlavním důvodem byla hospodářská krize a nedostatek ropných produktů. Jinou motivací byl hnán výzkum ve Švédsku. Tam byla snaha využít velké produkce etanolu získávaného z odpadů po výrobě buničiny ze dřeva. Výzkum však probíhal i v dalších zemích - především v Británii, Francii a USA. [4] [32]

V České republice se lihobenzinové směsi začaly vyrábět již po konci první světové války. Pod názvem Dynakol se prodávaly směsi s obsahem 50 % etanolu, 30 % benzenu a 20 % benzínu. Důvodem byla snaha o co největší soběstačnost a dále také stoupající zemědělská výroba (především produkce cukrové řepy, brambor a obilí). Až do roku 1932 konkuroval tento výrobek benzínu, který pocházel z ropy. V letech 1926 až 1936 bylo v Československu zavedeno ze zákona povinné mísení bezvodého etanolu s benzínem v poměru 20/80. S rostoucí spotřebou pohonných hmot tak bylo využito asi 50 tis. tun etanolu jako přísady do benzínu ročně, což představovalo v roce 1935 20 % spotřeby. V České republice používání lihobenzinových směsí zaniklo až počátkem padesátých let minulého století. Důvodem útlumu byla politická orientace na SSSR s dostatkem ropy a zestátnění lihovarů, které byly postupem času rušeny. Ani privatizace lihovarnického průmyslu v devadesátých letech minulého století nepřispěla k rozvoji tohoto odvětví. Až nadprodukce obilovin nabídla šanci na obnovu projektu lihobenzinových směsí jako pomoc zemědělství, ochraně životního prostředí a zásobování s palivy. Výsledkem byl projekt bioetanolu, který byl postupně zajištěn legislativou a schválením nového zákona o lihu a o spotřební dani. [2]

V této příznivé fázi se však objevili lidé, kteří v tomto projektu viděli šanci na zbohatnutí. Vytvořilo se nevládné konkurenční prostředí, kde dominovala skupina, která nemínila nikoho nevyvoleného pustit k realizaci plánovaného projektu. Tím došlo k diskreditaci projektu a posléze jeho stažení na dobu, která způsobila jeho fatální utlumení. Po vstupu České republiky do EU a se vznikem Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/30/ES o podpoře využívání biopaliv nebo jiných obnovitelných zdrojů v dopravě ze dne 8. 5. 2003 se „pohnuly ledy“ a začaly se objevovat další aktivity vedoucí k realizaci projektu bioetanolu. [4]

Pro výrobu bioetanolu je možné použít jakoukoli surovinu obsahující dostatek cukrů nebo látek, které je možné na cukry převést - cukrovou řepu a odpad při výrobě cukru, cukrovou třtinu, brambory, pšenici, rýži a ostatní obilniny, kukuřici, topinambury (sladké brambory), batáty apod. Budoucnost však patří lignocelulózóvé biomase, jenž se ukazuje jako perspektivní zdroj pro výrobu bioetanolu. Lignocelulózová biomasa by mohla produkovat až 492 miliard litrů bioetanolu ročně. [6] [33]

Výše této produkce je zhruba šestnáctinásobná, než stávající výroba bioetanolu. Další perspektivní surovinou je rýžová sláma, která se ve světě považuje za hojný odpadní materiál. Její roční produkce představuje 731 miliónů tun a je distribuována po celém světě (Afrika 20,9 miliónů tun, Asie 667,6 miliónů tun, Evropa 3,9 miliónů tun, Amerika 37,2 miliónů tun a Oceánie 1,7 miliónů tun). Množství této suroviny by dokázalo vyprodukovat až 205 miliard litrů bioetanolu ročně, čímž by se rýžová sláma stala největším zdrojem suroviny sloužící k výrobě bioetanolu. [34]

1.4.2.1 Výroba bioetanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry

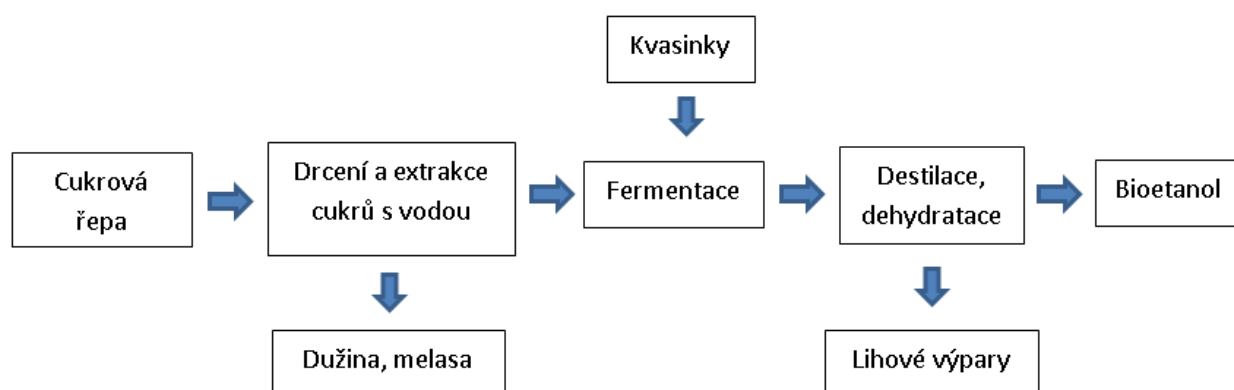
Jak již bylo řečeno, výroba bioetanolu z cukrové řepy nebo třtiny je nejjednodušší. Tyto suroviny obsahují sacharózu, která se podle rovnice (1) přemění na jednoduché cukry, které se pak dají snadno oddělit a fermentovat. [5]



Před vlastní fermentací je cukrová řepa nebo třtina rozmělněna, cukry jsou odděleny pomocí vypírky vodou. Odpadem ze zpracování je dužnina a melasa. Následuje kvašení ve fermentoru, při kterém jsou vzniklé sacharidy podle rovnice (2) zkvašovány kvasinkami na bioetanol a oxid uhličitý. [5]



Pro správný průběh kvašení je nutné dodržet vhodné pH (4 až 6) a odpovídající teplotu prostředí (27 až 32 °C). Za hraniční obsah etanolu v kvasící zápaře je považováno 12 až 13 obj.%, experimentálně bylo dosaženo hodnoty až 24 obj.%. Další fází výroby bioetanolu je proces destilace, při které dochází k oddělení destilátu (etanolu) a destilačního zbytku. Následující rafinace je zaměřena na odstranění vedlejších produktů fermentace, které mohou nepříznivě působit na součásti palivového systému automobilů. Výsledkem rafinace je tzv. rafinovaný bioetanol, který obsahuje maximálně 95,5 % hmotnosti bioetanolu a zbytek je tvořen vodou. To je dáno tím, že bioetanol s vodou vytváří azeotropní směs (směs o konstantním bodu varu), kterou nelze již destilací oddělit. Protože obsah vody je základním kvalitativním znakem palivového bioetanolu, je nutné použít dalších metod k jeho odvodnění. V současné době se k odvodnění nejčastěji používají molekulární síta (zeolity). Postup výroby bioetanolu z cukrové řepy nebo třtiny je schematicky znázorněn na obr. 3. [5]



Obr. 3: Blokové schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry [5]

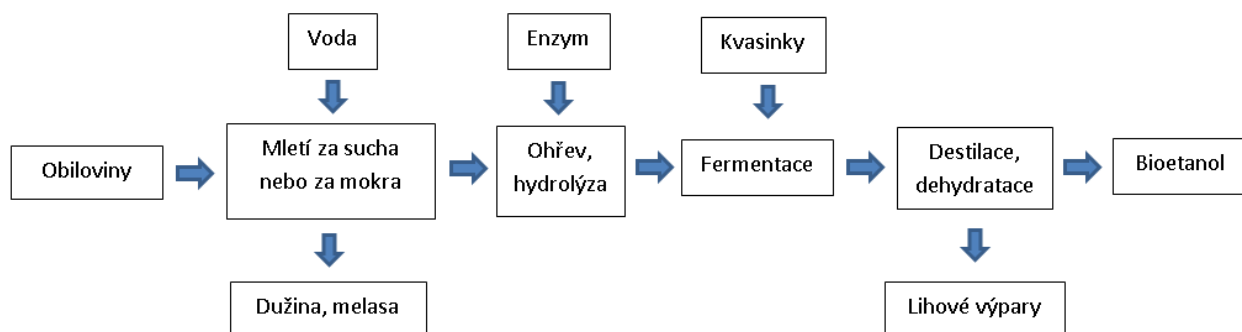
1.4.2.2 Výroba bioetanolu z biomasy obsahující škrob

Při výrobě bioetanolu z obilovin je prvním krokem mechanická předúprava. Ta spočívá v mletí nebo drcení zrna. Je možné ji provádět za sucha či za mokra. Důvodem tohoto počínání je zpřístupnění suroviny pro působení komplexu enzymů. Odpadním produktem jsou vláknité slupky zrn a stébla. Dalším krokem výroby paliva je příprava zápar. V této fázi výroby dochází k bobtnání a zmazovatění zrn škrobu. Škrob je postupně převáděn

působením enzymů nebo kyselou hydrolyzou na zkvasitelný sacharid (glukózu) podle rovnice (3). [5]



Následuje kvašení ve fermentoru, které probíhá za obdobných podmínek jako v případě výroby bioetanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry. Také konečné úpravy surového bioetanolu (destilace, dehydratace) jsou shodné. Postup výroby bioetanolu z biomasy obsahující škrob je schematicky znázorněn na obr. 4. [5]



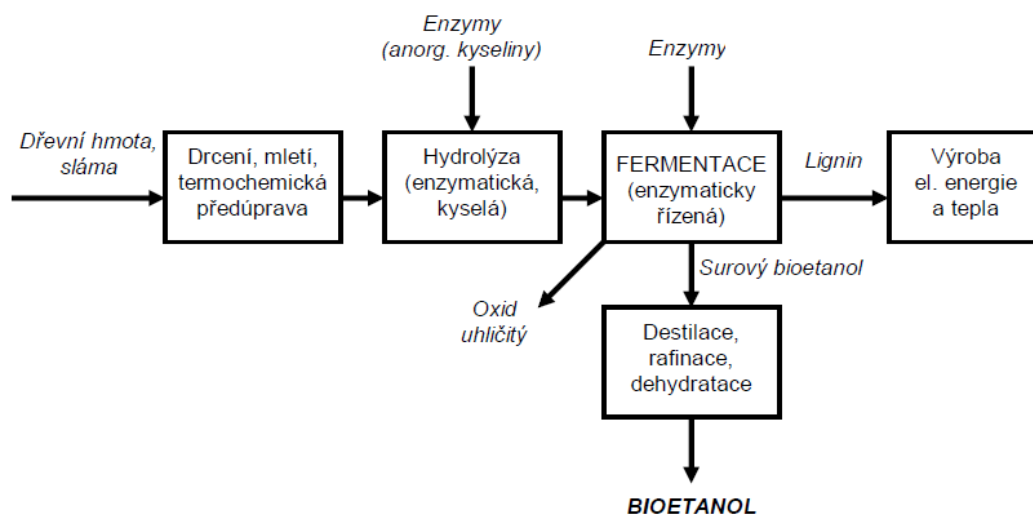
Obr. 4: Blokové schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující škrob [5]

1.4.2.3 Výroba bioetanolu z lignocelulózové biomasy

Technologie výroby bioetanolu z lignocelulózové biomasy je poměrně komplikovaná. V současné době je předmětem intenzivní výzkumné činnosti a její komerční využití se předpokládá v horizontu 10 až 15 let. [5]

Důvodem zájmu o tuto surovinu je skutečnost, že je k dispozici ve vydatném množství, je levnější než potravinářské plodiny a nechá se získat z různých druhů odpadů. Zpracování lignocelulosové biomasy na bioetanol vykazuje rovněž lepší energetickou bilanci. [35]

Proces konverze lignocelulózové biomasy na bioetanol je nejčastěji zahajován hydrolyzou lignocelulózové biomasy na jednoduché fermentovatelné cukry, která je mnohem obtížnější než hydrolyza škrobu u biomasy pro biopaliva I. generace. Nejperspektivnější je kyselá hydrolyza a hydrolyza pomocí enzymů. Postup výroby bioetanolu z lignocelulózové biomasy je schematicky znázorněn na obr. 5. [5] [36]



Obr. 5: Blokové schéma výroby bioetanolu z lignocelulózové biomasy [10]

1.4.3 Biobutanol

Biobutanol představuje perspektivní alternativu k dnes nejvíce využívanému bioetanolu. Jedná se o alkohol, který z chemického hlediska obsahuje čtyři uhlíky (C_4H_9OH). Z pohledu užití v zážehových motorech je butanol výhřevnější než bioetanol, avšak méně výhřevný než benzin, se kterým se může mísit v širokém poměru. To je dáno jeho molekulovým složením, které má dvojnásobný počet atomů uhlíku a vodíku než etanol. Ve srovnání s bioetanolem je také méně těkavý a mnohem méně korozivně napadá kovové součásti palivového systému. [37] [38]

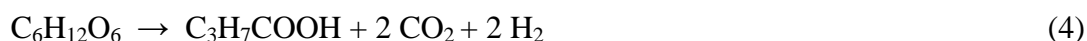
Biobutanol lze vyrobit prakticky ze stejných surovin jako bioetanol, ale z hlediska palivářských vlastností představuje biobutanol vhodnější alternativu než bioetanol. Butanol je možné přidávat do automobilového benzínu podle současné platné normy ČSN EN 228 až v množství 10 obj.% bez jakýchkoliv úprav spalovacího motoru, což mimo jiné umožňuje zvýšení podílu biopaliv na trhu. [39]

Biobutanol lze vyrobit fermentací přímo z kvasitelných jednoduchých cukrů, tzv. ABE (Aceton-Butanol-Etanol) procesem, za působení mikroorganismu *Clostridium acetobutylicum*. Při klasickém ABE procesu je podíl butanolu v konečném produktu velmi nízký, většinou do 15 obj.%, výjimečně kolem 25 obj.%. Směs navíc obsahuje aceton

(28 %) a etanol (14 %). Dosažení vyšší koncentrace je limitováno biologickým omezením, protože butanol i při nízké koncentraci cca 1,5 % inhibuje růst a funkci mikroorganismů, čímž zastavuje celý fermentační proces. [40]

Zásadní změny v technologii výroby biobutanolu bylo dosaženo až objevem nového vhodnějšího druhu mikroorganismů, které ve fermentovaném roztoku působí nejen při vyšší koncentraci butanolu, ale zejména umožňují maximalizovat výtěžky butanolu. Jedná se o zcela nové kvasinky *Clostridium tyrobutyricum* a nově vyšlechtěné odrůdy kvasinek *Clostridium acetobutylicum*, které v návaznosti na sebe zajišťují optimální produkci butanolu $4,64 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ a výtěžnost z glukózy 42 – 45 %.

První kmen přeměňuje glukózu na vodík a kyselinu máselnou a druhý poskytuje z kyseliny butanol. Rovnice procesu jsou následující [38] [40]:



Ve srovnání s původní technologií fermentace ABE tato nová technologie eliminuje tvorbu nežádoucích produktů jako je kyselina mléčná a propionová, aceton, isopropanol, etanol a dalších. Schéma výrobního postupu je poměrně jednoduché. Proces je kontinuální, probíhá ve dvou fermentorech, na které navazuje zařízení pro separaci butanolu od ostatního materiálu a velké části vody (odstředivky, polopropustné membrány). Na konečnou destilaci tak přichází butanol jen s desetiprocentním obsahem vody, což je energeticky výhodné. Kromě toho v první fázi vzniká i energeticky velmi cenný vodík, který by mohl zlepšit celkovou energetickou výtěžnost procesu až o 18 %. [40]

Stručný technologický postup je následující:

- suché či mokré mletí obilnin, sterilizace,
- přeměna biomasy na zkvasitelné cukry,
- fermentační reakce za pomoci kvasinek *Clostridium tyrobutyricum* v 1. fermentoru na máselnou kyselinu,
- přečerpání reakční směsi do druhého fermentoru,

- fermentace kyseliny máselné kvasinkami *Clostridium tyrobutyricum* na butanol,
- oddělení horkých plynů, adsorpce, desorbce, kondenzace, odstředování, destilace směsi butanolu s 10 % vody. [37]

Butanol má díky svým vlastnostem potenciál stát se v nejbližší době dobrou alternativou vůči klasickým fosilním palivům. Přispívá k tomu jeho vysoký energetický obsah podobný benzínu, žádné speciální podmínky z pohledu skladovatelnosti nebo způsobu dopravy (je možno použít cisteren i nádrží stejně jako pro benzin) a také nízké emise při jeho spalování. Srovnání vlastností butanolu s etanolem a benzinem Natural 95 je uveden v tab. 1 (kap. 1.4).

1.5 Nutné úpravy pro provoz vozidel na biopaliva

Nutné úpravy motoru budou popsány na dnes běžně dostupném palivu E85. Pod touto zkratkou se skrývá palivo s vysokoprocentním obsahem bioetanolu, které obsahuje 85 obj.% bioetanolu a 15 obj.% automobilového benzínu Natural 95 (N95). Jak již bylo řečeno v úvodní kapitole, E85 lze v dnešní době bezproblémově spalovat v tzv. FFV vozidlech (Flexi Fuel Vehicle). Množství FFV vozidel provozovaných v zemích EU je různý a odvíjí se od podpory biopaliv v jednotlivých státech. V Evropě je lídrem ve využívání obnovitelných zdrojů a biopaliv Švédské království, kde je také nejvíce provozovaných FFV vozidel. Tato vozidla jsou značně rozšířena i v Brazílii. [32] [41]

Horší je situace u vozidel, která jsou primárně určená pro klasická paliva. Zde je nutné provést několik úprav. V České republice již existuje řada firem, které provádějí úpravy vozidel na palivo E85, avšak velkým problémem byla do nedávna homologace této přestavby. U nehomologované přestavby pak palivo není možné legálním způsobem využívat ve vozidle.

Z porovnání vlastností paliva E85 a N95 (viz tab. 1) je jasné, proč musí k dodatečné úpravě dojít. Na první pohled je zřejmé, že bioetanol má oproti klasickému benzínu výhřevnost zhruba o 35 % nižší. Dalším faktem je také to, že má jiný směšovací poměr se vzduchem. Zatímco klasický benzin má ideální směšovací poměr 14,8 kg vzduchu na 1 kg paliva,

u bioetanolu je tato hodnota 9 kg vzduchu na 1 kg paliva. Úprava tedy spočívá v tom, že do motoru je dodáváno palivo E85 ve větším množství, čímž se rozdílné vlastnosti obou paliv výrazně sníží. Způsobů, jak tohoto dosáhnout, je více.

Jednou z variant je možnost zvýšení systémového tlaku paliva, kdy se za stejnou dobu do spalovacího prostoru dostane více paliva. Úprava by tedy spočívala v seřizovatelném redukčním ventilu, který by reflektoval aktuální obsah biopaliva.

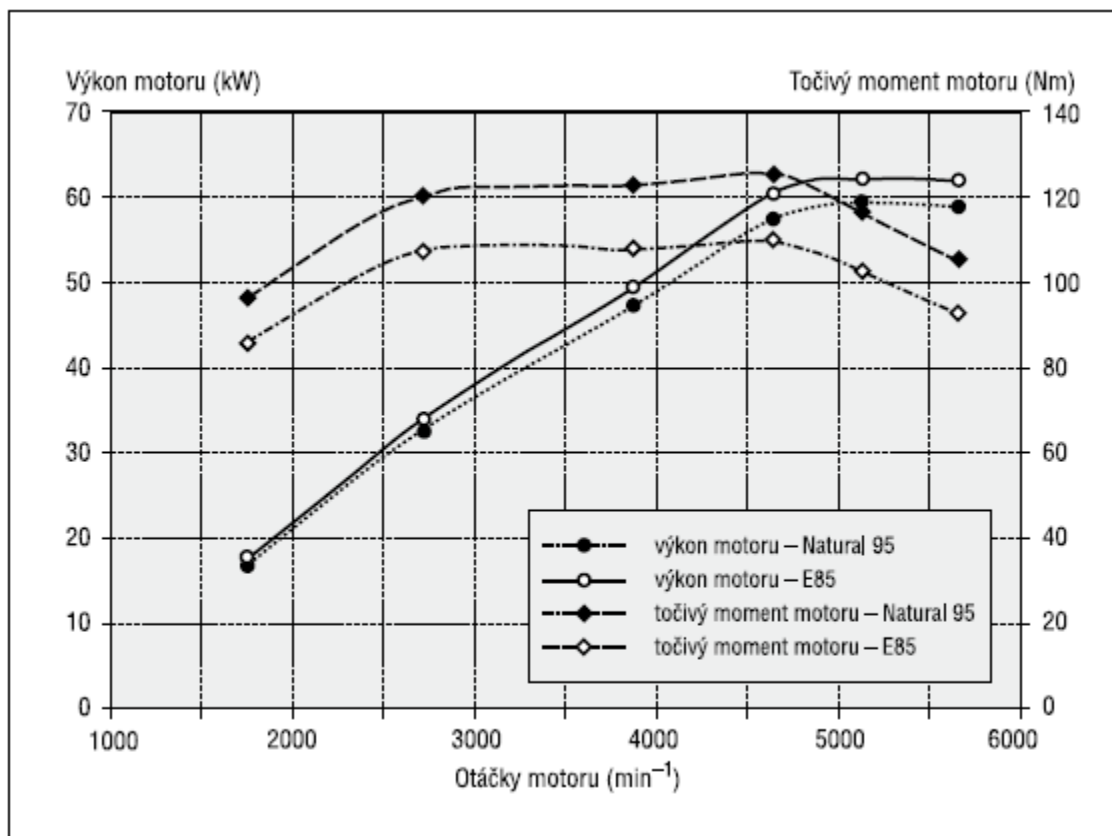
Další variantou, která je dnes převážně používána, je úprava doby otevření vstřikovacích ventilů. Úpravu doby otevření vstřikovacích ventilů lze dosáhnout úpravou dat (pokud je to možné) v řídicí jednotce (ŘJ) motoru nebo dodatečnou úpravou signálů z ŘJ motoru pro vstřikovací ventily. Jedná se vlastně o další ŘJ, která je (podobně jako u sekvenčního vstřikování u LPG) zapojena mezi vstřikovače a originální ŘJ. U komerčních řešení je úkolem této jednotky prodloužení (většinou konstantní) doby vstřiku a vytvoření podmínek pro start studeného motoru.

1.6 Výzkum probíhající v oblasti biopaliv

Výzkum v oblasti biopaliv je soustředěn do několika kategorií. Hlavní oblast výzkumu je zaměřena na efektivnější výrobu biopaliv z rychle rostoucích plodin, odpadů či speciálně vyšlechtěných plodin s vysokou výtěžností. Značná část výzkumu je také zaměřena na ekologické vlivy zavádění biopaliv v dopravě. Další oblastí je zkoumání vlivu biopaliv na výkonové parametry spalovacích motorů.

Intenzivním výzkumem v oblasti biopaliv se v České republice zabývá mnoho týmů na různých vysokých školách a univerzitách. Mimo Českou zemědělskou univerzitu v Praze se tímto výzkumem zabývá i Mendelova univerzita v Brně, kde se team ve složení Adam Polcar, Jiří Čupera a Pavel Sedlák zabývají palivem E85. Jejich experimentální měření bylo určeno k porovnání parametrů motoru při spalování konvenčního paliva (Natural 95) a biopaliva (E85). Analýzou výsledků měření výkonových parametrů motoru bylo zjištěno, že se nepotvrdil očekávaný pokles výkonu, nýbrž naopak – při jejich experimentu naměřili výkon motoru vyšší (viz obr 6). Příčinu je podle autorů možné hledat v adaptaci

elektronického řídicího systému motoru. Na tomto obrázku je zaměřen (patrně chyba v legendě) popis křivky točivého momentu N95 a E85. [42]



Obr. 6: Výsledky statické zkoušky měření výkonu motoru [23]

Dalším zájmem této skupiny byly emise zážehového motoru při spalování paliva E85. Předmětem jejich zkoumání bylo porovnání produkce škodlivých složek výfukových emisí, resp. oxidu uhelnatého CO, nespálených uhlovodíků C_xH_y a oxidů dusíku NO_x při spalování benzínu Natural 95 a vysokoprocenní směsi bioetanolu a benzínu – E85. Měření byla provedena na dvou vozidlech, která byla pro spalování E85 dodatečně přestavěna. Rozbor výsledků měření ukázal určitý ekologický potenciál bioetanolu. Autoři experimentu docházejí k závěru, že míra poklesu škodlivých emisí při spalování E85 je značně závislá na opotřebení a seřízení motoru, resp. vstříkované dávky, která je nutná z hlediska nízké výhřevnosti bioetanolu. Autoři obdobných publikací docházejí rovněž k závěrům, že spalováním paliva E85 lze do značné míry přispět ke snížení škodlivých emisí produkovaných dopravními prostředky provozovaných na benzin. [43]

Další českou univerzitou, kde probíhá intenzivní výzkum biopaliv, je Technická univerzita v Liberci. Zde zkoumali výfukové škodliviny konstrukčně neupraveného motoru na bioetanolové palivo E85. Vliv přechodu z benzínu na palivo E85 byl zkoumán u staršího osobního automobilu Škoda Felicia kombi vybaveným zážehovým motorem o zdvihovém objemu 1 289 cm³ a maximálním výkonu 50 kW s elektronicky řízeným jednobodovým vstřikováním paliva. Během měření bylo vozidlo provozováno na předem stanovené trase, která obsahovala městský provoz a provoz v hornatém terénu, typický pro oblast Liberce. Výsledky tohoto experimentu poukazují na velmi dobrou adaptaci elektronické řídicí jednotky, díky které byl motor provozován na přibližně stechiometrickou směs paliva se vzduchem (při provozu motoru na obě paliva). Při provozu na E85 byly oproti provozu na benzin zjištěny o 60 % nižší emise CO, přibližně třikrát vyšší emise NO_x, zatímco emise HC byly srovnatelné. Celková hmotnost emitovaných částic byla podle autorů experimentu mírně vyšší a celková délka částic mírně nižší. Řídicí systém motoru se adaptoval na alternativní palivo prodloužením délky vstřiku paliva. Součinitel přebytku vzduchu „lambda“, vypočtený z měřeného složení výfukových plynů, byl srovnatelný pro obě paliva. [44]

V zahraničí se tématu použití bioetanolu jako motorového paliva a jeho vlivu na vlastnosti motoru zabývá team ve složení Luigi De Simio, Michele Gambino a Sabato Iannaccone z Istituto Motori v Itálii. Jejich výzkum probíhal na čtyřválcovém zážehovém motoru o objemu 1596 cm³. Podstatou experimentu bylo měření tlaků a teplot při provozování testovaného motoru na paliva s různým poměrem bioetanolu a benzínu. Jejich výzkum potvrdil, že bioetanol má příznivý vliv na teplotu ve spalovacím prostoru, což se příznivě odráží v lepších emisích NO_x. [45]

Výzkumem zaměřeným na spotřebu paliva E85 a emise ve FFV se zabýval team ve složení Haibo Zhai a H. Christopher Frey (Department of Civil, Construction and Environmental Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC), Nagui M. Roupail (Institute for Transportation Research and Education, North Carolina State University, Raleigh, NC), Goncalo A. Goncalves a Tiago L. Farias (Department of Mechanical Engineering, Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal). Jejich výzkum se zaměřil na testování komerčně dostupného FFV vozidla Ford Focus provozovaného v Lisabonu, kdy za použití mobilního

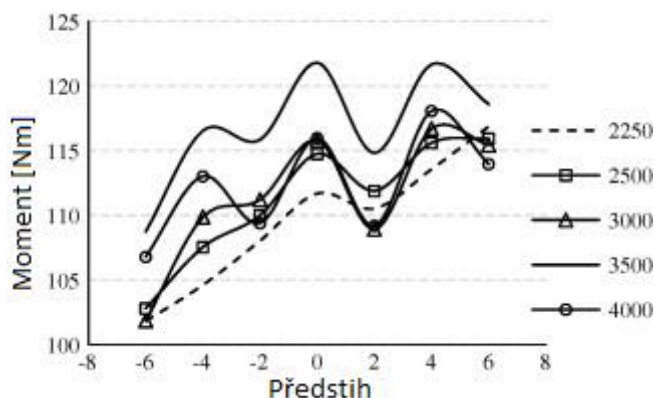
emisního analyzátoru vyhodnocovali emise při reálném provozu. Výsledky jejich měření potvrzují, že při provozu vozidla na palivo E85 se oproti benzínu snižují emise CO a NO_x, přičemž emise HC jsou vyšší. Studium emisí FFV vozidel se zabývali v rámci studie „Effect of E85 on Tailpipe Emissions from Light-Duty Vehicles“ Janet Yanowitz a Robert L. McCormick. Ti došli k závěru, že provoz FFV vozidel na palivo obsahující bioetanol má příznivý vliv na ekologické dopady způsobené provozem motorových vozidel. [46]

Pozitivní efekt aplikace palivových směsí s vysokým obsahem bioetanolu v přeplňovaných motorech potvrzuje výzkum, který realizoval Alberto Boretti z Missouri University of Science and Technology. Jeho výzkum se zaměřil na definování potřebných úprav motoru pro efektivní využití pozitivních vlastností bioetanolu. Podle autora výzkumu je ideálním motorem pro spalování biopaliv přeplňovaný motor s přímým vstřikováním, který má možnost upravit hodnotu předstihu v závislosti na obsahu biosložek v palivu. [47]

S cílem zjistit vliv změny předstihu a využít tak potenciál vyššího oktanového čísla paliva E85, se zabýval team složený se zástupců Uludag University a Bursa Technical University Turkey. Jejich experiment spočíval v testování provozu čtyřdobého zážehového motoru o objemu 1 581 cm³ a (64,1 kW při 5800 ot · min⁻¹, 130 Nm při 2900 ot · min⁻¹) na palivo E85 při změně nastavení předstihu v rozmezí -6° až +6°. Cílem bylo zjistit, jaký je efekt změny předstihu na výkonové a emisní parametry testovaného motoru. [48]

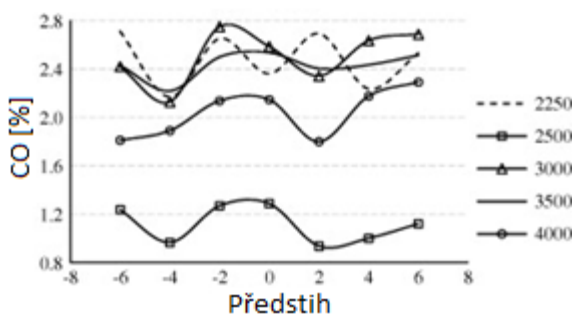
Závěry jejich experimentu lze shrnout do následujících bodů:

- 1) Nejlepších výsledků bylo dosaženo při změně předstihu o 4°, kdy došlo ke zvýšení točivého momentu a výkonu motoru. Více je patrné z grafu 1.

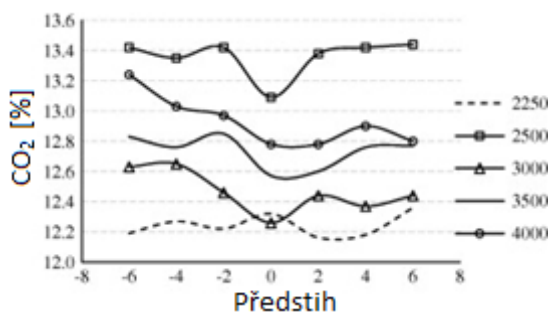


Graf 1: Závislost změny předstihu na momentu motoru [48]

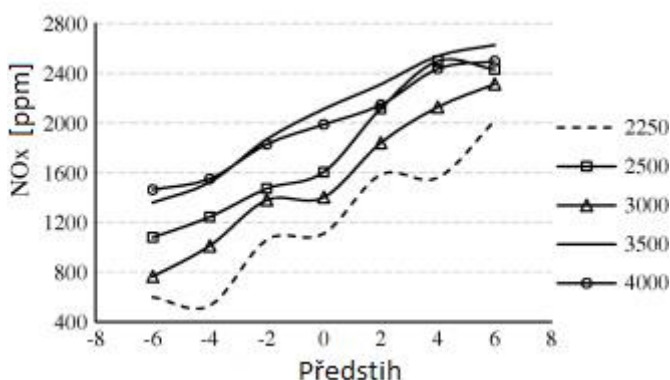
2) Změna předstihu neměla znatelný vliv na emise CO (graf 2) ani CO₂ (graf 3), pouze emise NO_x se snižovaly s menším předstihem, jak vyplývá z grafu 4.



Graf 2: Emise CO v závislosti na předstihu [48]

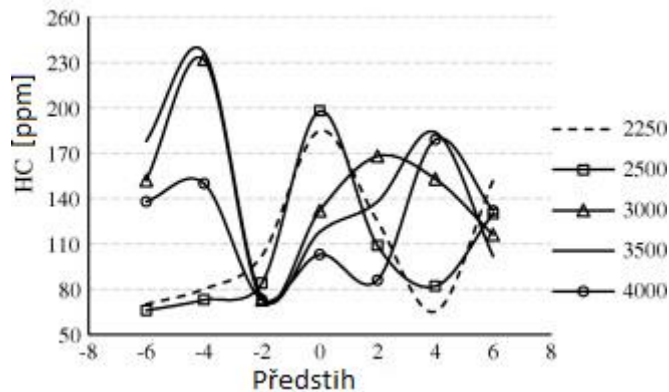


Graf 3: Emise CO₂ v závislosti na předstihu [48]



Graf 4: Emise NO_x v závislosti na předstihu [48]

- 3) Nastavení nižší hodnoty předstihu mělo za následek horší spalování, čímž se zvyšovaly emise HC a spotřeba paliva. Tyto závěry dokládá graf 5. [48]

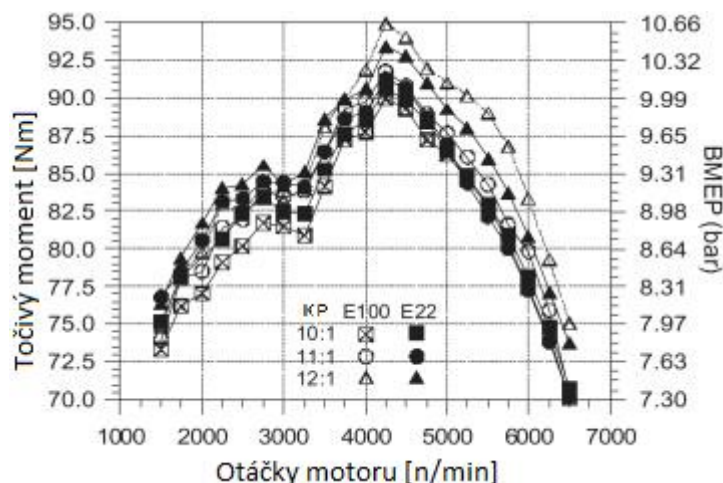


Graf 5: Emise HC v závislosti na předstihu [48]

Při provozu motoru na vysokoprocentní směsi bioetanolu je při změně kompresního poměru patrný vliv na výkon motoru, jak uvádí ve své studii Rodrigo C. Costa [49].

Daná studie se zabývala zkoumáním vlivu změny kompresního poměru na výkonové parametry motoru, běžícího na vysokoprocentní směsi bioetanolu (E22 a E100). Experiment byl prováděn na čtyřválcovém zážehovém spalovacím motoru o objemu 999 cm^3 s kompresním poměrem nastavitelným od 10:1 – 12:1. Měření bylo provedeno se třemi hodnotami kompresního poměru – 10:1, 11:1 a 12:1 s tolerancí ± 0.15 . Motor byl testován v laboratorních podmínkách, kdy zatížení motoru bylo prováděno za pomoci dynamometru.

Zvýšením kompresního poměru se dosáhlo vyššího tlaku ve válci motoru, což se projevilo ve vyšším výkonu a točivém momentu testovaného motoru, jak je patrné z grafu 6.

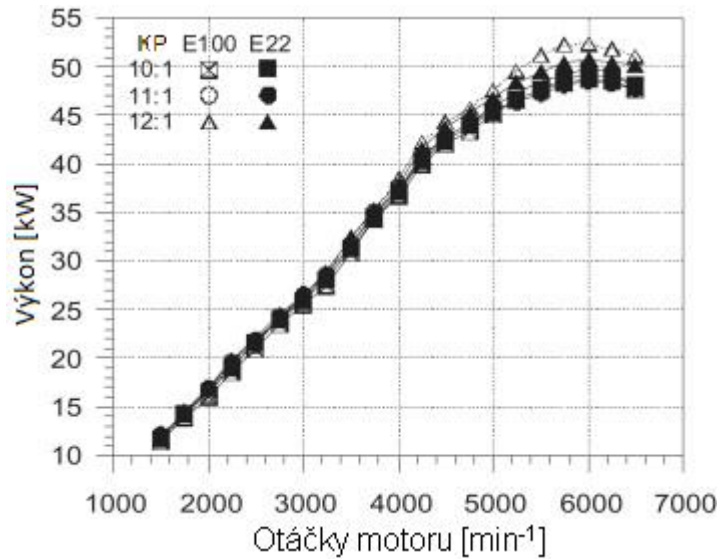


Graf 6: Závislost kompresního poměru na momentu motoru [49]

Z výsledků měření vyplývá, že při kompresním poměru 11:1 bylo dosahováno vyššího točivého momentu než při kompresním poměru 10:1, hlavně v rozmezí nižších až středních otáček motoru. Ve vyšších otáčkách motoru bylo dosahováno přibližně stejných hodnot točivého momentu a to u obou použitých paliv.

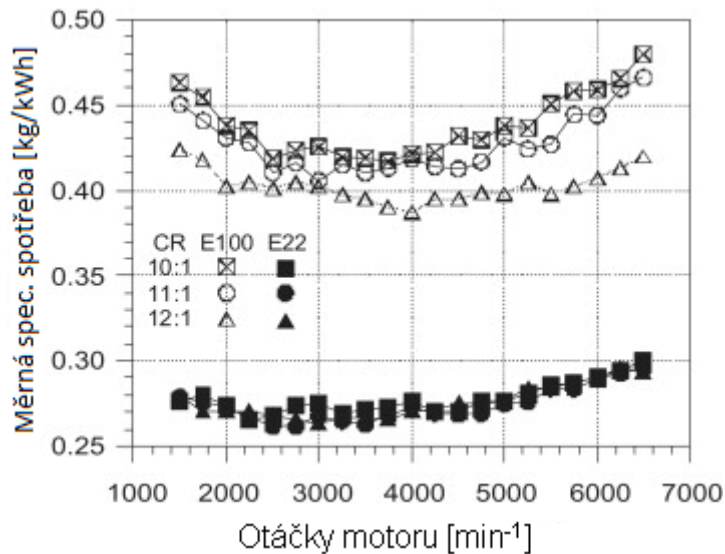
Nejvyšší hodnoty točivého momentu bylo dosaženo při kompresním poměru 12:1 za provozu motoru na palivo E100, avšak pouze ve vyšších otáčkách motoru. V nižších až středních otáčkách bylo dosahováno lepších výsledků při provozu motoru na palivo E22.

Z grafu 7 vyplývá, že nejvyššího výkonu bylo dosaženo při kompresním poměru 12:1 u obou paliv až ve vyšších otáčkách motoru. Při porovnání výsledků naměřeného maximálního výkonu je patrné, že při provozu motoru na palivo E100 bylo dosaženo o 3,1 % vyššího výkonu, než při provozu motoru na palivo E22.



Graf 7: Vliv kompresního poměru na výkon motoru [49]

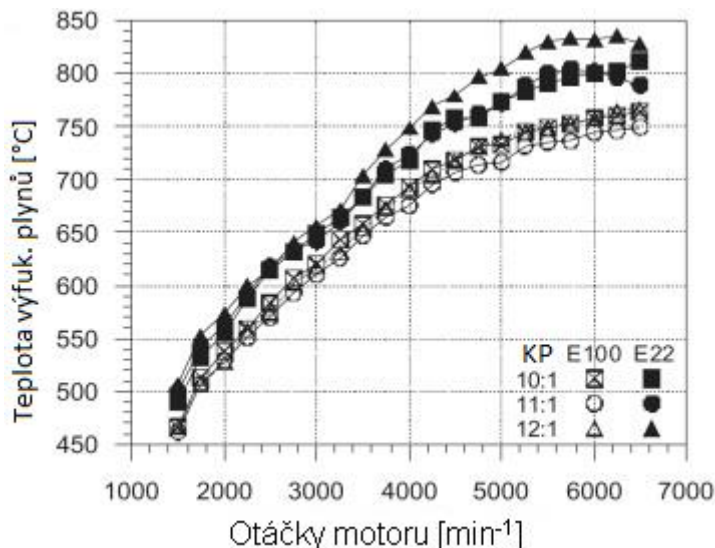
Srovnání měrné specifické spotřeby je uvedeno na grafu 8. Z výsledků měření vyplývá, že s rostoucím kompresním poměrem dochází ke snížení měrné spotřeby paliva. Naproti tomu s vyšším obsahem bioetanolu měrná spotřeba stoupá.



Graf 8: Vliv kompresního poměru na měrnou spotřebu [49]

Vliv kompresního poměru na teplotu výfukových plynů, měřenou před vstupem do katalyzátoru, zobrazuje graf 9. Se zvyšujícími se otáčkami podle očekávání stoupá teplota výfukových plynů. V případě použití paliva E22 při kompresním poměru 12:1 musela být snížena hodnota předstihu, aby se zabránilo detonačnímu spalování (klepání motoru).

Snížením hodnoty předstihu navíc dochází ke zkrácení času na spálení paliva, které pak dohořívá ve výfukovém potrubí, což zvyšuje teplotu výfukových spalin. [49]



Graf 9: Vliv kompresního poměru na teplotu výfukových plynů [49]

Z výše popsaných experimentů je patrná snaha o optimalizaci provozu motorů na palivo s vysokým obsahem etanolu. Mnoho studií se věnuje problematice startu studeného motoru [50, 51, 52, 53, 54, 55]. Z pohledu vlivu na provozní parametry motoru byl zkoumán vliv výše obsahu etanolu [58], vliv kompresního poměru [49], vliv změny časování [48], s cílem zjistit optimální nastavení motoru pro spalování paliv s vysokým obsahem etanolu.

Bylo provedeno mnoho experimentů, které se věnovaly stanovení optimální hodnoty doby otevření vstřikovacích ventilů, avšak nebyly provedeny žádné experimenty, které by se věnovaly proměnné době prodloužení otevření vstřikovacích ventilů. [56] [57]

2. Vědecké hypotézy a cíle práce

Cílem této disertační práce je optimalizace provozu zážehového spalovacího motoru při použití biopaliva z hlediska výkonových, emisních a ekonomických parametrů. Pro splnění tohoto cíle bude zkonstruována přídatná řídicí jednotka (PŘJ), která bude schopna zabezpečit provoz zážehového motoru na vysokoprocenní směsná biopaliva. Funkce PŘJ bude spočívat ve schopnosti prodloužit dobu otevření vstřikovacích ventilů. Prodloužení bude možné nastavit na konstantní hodnotu nebo dynamicky měnit podle vstupní proměnné.

Dílčí cíle disertační práce jsou:

- Návrh a konstrukce PŘJ – V rámci tohoto cíle bude navržena a zkonstruována PŘJ, která bude zpracovávat dostatečný počet vstupních a výstupních proměnných.
- Otestovat činnost PŘJ – Splněním tohoto cíle bude k dispozici plně funkční PŘJ, která bude schopna provozovat neupravený motor na palivo E85 tak, aby originální ŘJ motoru nepoznala změnu paliva. PŘJ bude schopna konstantně prodloužit dobu vstřiku.
- Optimalizace nastavení PŘJ - Cílem tohoto bodu bude optimalizace změny prodloužení doby vstřiku v závislosti na vstupní proměnné (dynamická úprava časování vstřikovacích ventilů). Hodnota prodloužení bude funkčně závislá na vstupu PŘJ.

Z těchto definovaných cílů vycházejí následující hypotézy:

Hypotéza 1):

Dynamickou úpravou časování vstřikovacích ventilů lze snížit spotřebu paliva.

Hypotéza 2):

Dynamická úprava časování vstřikovacích ventilů vede ke zlepšení emisí testovaného motoru.

Hypotéza 3):

Dynamickou úpravou časování vstřikovacích ventilů dojde k podstatnému snížení výkonu testovaného motoru.

3. Materiály a metody

Metodika disertační práce vychází z výše stanovených dílčích cílů a popisuje postup pro jejich dosažení.

3.1 Metodika návrhu a konstrukce PŘJ

Předmětem této fáze bude tvorba podkladů pro výrobu přídavné řídicí jednotky. Bude nutné navrhnout vhodnou konstrukci pro připojení vodičů a navrhnout vstupní a výstupní proměnné pro požadovanou funkci PŘJ. Dále bude nutné navrhnout vhodný způsob konfigurace PŘJ, který umožní průběžně sledovat i měnit její nastavení. Pro ovládání PŘJ bude využito programového prostředí MS Visual Studio, kde bude naprogramován ovládací SW. Pro komunikaci s PŘJ bude využito PC, kde za pomoci vytvořeného programu a USB portu bude umožněna konfigurace a ovládání PŘJ.

3.2 Metodika testování funkčnosti PŘJ

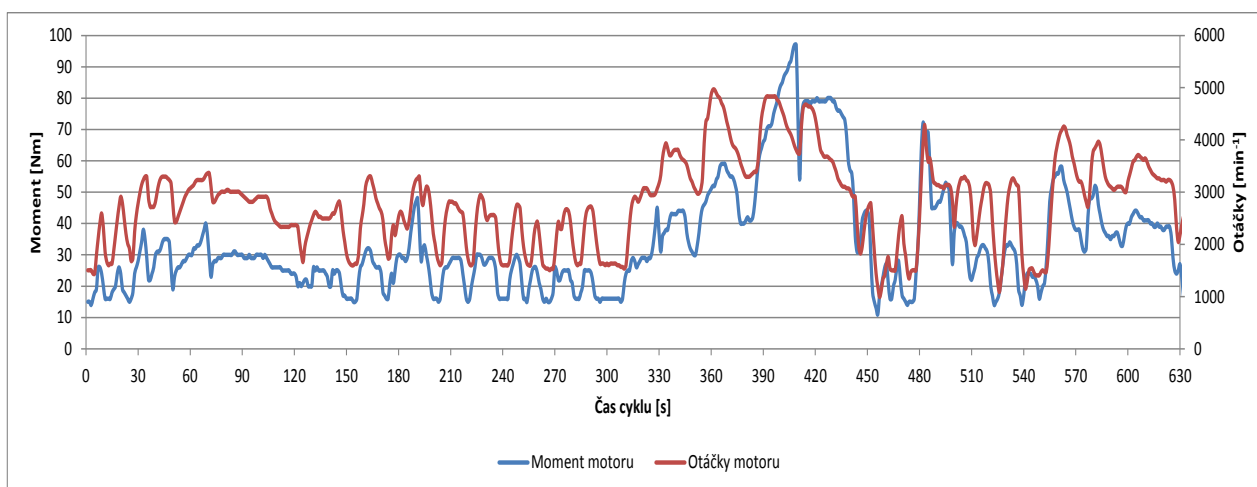
V této fázi bude k dispozici funkční prototyp PŘJ. Na tomto prototypu budou provedeny první testy s cílem ověřit funkčnost PŘJ. Testování proběhne pomocí měření výkonových a emisních parametrů zážehového spalovacího motoru s monitoringem případných chyb originální ŘJ motoru.

Praktické testování bude probíhat na zkušebním motorovém stanovišti Katedry vozidel a pozemní dopravy. Testovaným motorem bude zážehový motor Škoda Fabia 1.2 HTP, jehož základní parametry jsou uvedeny v tab. 2, charakteristika motoru je zobrazena na obr 8. Na výfukovém systému testovaného motoru budou vyrobena odběrná místa pro vyhodnocování emisí a zjišťování teploty výfukových spalin. Teplota spalin bude zjišťována pomocí teplotního čidla umístěného na výfukovém potrubí viz obr 7. Testovaný motor bude zatěžován podle speciálně navrženého dynamického jízdního cyklu.



Obr. 7: Umístění teplotního čidla

Jízdní cyklus (graf 10) vychází z reálného záznamu jízdy vozidla (taktéž Škoda Fabia 1.2 HTP). Podle zaznamenaných hodnot nastavení plynového pedálu, zatížení a otáček motoru, budou shodné parametry simulovány na brzdovém stanovišti. Cílem bude provozovat motor v režimu co možná nejbližší reálnému provozu. Jízdní cyklus bude složen ze dvou částí, kdy první část (cca 300 s) představuje mírné až střední zatížení (simulace zatížení formou klidné jízdy), oproti druhé části (cca 330 s), která představuje dynamické zatížení (rychlá akcelerace, provoz motoru při plném zatížení, decelerace).

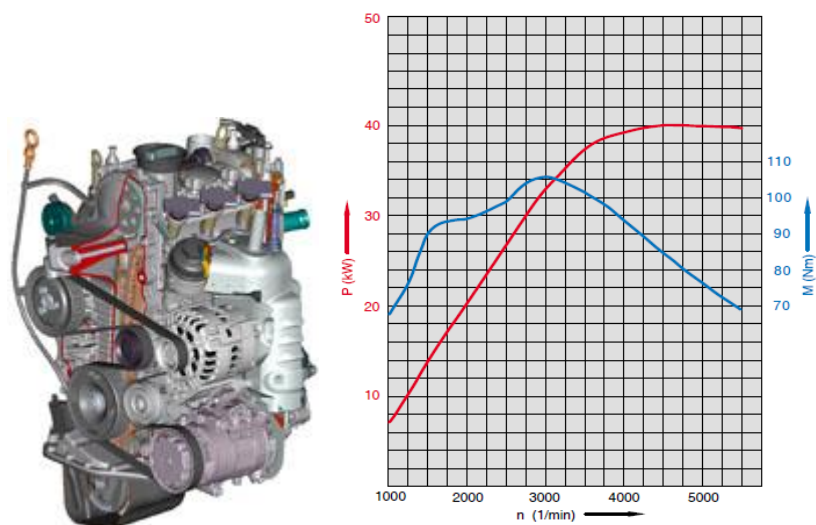


Graf 10: Průběh točivého momentu a otáček v navrženém jízdním cyklu

Tab. 2: Parametry měřeného motoru

kód motoru	AWY (BRD)
konstrukce	3-válcový řadový motor,
	2 ventily na válec
Obsah	1 198 cm ³
Vrtání	76,5 mm
Zdvih	86,9 mm
kompresní poměr	10,3 : 1
max. výkon	40 kW při 4750 min ⁻¹
max. kroučící moment	106 Nm při 3000 min ⁻¹
řídící jednotka motoru	Simos 3PD (vícebodové vstřikování)
předepsané palivo	bezolovnatý benzin s okt. č. 95
emisní norma	EU4

Charakteristika motoru - AWY



Obr. 8: Výkonová a momentová charakteristika testovaného motoru

Zkoušený motor bude během měření zatěžován vířivým dynamometrem (obr. 9), kde bude snímán točivý moment a otáčky motoru. Technické údaje vířivého dynamometru jsou uvedeny v tab. 3.

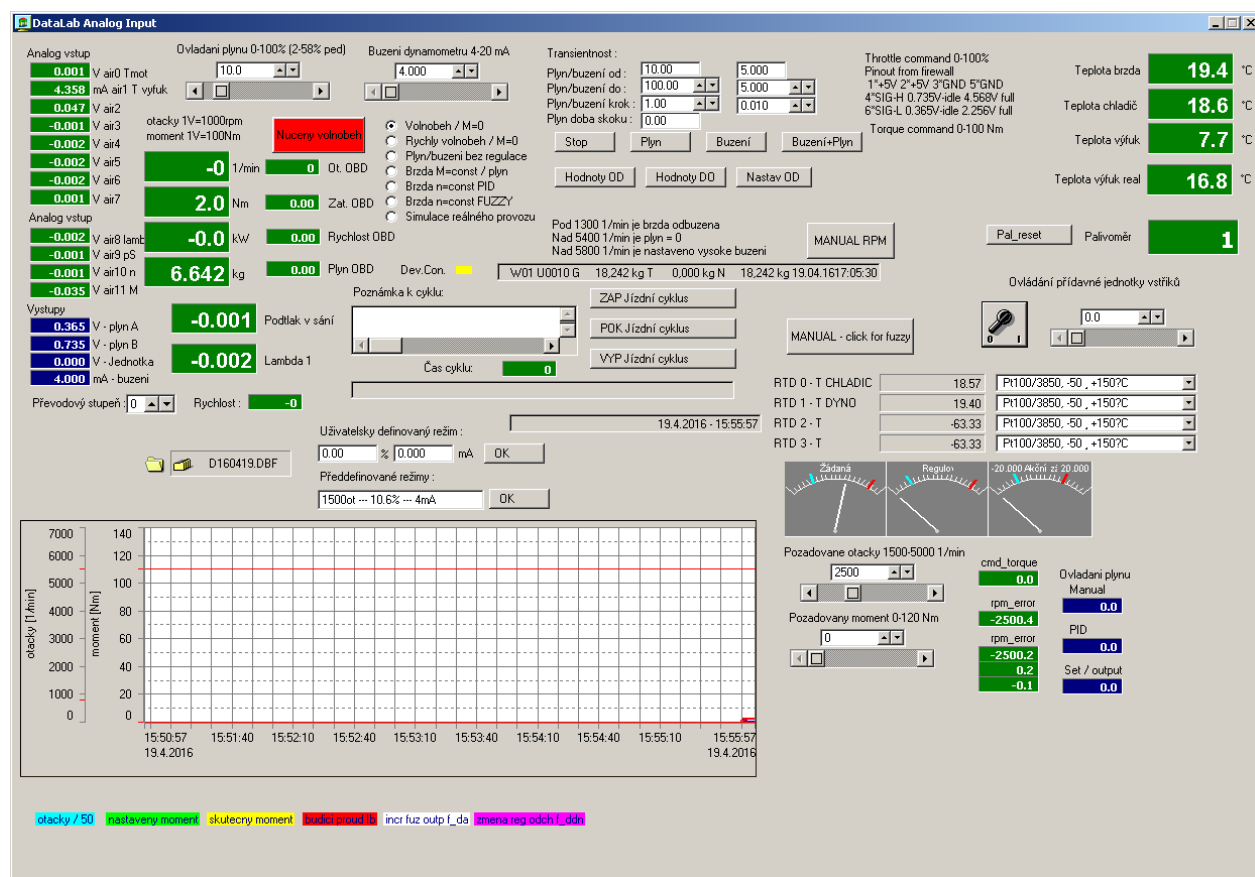


Obr. 9: Brzdové stanoviště (motor + vířivý dynamometr)

Tab. 3: Parametry vířivého dynamometru

Dynamometr	
Typ	V125
Provedení	IP23/ICW37
Otáčky (min^{-1})	300 - 2500 – 8000
Točivý moment (Nm)	134 - 478 - 149,5
Výkon (kW)	4,2 - 125 – 125
Průtok vody (l.s^{-1})	0,9
Budící napětí (V)	91
Budící proud (A)	1,7
Tlak vody (kPa)	90
Hmotnost (kg)	550
ČSN	350 000
Rok výroby	1986
Tenzometr	
Jmenovité zatížení (kN)	2
Sloučená chyba (% j.z.)	0,5
Reprodukovatelnost (%)	0,05

Ovládání vířivého dynamometru je realizováno pomocí elektronického systému Datalab od společnosti Moravské přístroje a.s., který je řízen programem, vytvořeným v programovém prostředí ControlWeb, jehož úkolem je jak ovládání brzdového stanoviště, tak sběr a ukládání dat. Ukázka ovládacího panelu pro ovládání brzdového stanoviště je zobrazena na obr. 10.

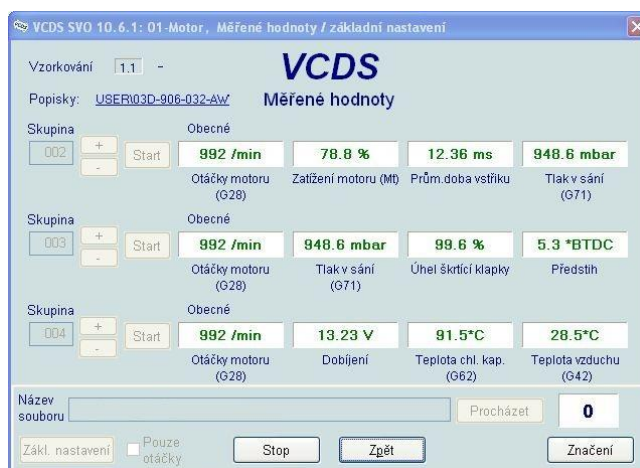


Obr. 10: Ovládací prostředí brzdového stanoviště

Hlavní činností aplikace je nastavování brzdného momentu dynamometru a ovládání polohy škrtkové klapky motoru. Dalším ovládacím prvkem je řízení PŘJ, systém na ovládání jízdního cyklu a monitoring stavu brzdového stanoviště.

Z důvodu kontroly funkce PŘJ bude nutné při experimentech sledovat jak provozní hodnoty motormanagementu, tak i výsledné emise vzniklé při spalování testovaných palivových směsí. Pro komunikaci s originální ŘJ motoru bude použit diagnostický systém

VAG-COM (obr. 11), pomocí kterého budou snímány a průběžně ukládány významné provozní parametry motoru (otáčky motoru, zatížení, průměrná doba vstřiku a další).



Obr. 11: Diagnostický systém VAG-COM

Dalším zařízením pro kontrolu funkce PŘJ bude digitální osciloskop, pomocí kterého bude možné sledovat vstupní a výstupní signály nebo bude sloužit jako paralelní diagnostika. Pro experiment bude k dispozici osciloskop Autoskop II (obr. 12).



Obr. 12: Osciloskop Autoskop II

K měření emisí bude k dispozici speciální mobilní pětisložkový analyzátor VMK (obr. 13), zkonstruovaný speciálně pro měření emisí v reálném provozu. Technické parametry tohoto analyzátoru jsou uvedeny v tabulce 4. Pomocí analyzátoru VMK je možno průběžně vyhodnocovat a ukládat hodnoty emisí CO, CO₂, HC, O₂ a NO_x s frekvencí 1 Hz.



Obr. 13: Emisní analyzátor VMK

Tab. 4: Technické parametry analyzátoru VMK

Měřená složka	Princip měření	Rozsah	Rozlišení	Nejistota měření
CO	NDIR	0 - 10 % vol	0,001 % vol	0 - 0,67%: 0,02% absolutně, 0,67 - 10%: 3% z naměřené hodnoty
CO ₂	NDIR	0 - 16 % vol	0,01 % vol	0 - 10%: 0,3% absolutně, 10 - 16%: 3% z n.h.
HC	NDIR	0 - 20 000 ppm	1 ppm	10 ppm or 5% z n.h.
NO _x	Elektorchem. článek	0 - 5 000 ppm	1 ppm	0 - 1000 ppm: 25 ppm, 1000 - 4000 ppm: 4% z n.h.
O ₂	Elektorchem. článek	0 - 22 % vol	0,1 % vol	0 - 3%: 0,1% 3 - 21%: 3% z n.h.

Pro kontrolu bude použit komerčně dostupný analyzátor Atal AT-505 (obr. 14), jehož technické parametry jsou uvedeny v tab. 5.



Obr. 14: Emisní analyzátor ATAL AT-505

Tab. 5: Technická specifikace analyzátoru Atal AT-505

Měřený parametr	Rozsah	Rozlišení	Nejistota měření
CO	0 ... 10 obj. %	0.01 obj. %	0.03 obj. % nebo 5 obj. % z naměřené hodnoty
CO ₂	0 ... 20 obj. %	0.1 obj. %	0 ... 10%: 0.3% absolutně, 10 ... 16%: 3% z n.h.
HC	0 ... 2 000 obj. ppm	0.01 obj. %	0.1 obj. % nebo 5 % z n.h.
	2001 ... 9000 obj. ppm	10 obj. ppm	5 % z n.h.
NO _x	0 ... 5 000 ppm	1 obj. ppm	1 obj. ppm
O ₂	0 ... 4 obj. %	0.01 obj. %	0.01 obj. %
	4 ... 21 obj. %	0.1 obj. %	5 % z n.h.

Pro měření emisí pevných částic bude použit částicový analyzátor EEPS TSI3090 (EEPS - Engine Exhaust Particle Sizer). Technické parametry zařízení zobrazuje tab. 6.

Tab. 6: Technické parametry částicového analyzátoru EEPS TSI3090

Rozsah velikostních spekter částic	5.6-560 nm
Rozlišení	16 kanálů
Počet elektrometrických kanálů	22
Frekvence snímání	10 velikostních spekter · s ⁻¹
Průtok vzorku	10 dm ³ · min ⁻¹
Pracovní podmínky	
Teplota vzorku	10 - 52 °C
Provozní teplota	0 - 40 °C
Skladovací teplota	-20 - 50 °C
Atmosférický tlak	70 - 103 kPa
Relativní vlhkost	0 - 90 %.

Spotřeba paliva bude vyhodnocována pomocí laboratorní váhy, na které bude umístěna palivová nádrž i s příslušenstvím. Vyhodnocení spotřeby pak bude zjišťováno jako hmotnostní úbytek paliva v nádrži. Váha je dále vybavena zobrazovacím panelem (obr. 15) a sériovým rozhraním pro připojení k záznamovému zařízení.

**Obr. 15:** Zobrazovací panel plošinové váhy Soehnle

Technické parametry vážicího zařízení jsou uvedeny v následující tabulce 7, měřící sestava je zobrazena na obr. 16.

Tab. 7: Technické parametry vážicího zařízení

Krytí proti prachu a vodě	IP 65
Rozsah vážení (kg)	0 - 60
Nastavení jednoho dílku (g)	2
Rozměry platformy (mm)	520x400x110



Obr. 16: Umístění nádrže na vážicím zařízení

3.3 Metodika optimalizace nastavení PŘJ

Podstatou optimalizace nastavení řídicí jednotky bude testování dynamické změny prodloužení doby vstřiku a jejího vlivu na výkonové, emisní a ekonomické parametry testovaného spalovacího motoru. Testy budou prováděny měřením výkonových a emisních parametrů zážehového spalovacího motoru při zatěžování pomocí speciálně navrženého dynamického jízdního cyklu, obdobně, jako je popsáno v kapitole 3.2. Rozdíl bude v nastavení PŘJ, kde bude využito funkce automatické změny délky prodloužení doby otevření vstřikovacích ventilů. Vliv úpravy nastavení PŘJ bude primárně hodnoceno z hodnoty množství paliva, které bude spotřebováno během testovacího jízdního cyklu.

3.4 Metodika zpracování dat

Velmi důležitou kapitolou bude sběr a vyhodnocení dat, získaných ze všech měřících zařízení. Pro vyhodnocení naměřených dat bude nutné všechna data synchronizovat, což bude značně komplikované, neboť každé měřící zařízení používá specifický formát záznamu dat (lišit se může i frekvence záznamu dat). U emisních analyzátorů k tomuto navíc vstupuje dopravní zpoždění – tj. čas, za který se nasbírané spaliny dostanou do měřícího přístroje a ten je teprve vyhodnotí a výsledek zaznamená.

Synchronizace dat je založena na stejné časové základně, což předpokládá správně nastavený čas na všech měřících zařízeních. Dále bude popsán způsob synchronizace dat z jednotlivých měřících zařízení.

3.4.1 Systém Datalab

Datalab je universální průmyslová vstupně-výstupní programovatelná jednotka s výměnnými měřícími moduly (viz Příloha 2) s vlastním programovacím rozhraním ControlWeb. Pomocí vytvořeného programu dochází k řízení brzdového stanoviště, ale i k záznamu všech snímaných a nastavovaných hodnot.

Záznam dat je prováděn po jedné vteřině do DBF souboru. Struktura souboru je uvedena v tab. 8.

Tab. 8: Ukázka záznamu hodnot z brzdového stanoviště

TIME	OTACKY	MOMENT	VYKON	NAST_PLYN	DYNO_MA	T_BRZDA	T_CHLAZ	VAHA_PALIV	LAMBDA	P_SANI	T_MOT	T_VYFUK
18:32:52	1510	16	2.5	10.0	4.000	13.69	14.70	17.134	0.864	3.903	0.435	670
18:32:53	1516	16	2.5	10.0	3.906	13.68	14.70	17.134	0.114	3.819	0.435	669
18:32:54	1511	16	2.5	10.0	3.906	13.65	14.69	17.134	0.809	3.851	0.435	666
18:32:55	1509	16	2.5	10.0	3.907	13.63	14.70	17.132	0.085	3.863	0.435	665
18:32:56	1517	16	2.5	10.0	3.884	13.61	14.70	17.132	0.877	3.833	0.435	663
18:32:57	1518	16	2.5	10.0	3.862	13.61	14.68	17.132	0.793	3.868	0.435	662
18:32:58	1529	16	2.6	10.6	4.209	13.59	14.69	17.132	0.288	3.889	0.435	659
18:32:59	1536	20	3.2	20.9	4.576	13.59	14.69	17.132	0.782	2.556	0.435	658
18:33:00	1842	24	4.6	23.1	4.477	13.56	14.68	17.132	0.059	2.692	0.435	656
18:33:01	1842	24	4.6	25.4	4.381	13.56	14.68	17.130	0.813	2.883	0.435	656

Hodnoty z přístroje Datalab jsou brány jako referenční, k těmto zaznamenaným veličinám budou dále přidány záznamy z ostatních přístrojů.

3.4.2 OBD

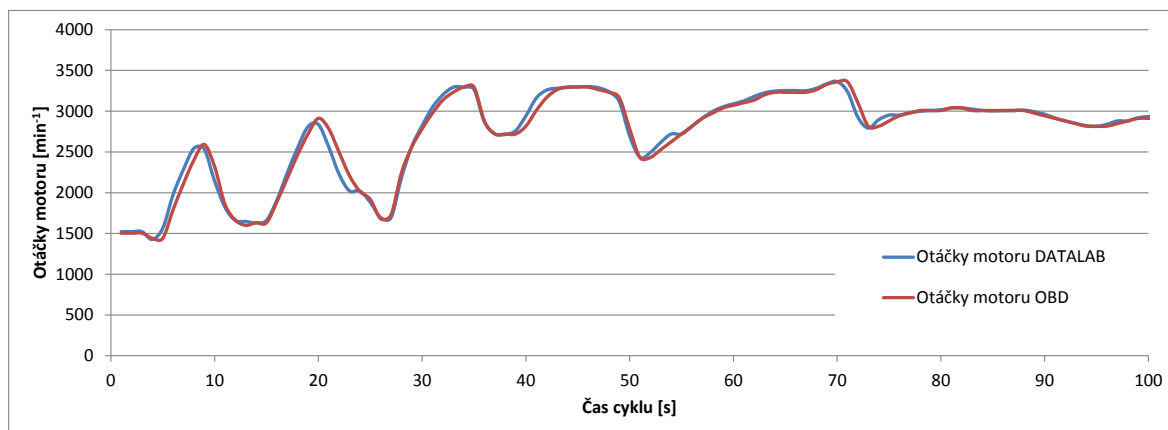
Pro zobrazení a záznam dat z ŘJ motoru bude využito diagnostického systému VAG-COM, který umožňuje sledovat provozní veličiny a dále je zaznamenávat do CSV souboru. Zde se jako určitá komplikace ukazuje nemožnost nastavit frekvenci záznamu dat. Ta je závislá pouze na počtu zaznamenávaných proměnných. Frekvence záznamu s vybranými proměnnými je přibližně 1,1 Hz. Struktura zaznamenaných dat je zobrazena v tab. 9.

Tab. 9: Ukázka záznamu hodnot z OBD

Pátek,01,Duben,2016,16:12:09:24031-VCID:1F48632D9DE003C669-515A,VCDS verze: SVO 15.7.3,Verze dat: 20111219
03D 906 033 C,,1.2I/2V SIMOS3 00HS1509,
,Skupina A:,'001,,,Skupina B:,'002,,,Skupina C:,'037
„Otáčky motoru,Teplota chl. kap.,Lambdasonda,Podmínky pro,,Otáčky motoru,Zatížení motoru (Mt),Prům.doba vstřiku,Tlak v sání,Motorlast,Spannung,Lambdakorektur-,Ergebnis
,ČAS,G28,Bank 1,základní nastavení,ČAS,(G28),,, (G71),ČAS,,Bank 1 Sonde 2,wert (Bank 1),
Značení,ZNAČKA, /min,*C,%,ZNAČKA, /min,%, ms, mbar,ZNAČKA,%, V, ms,
,0.86,1504,85.5,1.6,11101011,0.27,1504,24.7,3.09,336.6,0.56,23.5,0.12,40.0,B1-S1 OK
,1.76,1504,85.5,0.4,11101011,1.15,1504,23.5,3.09,316.2,1.46,23.5,0.08,40.0,B1-S1 OK
,2.68,1504,85.5,1.6,11101011,2.08,1504,22.7,2.06,316.2,2.38,27.1,0.08,40.0,B1-S1 OK
,3.58,1504,85.5,1.2,11101011,2.99,1504,24.7,3.09,316.2,3.29,23.5,0.08,40.0,B1-S1 OK
,4.49,1504,85.5,3.5,11101011,3.87,1504,24.7,3.09,316.2,4.17,27.1,0.04,40.0,B1-S1 OK
,5.39,1504,85.5,1.2,11101011,4.79,1504,25.9,3.09,336.6,5.08,24.7,0.08,40.0,B1-S1 OK
,6.25,1504,85.5,6.3,11101011,5.69,1504,23.5,3.09,316.2,5.97,24.7,0.08,40.0,B1-S1 OK
,7.16,1504,85.5,2.0,11101011,6.56,1504,24.7,3.09,357.0,6.85,21.6,0.12,40.0,B1-S1 OK
,8.06,1504,85.5,3.5,11101011,7.46,1504,24.7,3.09,316.2,7.76,25.9,0.08,40.0,B1-S1 OK

Tato získaná data je třeba dále upravit, aby je bylo možné vyhodnotit. Prvním krokem je rozdělit jednotlivé proměnné do vlastních sloupců (v MS Excel funkce „data → Text do sloupců“), kdy jako oddělovač slouží znak „ , “ . Při zpracování dat v MS Excel je třeba, aby oddělovač desetinných míst byl nastaven na znak „ . “ .

Následujícím krokem je přidání těchto hodnot jako další sloupce do společného souboru s hodnotami ze systému Datalab. Z důvodu kontroly správné synchronizace je nutné vytvořit graf, do kterého se vynesou data ze záznamu otáček motoru jak z Datalabu, tak z OBD. Pokud byla synchronizace v pořádku, obě křivky by měly splývat (viz graf 11). Pokud by byly křivky posunuty, je třeba provést korekci v podobě posunu časové osy dat z OBD tak, aby výsledné křivky splývaly.



Graf 11: Ukázka synchronizace dat z OBD

Dalším krokem bude úprava vzorkovací frekvence dat z OBD tak, aby hodnoty byly po jedné vteřině. K tomu bude využít skript v PHP (Hypertext Preprocessor), který data přepočte do požadované vzorkovací frekvence 1 Hz [59].

Tento krok je nezbytný pro výpočet hodnoty hmotnostního průtoku vzduchu (MAF - Mass air flow), která dále slouží k přepočtu hodnot emisí z objemových na hmotnostní koncentrace sledovaných složek emisí.

Hodnota MAF se počítá podle následujícího vzorce [59]:

$$MAF = \frac{28,9 \cdot \left(p_s - \frac{p_{atm}}{\varepsilon} \right) \cdot V_Z \cdot \eta_d \cdot n}{600 \cdot i \cdot R \cdot T_{VZD}} \quad (6)$$

kde:

MAF [$\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$]...množství nasátého vzduchu motorem,

28,9 [$\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$]...molární hmotnost vzduchu,

p_s [mbar]...tlak v sání,

p_{atm} [mbar]...atmosférický tlak,

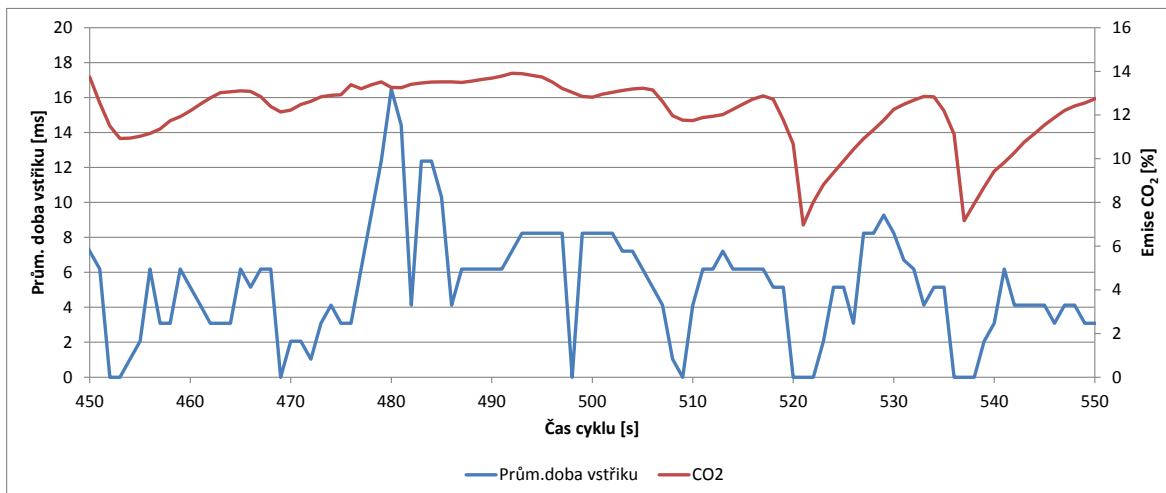
ε [1]...kompresní poměr motoru,

V_Z [dm^3]...zdvihový objem motoru,

η_d [1]...dopravní účinnost motoru,

n [$1 \cdot \text{min}^{-1}$]...otáčky motoru,

600...konstanta zahrnující přepočet na základní jednotky SI,



Graf 12: Ukázka průběhu emisí CO₂ a průměrné doby vstřiku

Zde je patrná závislost mezi nulovou hodnotou průměrné doby vstřiku (v motoru neprobíhá spalování) a poklesem emisí CO₂.

3.4.4 Analyzátor pevných částic EEPS

Analyzátor pevných částic umožňuje zaznamenávat data s frekvencí 1 Hz, nicméně stejně jakou v případě VMK je nutné stanovit dopravní zpoždění.

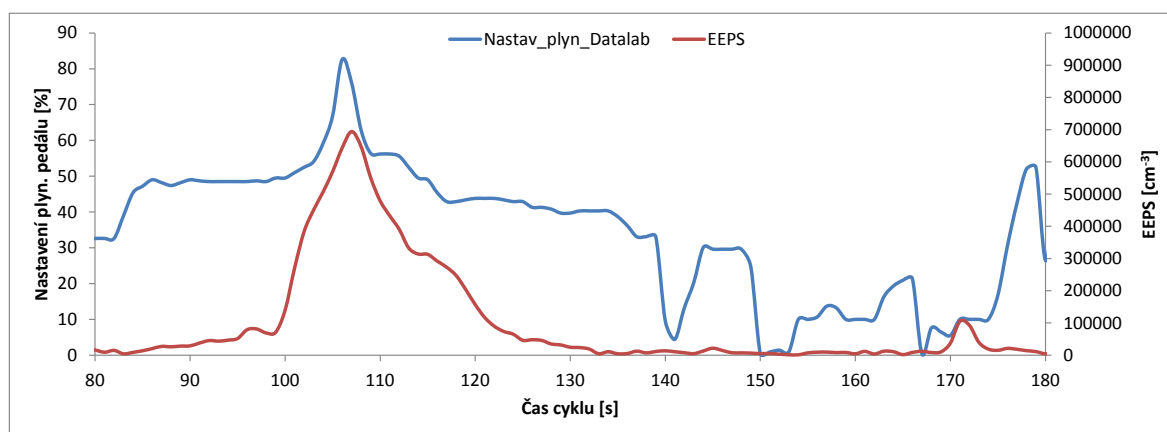
Přístroj zaznamenává hodnoty částic v několika pásmech rozdělených podle velikosti (ukázka viz tab 11). Výslednými hodnotami jsou počty částic v daném intervalu velikosti obsažené ve vzorku ředěných spalin. Pokud budou tyto hodnoty sečteny, lze dojít k celkové produkci pevných částic v jednotkách [cm⁻³].

Tab. 11: Ukázka záznamu hodnot z částicového analyzátoru EEPS

Date/Time Start:	07 April 2016 16:15:36												
Title:	Brzda - HTP												
Comments:	1.2 HTP (redicka 1,5) E85 cyklus zahřívání p=10%												
Instrument Label:	TSI Model 3090, Serial Number 71524022, Firmware Version MCU:3.13,DSP:3.02												
Instrument Matrix:	SOOT												
Instrument Status:	Normal Status.												
Instrument Errors:	No Errors Detected												
Dilution Factor:	1.000												
Concentration [# /cm ³]													
Channel Size [nm]:	6.04	6.98	8.06	9.31	10.8	12.4	14.3	16.5	19.1	22.1	25.5	29.4	34
Time													
16:15:37	18.8457	170.286	201.439	112.303	120.894	227.212	384.228	591.943	545.019	243.458	84.6634	68.6349	39.7197
16:15:38	0	459.845	474.906	26.8183	0	0	0	0	0	0	13.2895	29.4612	21.2696
16:15:39	49.6916	651.93	927.027	874.981	651.547	256.725	61.7107	66.5031	59.4039	40.4133	17.8518	0	0
16:15:40	0	25.1493	104.583	211.152	260.311	252.062	352.65	562.076	520.41	227.652	65.5275	34.0358	14.6659
16:15:41	145.951	123.435	1332.27	3772.46	3810.58	1446.63	142.727	0	0	0	36.9685	5.07385	0
16:15:42	0	0	140.187	700.693	784.854	392.671	1.17437	0	0	0	61.6294	1.97515	0

Důležité je také správné nastavení přístroje, kdy je zásadní správně stanovit řídící poměr vzduchu a odebíraných spalin. Tato hodnota je stěžejní pro optimální funkci přístroje, kdy jeho nejlepší rozlišovací schopnost se pohybuje v rozsahu koncentrace 10^5 až 10^6 částic · cm⁻³.

Synchronizace dat z EEPS s hodnotami z Datalabu je možné provést na základě vynesení průběhu „nastavení plynového pedálu“ a sumárních hodnot pevných částic (viz graf 13).



Graf 13: Ukázka synchronizace dat částicového analyzátoru EEPS

4. Výsledky a diskuze

Praktická část disertační práce je věnována otestování přídavné řídicí jednotky a ověření její funkce při provozu zážehového spalovacího motoru na palivo E85. Níže jsou popsány dosažené výsledky, členěné v kapitolách podle stanovených dílčích cílů.

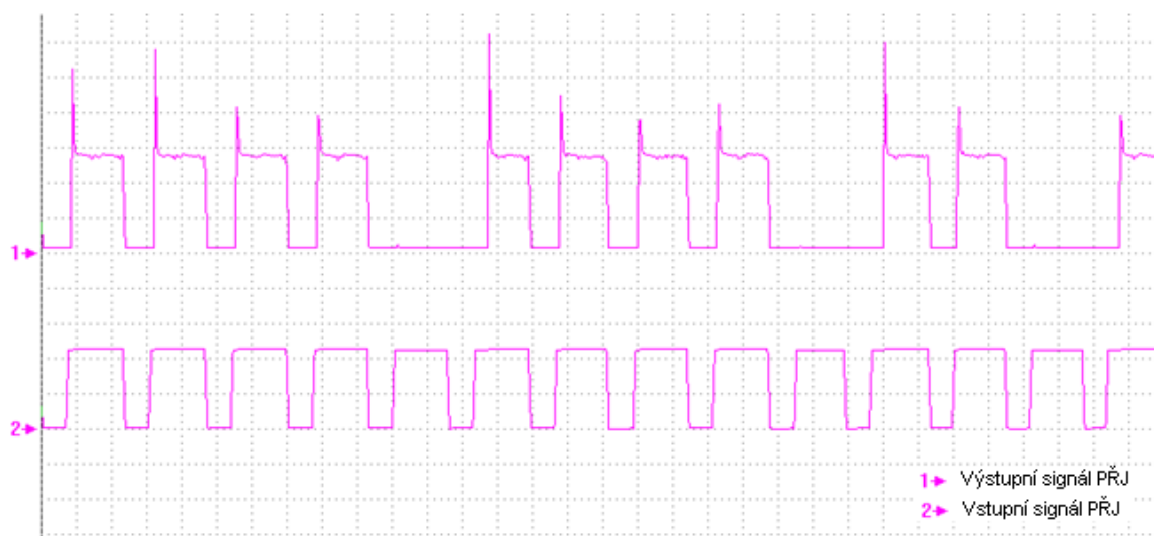
4.1 Návrh a výroba PŘJ

Podle metodiky uvedené v kapitole 3.1 byla navržena PŘJ, která měla tři vstupy pro úpravu doby vstřiku jednotlivých vstřikovačů a dva vstupy pro ovládání prodloužení doby vstřiku. Výstupem PŘJ pak byly tři upravené signály pro ovládání jednotlivých vstřiků.

4.1.1 První verze PŘJ

První verze PŘJ (obr. 18) byla složena z centrálního procesoru, který měl na starosti řízení jednotlivých vstřikovacích ventilů. Druhou částí byl komunikační modul, který sloužil pro ovládání a nastavování PŘJ. Jednotka byla napájena externím zdrojem el. energie.

První funkční testy však ukázaly jisté nedostatky tohoto řešení. Úspěchem určitě bylo, že testovaný motor pracoval na palivo E85, avšak pouze při nižším zatížení (v nižších otáčkách). Při vyšším zatížení byly zaznamenány náhodné výpadky zpravidla při zavírání vstřikovacích ventilů, čímž docházelo k přesycení motoru, doprovázeným výrazně nepravidelným chodem v okamžiku výpadku.



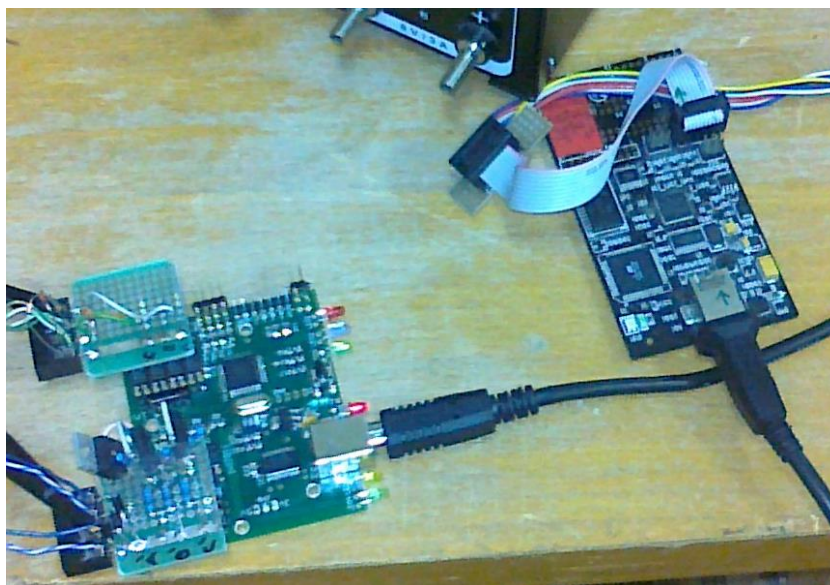
Obr. 17: Záznam z osciloskopu – poruchový stav

Na obrázku 17 je zobrazen průběh napěťového signálu při otevírání / zavírání vstřikovacího ventilu. Křivka 2 zobrazuje průběh signálu z ŘJ motoru, křivka 1 zobrazuje průběh signálu po úpravě pomocí PŘJ.

Z výše popsaných důvodů bylo rozhodnuto, že původní řešení v podobě jednoho centrálního procesoru je nutné opustit.

4.1.2 Druhá verze PŘJ

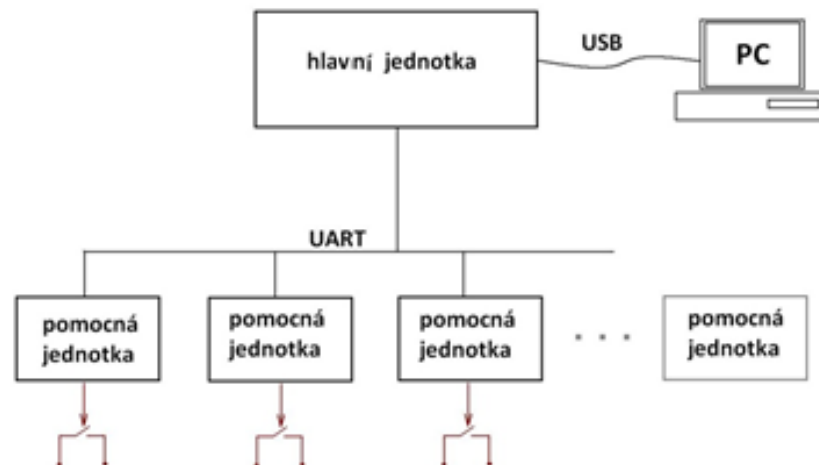
Druhá verze PŘJ měla odlišnou konstrukci, kdy změna od první verze spočívala v použití více procesorů s nižší taktovací frekvencí, tedy že každý vstřikovací ventil bude mít vlastní procesor pro řízení jeho činnosti.



Obr. 18: První verze PŘJ

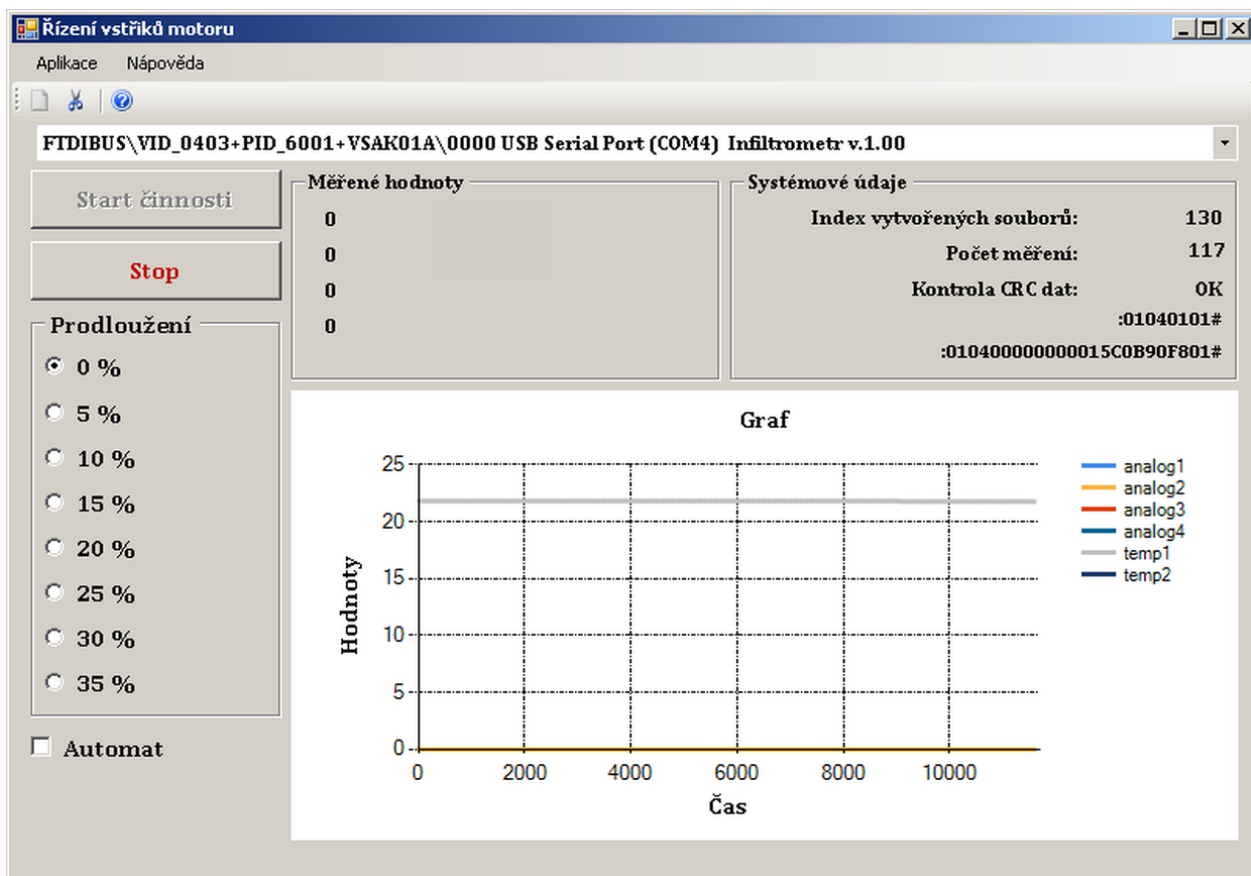
Výsledkem byla druhá verze PŘJ, která se skládá s hlavního procesoru a pomocných jednotek (obr. 19). Hlavní procesor komunikuje s PC a nastavuje pomocné jednotky. Pomocná jednotka obsahuje procesor a výkonový transistor pro řízení sepnutí vstřikovacího ventilu. Pomocné jednotky po přijetí příkazu začnou detekovat přichodící pulzy, kterými ŘJ motoru otvírá vstřikovací ventily. Pomocný procesor měří prodlevu mezi náběžnou a sestupnou hranou pulzu a tento čas je použit pro výpočet vlastního prodloužení pulzu, které je prováděno sepnutím tranzistoru MOSFET.

Pomocná jednotka se skládá s mikroprocesoru ATtiny2313 a podpůrných součástek, zejména přepětových ochran, spínání zajišťuje tranzistor IRL540N. Výše uvedený systém je koncipován jako vývojové zařízení s vysokou modularitou. Je tedy možné jeho další rozšíření o výkonové nebo měřicí moduly, které budou připojeny na stávající sběrnici.



Obr. 19: Funkční schéma PŘJ

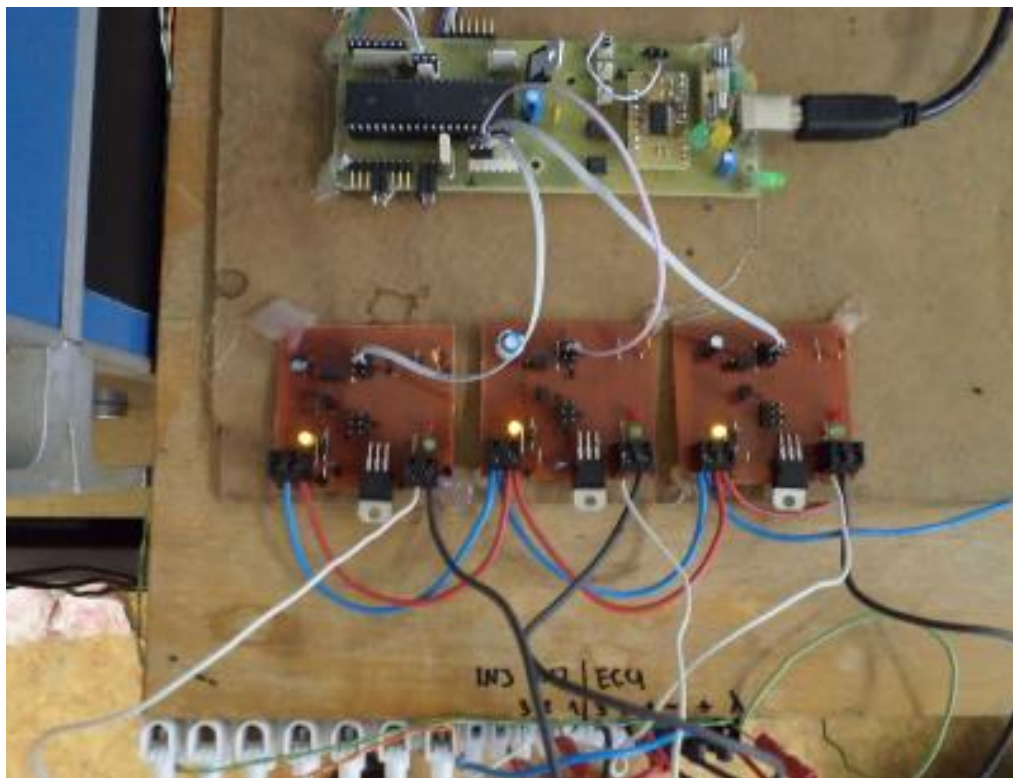
Pro tuto PŘJ byl dále vyvinut ovládací software (obr. 20) pro programovou změnu prodloužení doby vstříku a zároveň datalogging vstupů a výstupů PŘJ sloužící pro kontrolu funkčnosti jednotky.



Obr. 20: Ovládací program PŘJ

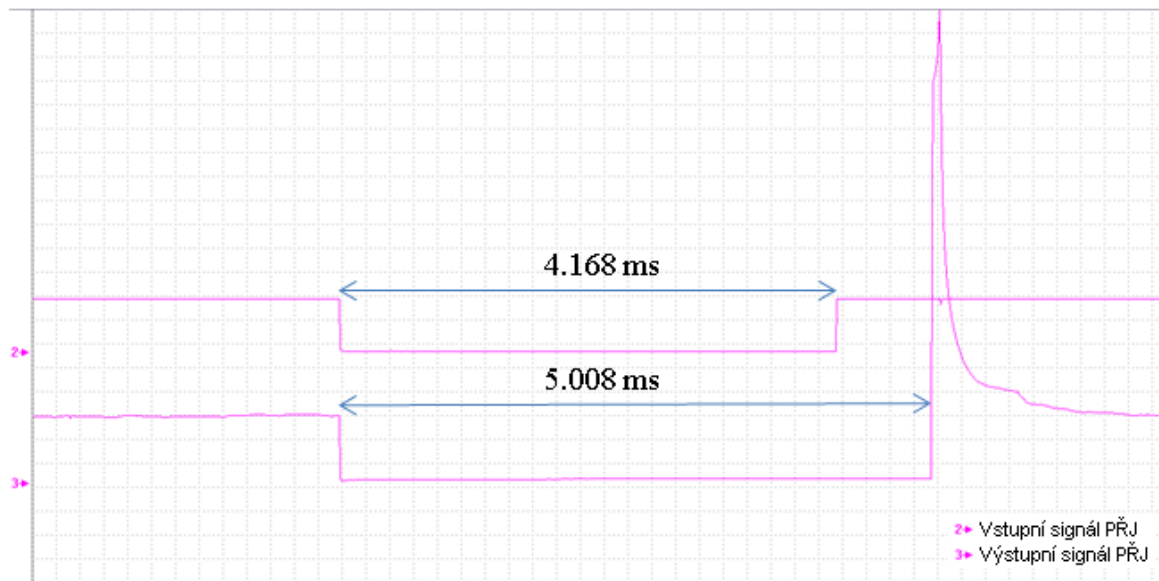
Applikace umožňuje nastavení konstantní doby prodloužení doby stříků volbou požadované hodnoty (v rozmezí 0 až 35 %) nebo režim „Automat“, kdy je hodnota doby prodloužení závislá na vstupní proměnné.

Druhá verze PŘJ (obr. 21) pak byla úspěšně využita pro měření v rámci grantu s názvem „Vývoj přídavné řídicí jednotky zážehového motoru pro optimalizaci provozu na bioetanol“. Schéma PŘJ je uvedeno v Příloze 1.



Obr. 21: Druhá verze přidavné řídicí jednotky

Pro kontrolu funkčnosti PŘJ bylo provedeno měření pomocí osciloskopu, které prokázalo, že hodnota prodloužení nastavená pomocí PŘJ odpovídá naměřeným hodnotám získaných z oscilogramu. Oscilogram s nastavením prodloužení doby vstříku o 20 % je zobrazen na obr. 22, kde křivka 2 zobrazuje neupravený signál z ŘJ motoru (délka impulsu 4,168 ms) a křivka 3 zobrazuje prodloužený signál PŘJ (délka prodlouženého impulsu 5,008 ms).



Obr. 22: Oscilogram PŘJ při prodloužení 20 %

4.1.3 Dílčí závěr

Výsledkem této fáze experimentu byla funkční PŘJ, která umožňovala nastavit konstantní hodnotu doby prodloužení vstřiku. Zkonstruovaná první verze PŘJ sice dokázala upravit signály pro řízení motoru, aby byl schopen fungovat na palivo E85, avšak pouze v omezeném rozsahu zatížení a provozních otáček motoru. Z tohoto důvodu byla přepracována koncepce PŘJ a byla zkonstruována druhá verze PŘJ, která za pomoci separátního procesoru pro řízení každého vstřikovače dokázala upravit signály pro řízení motoru tak, že motor byl schopen fungovat na palivo E85 v celém rozsahu otáček i zatížení motoru.

4.2 Testování funkčnosti PŘJ

Praktické testování probíhalo podle metodiky uvedené v kapitole 3.2. Cílem bylo otestovat funkci PŘJ při zatížení motoru podobného reálné jízdě vozidla a analyzovat vliv změny prodloužení doby otevření vstřikovacích ventilů na provozní parametry motoru při provozu na palivo E85. Zkoušený motor byl během měření zatěžován vířivým dynamometrem, kde byl snímán točivý moment a otáčky motoru. Dále byly zaznamenávány okamžité hodnoty z ŘJ motoru, výfukové emise a spotřeba paliva.

Experiment byl navržen tak, že pomocí PŘJ bylo měněno procentuální prodloužení doby vstřiku (hodnota prodloužení byla konstantní po celou dobu cyklu) od 0 do 35 % s cílem zjistit důsledky této změny na provozní parametry motoru za celý jízdní cyklus. Každý režim prodloužení byl opakován 5x. Konkrétní postup procentuální změny doby prodloužení vstřikování byl následující: 10, 0, 5, 15, 20, 30, 35 a naposledy 25 %. Tento postup byl zvolen z důvodu sledování adaptace originální ŘJ na testované palivo. Výsledky prokázaly, že změnou prodloužení doby vstřiku dojde k postupné adaptaci originální ŘJ motoru a tedy lze výsledek měření zobecnit, že o kolik je prodloužena doba vstřiku na PŘJ, o tolik se postupně zkrátí původní (originální) doba vstřiku na ŘJ motoru. Vše je řízeno v závislosti na signálu z lambda sondy, na základě které originální ŘJ motoru nastavuje základní dobu vstřiku.

Tato adaptace je však pozvolná a probíhá převážně v režimech funkční lambda regulace, tedy v režimech nízkého až středního zatížení. V režimech vyššího zatížení a transienčních režimů motoru je činnost lambda regulace vyřazena a řízení motoru upřednostňuje požadavek na výkon.

4.2.1 Příklad vyhodnocení jízdního cyklu při konstantním prodloužení 15 %

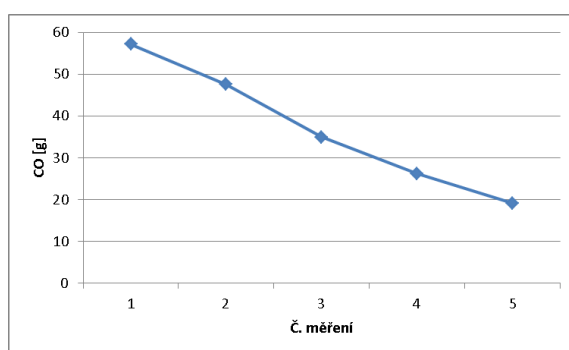
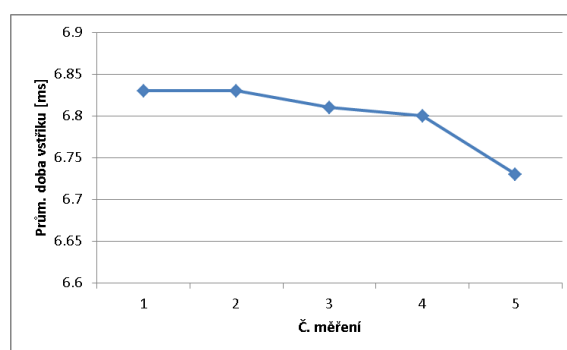
V této kapitole je popsáno zpracování výsledků pro konstantní prodloužení doby otevření vstřikovacích ventilů o 15 %. Tímto způsobem byly zpracovány všechny hodnoty prodloužení doby vstřiku.

Následující tabulka 12 ukazuje, jak docházelo k postupné dlouhodobé adaptaci originální ŘJ motoru při opakování jízdního cyklu při prodloužení doby otevření vstřikovačů o 15 %.

Tab. 12: Průměrné provozní parametry motoru v jízdním cyklu při prodloužení 15 %

PRODLOUŽENÍ 15%										
č. měření [-]	CO [g]	CO ₂ [g]	NO _x [g]	HC [g]	Lambda [1]	Točivý moment [Nm]	Výkon [kW]	Prům. doba vstřiku [ms]	Předstih [°]	Spotřeba paliva [l]
1	57.125	1210.3	2.34	0.4133	1.020	50.7	15.66	6.83	29.96	0.678
2	47.578	1216.0	0.30	0.4060	1.024	51.0	15.58	6.83	29.89	0.669
3	34.891	1223.8	0.56	0.3490	1.026	51.9	15.58	6.81	29.91	0.656
4	26.181	1237.9	0.72	0.3174	1.028	52.0	15.64	6.80	29.58	0.649
5	19.092	1239.1	0.56	0.2571	1.030	51.8	15.56	6.73	29.92	0.647

Z tab. 12 lze vidět, že při opakování testovacího cyklu dochází k postupné adaptaci ŘJ motoru. Adaptace se projevuje postupnou úpravou nastavení složení směsi, která reaguje na informace od lambda regulace. Jak je patrné z grafu 14, emise CO se s opakováním cyklu postupně snižovaly, což koresponduje s grafem 15, který zobrazuje postupné snižování doby vstřiku.

**Graf 14:** Emise CO při opakování jízdního cyklu**Graf 15:** Prům. doba vstřiku při opakování jízdního cyklu

4.2.2 Sumární zhodnocení statického prodloužení doby vstřiku

Cílem této kapitoly je zobrazit sumární výsledky měření při všech nastavení prodloužení doby otevření vstřikovacích ventilů.

Z tab. 13 je patrné, že dochází k zanedbatelnému vlivu na výkonové parametry motoru. Spotřeba paliva se také zásadně nemění, rozdíl mezi nulovým a maximálním prodloužení je v průměru cca 4 %. V oblasti emisí dochází se zvětšujícím se prodloužením doby vstřiku paliva k nárůstu emisí CO, naopak klesají emise CO₂ a NO_x. Jak je patrné z průběhu

směšovacího poměru lambda, směs je s prodlužováním doby vstřiku podle očekávání bohatší. Originální ŘJ motoru reaguje postupným snižováním doby vstřiku s rostoucím prodlužováním pomocí PŘJ. Předstih zážehu nevykazuje na prodlužování doby vstřiku zásadní vliv.

Tab. 13: Souhrnné výsledky provozních parametrů motoru v jízdním cyklu

Prodloužení [%]	CO [g]	CO ₂ [g]	NO _x [g]	HC [g]	Lambda [1]	Prům. točivý moment [Nm]	Prům. výkon [kW]	Prům. doba vstřiku [ms]	Předstih [°]	Spotřeba paliva [l]
0	1.60	1204	34.34	0.20	1.057	50	15	8.29	29.62	0.642
5	10.1	1250	19.39	0.24	1.034	50	16	7.90	30.38	0.653
10	10.1	1247	17.98	0.20	1.021	51	16	7.28	29.75	0.658
15	36.9	1225	1.30	0.35	1.026	51	16	6.80	29.85	0.660
20	25.2	1216	1.04	0.20	1.032	51	15	6.24	29.81	0.652
25	25.5	1210	1.76	0.15	1.032	50	15	5.83	29.49	0.651
30	46.7	1202	0.50	0.36	1.021	50	15	5.46	29.51	0.662
35	59.7	1184	0.17	0.46	1.017	50	15	5.28	29.62	0.668

Během celého měření byly sledovány a zaznamenávány aktuální hodnoty motormanagementu přes diagnostické rozhraní OBD. Pomocí tohoto systému bylo možné průběžně kontrolovat paměť závad originální řídicí ŘJ.

Na základě provedeného experimentu lze konstatovat, že s opakováním testovacího cyklu se ŘJ motoru postupně přizpůsobuje na nové palivo (změna délky vstřiku se pro ŘJ motoru jeví jako změna paliva). Při nastavení doby prodloužení o méně jak 5 %, popřípadě více jak 25 %, se ŘJ motoru již nedokáže uzpůsobit danému palivu. Při prodloužení o méně jak 5 % ŘJ motoru nedokáže zvýšit dávku paliva natolik, aby kompenzovala příliš chudou směs, kterou hlásí lambda sonda. V průběhu testu tak docházelo k záznamu chyby v ŘJ motoru v podobě příliš chudé směsi.

Podobně tomu bylo při nastavení prodloužení o více jak 25 %. Při tomto nastavení dostává ŘJ motoru informaci od lambda sondy o příliš bohaté směsi. ŘJ však nedokáže dostatečně snížit dávku paliva, což má za následek záznam chyby ŘJ motoru v podobě příliš bohaté směsi. Těmito krajním stavům odpovídají i naměřené hodnoty emisí CO.

4.2.3 Dílčí závěr

Pro adaptaci motoru na palivo E85 byla využita PŘJ, která pomocí programovatelné doby otevření vstřikovacích ventilů upravovala adaptační schopnosti originální ŘJ motoru. Podobné řešení lze nalézt např. v [60], kde pro optimalizaci chodu motoru na směsná biopaliva byla doba vstřiku prodloužována o 15-30 % pomocí PŘJ.

Tato fáze experimentu prokázala, že druhá verze PŘJ je oproti první verzi PŘJ schopná upravit signály pro řízení motoru v celém spektru otáček a zatížení.

První experimenty prokázaly, že dochází k nesouladu mezi PŘJ a originální ŘJ motoru. Resp. o kolik je prodloužena doba vstřiku na PŘJ, o tolik se zkrátí výchozí doba vstřiku na ŘJ v závislosti na signálu z lambda sondy. Vše je závislé na adaptačních schopnostech originální ŘJ motoru. Bylo prokázáno, že originální ŘJ motoru má své hranice adaptačních hodnot a jakmile tuto hranici přesáhne, další adaptace neprobíhá a do paměti závad se zapíše chyba o špatném složení směsi (směs příliš chudá, příp. směs příliš bohatá).

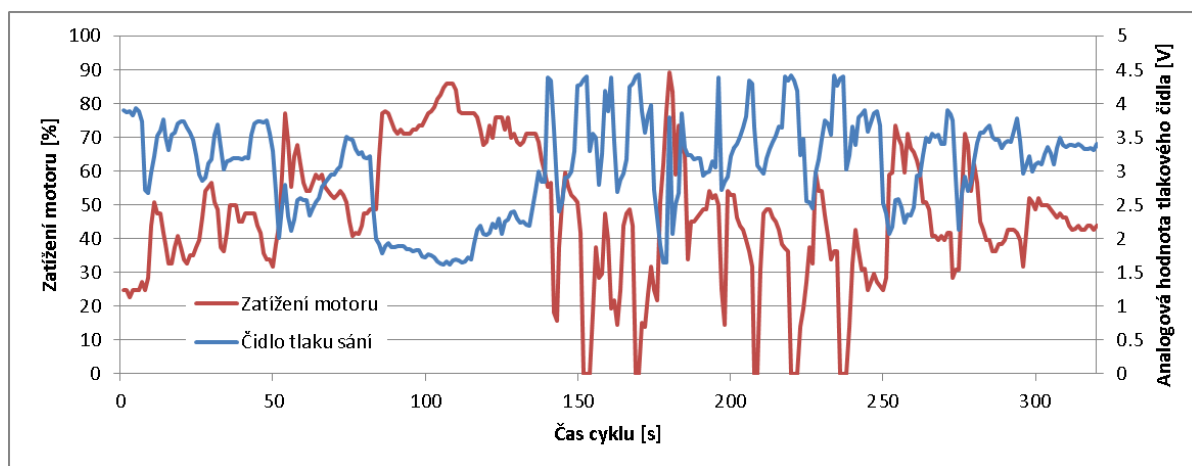
Z naměřených hodnot lze určit optimální interval prodloužení doby vstřiku. Tento interval lze stanovit, jako krajní hodnoty měření, u kterých nedocházelo k záznamu chyby ŘJ v podobě nesprávného složení směsi. V tomto případě lze za krajní hodnoty intervalu označit 5% prodloužení jako minimální hodnotu, při níž je schopna ŘJ motoru se danému palivu přizpůsobit. Horní hranicí lze na základě provedeného měření označit hodnotu 20 %. I při tomto nastavení prodloužení byla schopna ŘJ motoru se přizpůsobit testovanému palivu.

4.3 Optimalizace nastavení PŘJ

Stěžejní částí disertační práce bylo prozkoumat vliv dynamické změny prodloužení vstřikovacích ventilů na spotřebu paliva, výkonové a emisní parametry motoru s cílem najít optimální parametry nastavení PŘJ. Následující experimenty probíhaly, stejně jako u předchozích experimentů, na zkušebním motorovém stanovišti Katedry vozidel a pozemní dopravy.

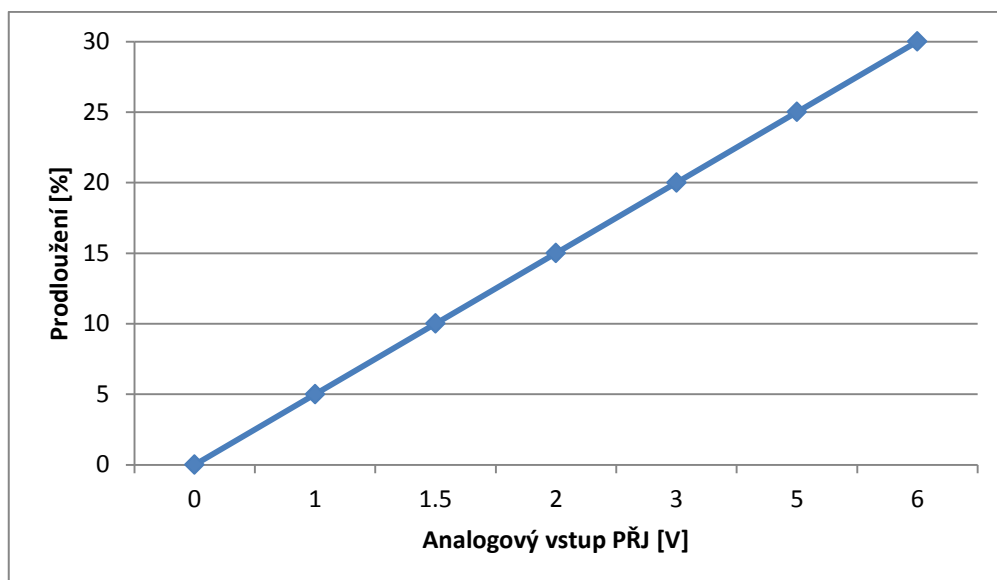
Nyní však již PŘJ nenastavovala konstantní dobu prodloužení, nýbrž hodnota prodloužení byla nastavována na základě vstupní proměnné, která vycházela z požadavku na výkon. Požadavek na výkon byl vyhodnocován na základě napěťového signálu z tlakového čidla umístěného v sání motoru, kterým byl již motor standardně vybaven.

První fází byla analýza naměřených hodnot tohoto čidla při provozu motoru v předchozích experimentech s cílem stanovit mezní hodnoty v závislosti na zatížení motoru. Jak je patrné z grafu 16, analogová hodnota tlaku sání je nepřímo úměrná zatížení motoru a během testovacího cyklu dosahuje hodnot v rozmezí 1.6 V (zatížený motor) až 4.4 V (nezatížený motor).



Graf 16: Závislost tlaku v sání na zatížení motoru

Analogovou hodnotu získanou z tlakového čidla není možné použít přímo k řízení prodloužení doby vstřiku, jelikož regulační rozsah analogového vstupu PŘJ požaduje odlišné vstupní parametry (regulační rozsah vstupu PŘJ je 0-6 V). Proto bylo nutné vytvořit program, jehož funkcí byl převod analogové hodnoty tlaku do potřebného regulačního rozsahu pro vstup PŘJ. Přepočítání mezi analogovou hodnotou napětí, získanou z tlakového čidla umístěného v sání motoru a vstupní hodnotou PŘJ bylo vyřešeno pomocí úpravy ovládacího programu brzdového stanoviště. Díky doplněné funkci byl tento program schopný generovat výstupní signál, který je využit jako vstup PŘJ. Závislost hodnoty prodloužení na vstupní hodnotě PŘJ je zobrazena na grafu 17.



Graf 17: Závislost analogového vstupu PŘJ a prodloužení doby vstřiku

Pro možnost regulace pomocí PŘJ bylo nutné stanovit závislost mezi hodnotou tlaku v sání motoru (požadavek na výkon) a vstupním parametrem pro PŘJ, na základě které PŘJ nastaví hodnotu požadovaného prodloužení. Pro splnění tohoto cíle byly stanoveny dvě varianty, které byly následně otestovány.

První varianta (progresivní) předpokládala, že pokud se při požadavku na výkon PŘJ prodlouží doba vstřiku, dojde k adaptaci originální ŘJ motoru na tuto vyšší hodnotu. ŘJ motoru se přizpůsobí vyšší hodnotě prodloužení při požadavku na vyšší výkon a v režimech nízkého zatížení bude dosahovat nižší spotřeby, než je tomu při konstantním prodloužení.

Druhá varianta (degresivní) spočívala v opačném nastavení – při požadavku na výkon hodnotu prodloužení doby vstřiku snížit s cílem nižší hodnoty spotřeby paliva. Úvaha vycházela z činnosti řízení složení směsi, kdy při vysokém požadavku na výkon je upřednostňován výkon na úkor emisí. V praxi to znamená, že při vysokém požadavku na výkon motoru je vyřazena lambda regulace a složení směsi je řízeno pevným nastavením v ŘJ motoru.

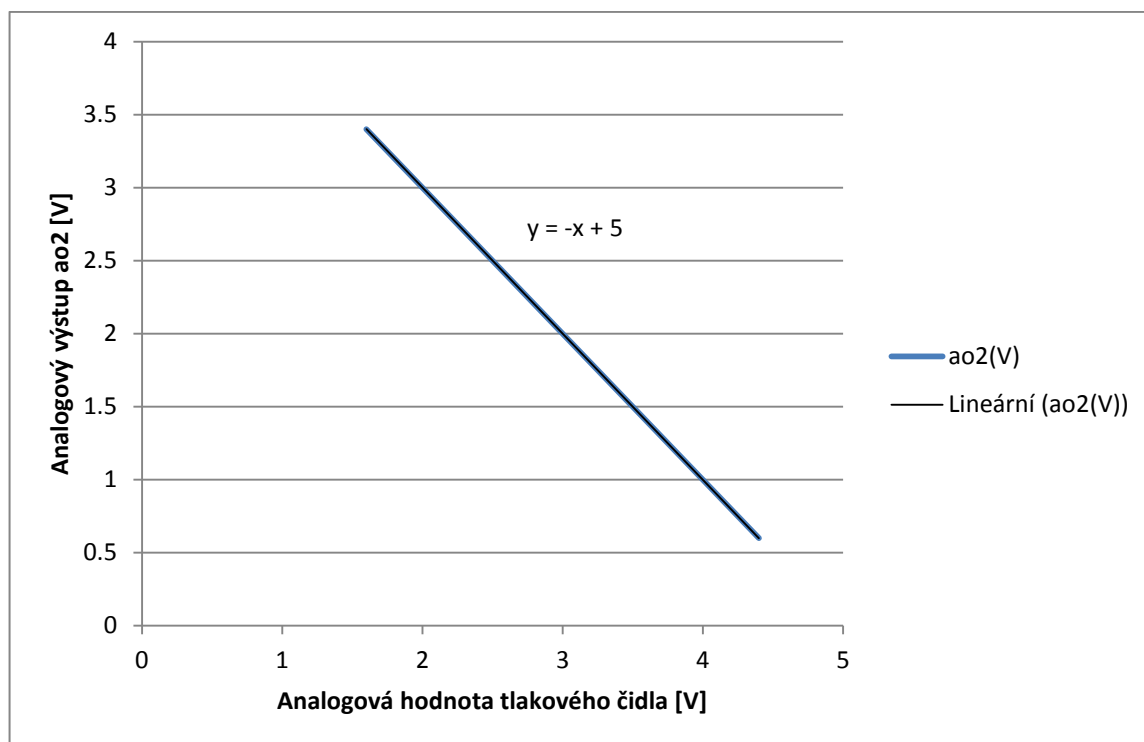
4.3.1 Progresivní varianta

Hodnota prodloužení byla nastavena tak, aby při volnoběžných otáčkách, případně v režimu mírného zatížení motoru, bylo nastaveno prodloužení doby vstřikovacích ventilů na hodnotu 10 %. Tato hodnota se ukázala jako optimální pro provoz motoru při statickém nastavení PŘJ. S rostoucím požadavkem na výkon se pak hodnota prodloužení, nastavovaná PŘJ, zvyšovala až na 30 %. Přestože se hodnota prodloužení 30 % ukázala v předchozích experimentech jako příliš vysoká, vzhledem ke krátkodobému nastavení této hodnoty v režimu vyššího až maximálního zatížení není toto nastavení ŘJ motoru rozpoznáno jako příliš vysoké, neboť v tomto režimu již není funkční lambda regulace. Složení směsi přechází do bohaté směsi a ŘJ již nevyhodnocuje informace z lambda sondy.

Nastavení prodloužení není spojitou veličinou, nýbrž skokovou – hodnoty prodloužení se mění v kroku 5 %.

Závislost mezi hodnotou napětí získanou z tlakového čidla umístěného v sání motoru a vstupní hodnotou PŘJ byla stanovena experimentálně na základě stanovení krajních hodnot doby prodloužení a předpokládaných hodnot prodloužení v různých stupních zatížení motoru. Cílem bylo tuto hodnotu dále upravovat podle dosažených výsledků měření.

Analogová hodnota tlakového čidla byla nejdříve převedena na vstupní veličinu pro PŘJ (graf 18). PŘJ následně podle hodnoty analogového vstupu nastavila požadované prodloužení (graf 17).



Graf 18: Progresivní závislost hodnoty tlak. čidla a vstupu PŘJ

První experimenty probíhaly podle následující závislosti:

$$a_{o_2} = 5 - air9 \quad (7)$$

kde

a_{o_2} je hodnota analogového výstupu pro řízení PŘJ [V],

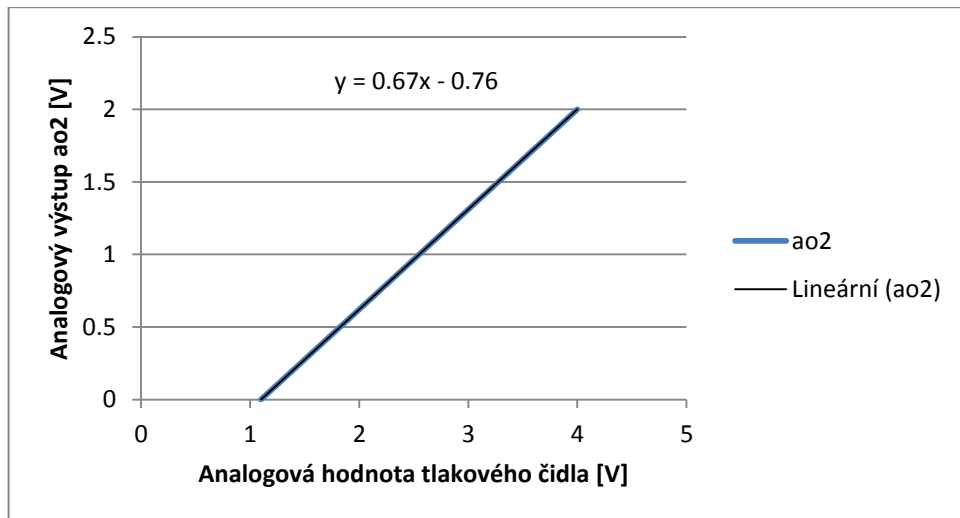
$air9$ je vstupní analogová hodnota z tlakového čidla [V].

Z výše uvedeného vzorce vyplývá, že hodnota prodloužení doby otevření vstřikovacích ventilů bude nepřímo úměrná analogové hodnotě z tlakového čidla (analogová hodnota tlaku v sání klesá se zatížením motoru).

Tato myšlenka se na základě vyhodnocení spotřeby za testovací cyklus (v porovnání s konstantní dobou prodloužení) ukázala jako nevhodná, neboť spotřeba vzrostla z průměrných 0,814 kg paliva na 0,850 kg. Proto další experimenty s tímto nastavením PŘJ dále nepokračovaly.

4.3.2 Degresivní varianta

V tomto případě byla PŘJ nastavena podle závislosti uvedené v grafu 19. Tento graf zobrazuje závislost řídicí veličiny a_{o2} na analogové hodnotě z tlakového čidla.



Graf 19: Degresivní závislost hodnoty tlak. čidla a vstupu PŘJ

Hodnota prodloužení byla nastavena tak, aby při volnoběžných otáčkách, případně v režimu mírného zatížení motoru, byla nastavena hodnota prodloužení doby vstřikovacích ventilů na hodnotu 15 %. S rostoucím požadavkem na výkon se pak hodnota prodloužení snižuje až na nulovou hodnotu.

Závislost mezi hodnotou napětí získanou z tlakového čidla umístěného v sání motoru a vstupní hodnotou PŘJ byla prvotně stanovena s ohledem na krajní hodnoty prodloužení a následně korigována podle dosažených výsledků měření.

První experimenty probíhaly s hodnotami nastavenými pomocí následujícího vztahu:

$$a_{o2} = 0,67 \cdot air9 - 0,76 \quad (8)$$

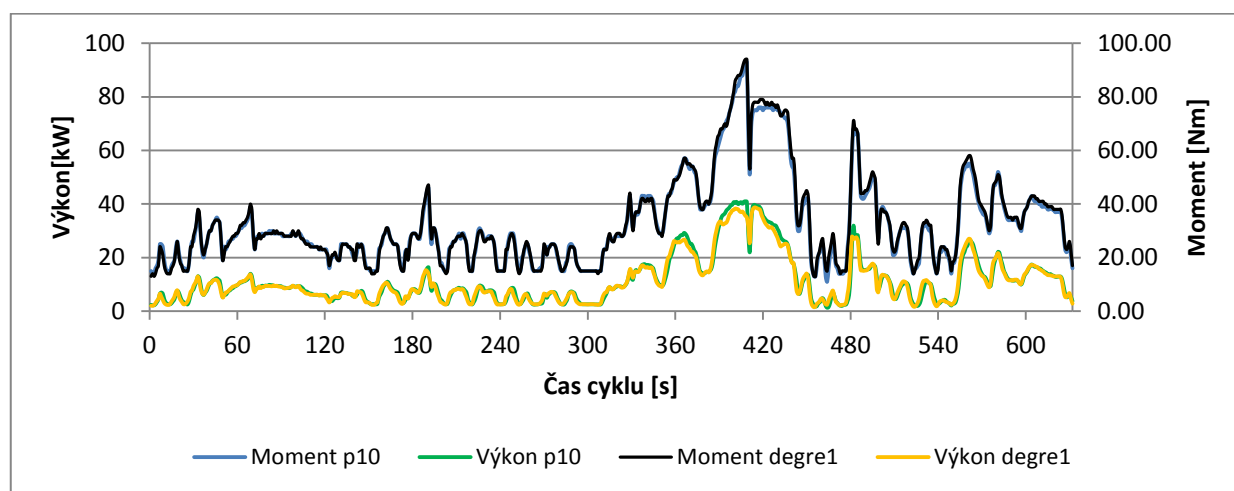
kde

a_{o2} je hodnota analogového výstupu pro řízení PŘJ [V],

$air9$ je vstupní analogová hodnota z tlakového čidla [V].

Aby byla zajištěna možnost posouzení vlivu konkrétního nastavení dynamické změny doby prodloužení, byl absolvován nejdříve cyklus s konstantním nastavením doby prodloužení vstřikovacích ventilů (prodloužení bylo nastaveno na hodnotu 10 %). Tento cyklus byl 3x opakován z důvodu zahřátí motoru a adaptace motoru na palivo E85.

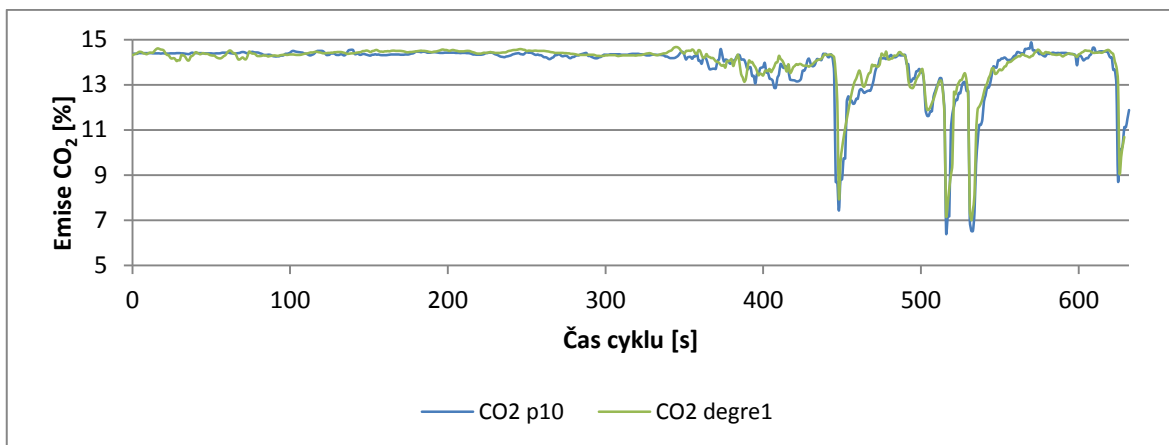
Průběh výkonu a momentu při nastavení konstantní doby prodloužení na hodnotu 10 % (v grafech označeno p10) a s degresivní změnou doby prodloužení podle vztahu (8) (v grafech označeno degre1) je zobrazen na grafu 20.



Graf 20: Porovnání průběhu momentu a výkonu v jízdním cyklu (prodloužení p10 a degre1)

Z grafu 20 je patrné, že je zanedbatelný vliv dynamické změny doby prodloužení na průběh momentu a výkonu u testovaného motoru.

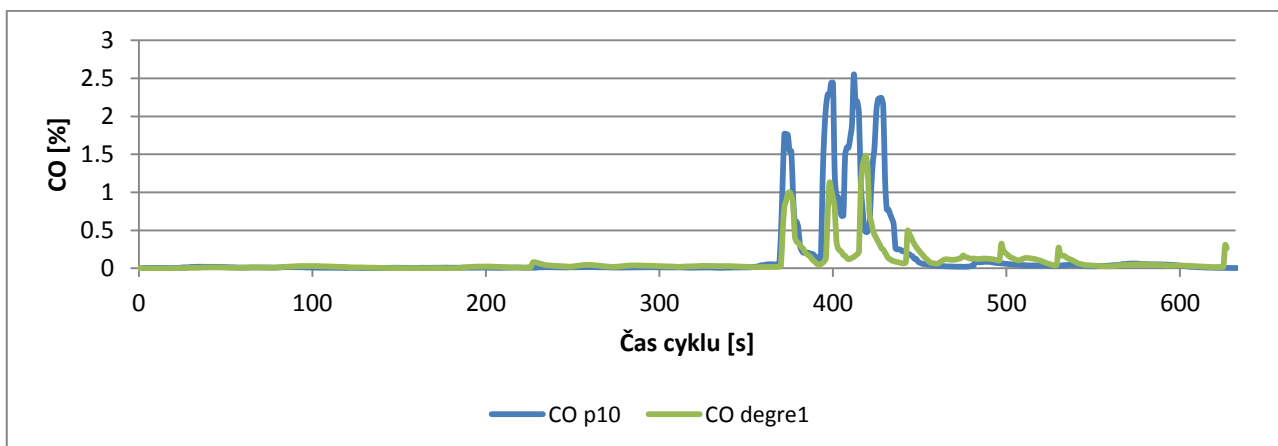
Následující graf 21 zobrazuje porovnání emisí CO₂ při konstantním prodloužení 10 % a při dynamickém prodloužení podle závislosti stanovené vztahem (8).



Graf 21: Porovnání průběhu emisí CO₂ v jízdním cyklu (prodloužení p10 a degre1)

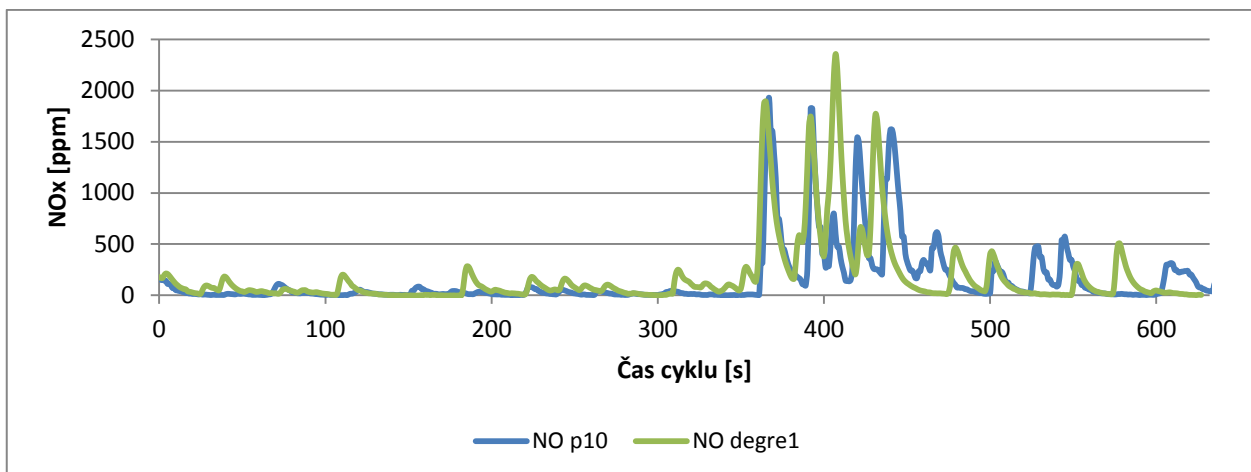
Z grafu je patrné, že produkce emisí CO₂ je prakticky totožná, čímž lze konstatovat, že dynamická změna prodloužení doby vstřiku nemá markantní vliv na změnu produkce emisí CO₂.

Při porovnání produkce emisí CO (graf 22) je vidět pozitivní vliv na snížení produkce emisí při dynamické změně doby vstřiku, zvláště v režimech vyššího zatížení motoru.



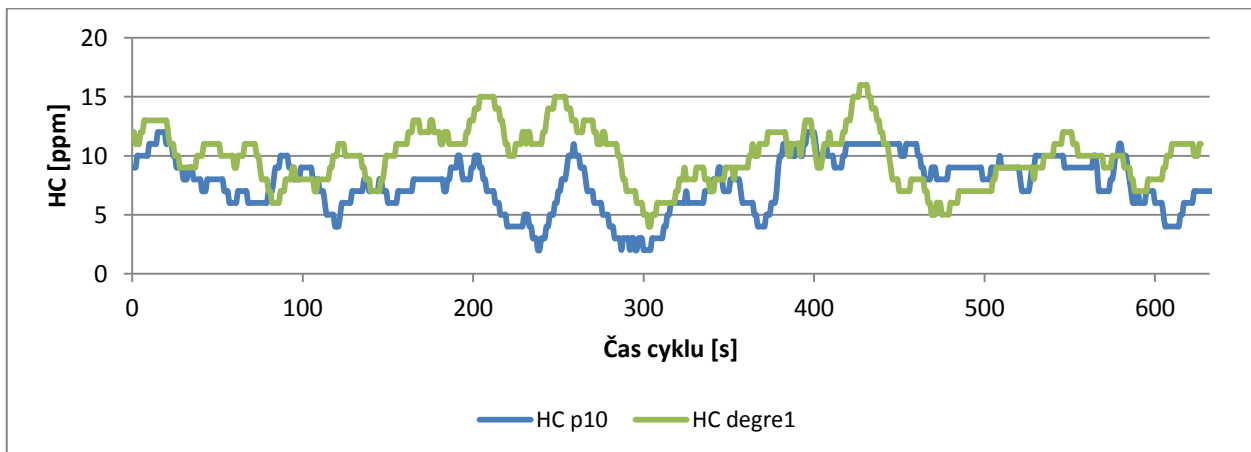
Graf 22: Porovnání průběhu emisí CO v jízdním cyklu (prodloužení p10 a degre1)

V případě porovnání produkce emisí NO_x (graf 23) není patrný podstatný rozdíl mezi oběma porovnávanými cykly.



Graf 23: Porovnání průběhu emisí NO_x v jízdním cyklu (prodloužení p10 a degre1)

Z průběhu produkce poslední měřené složky emisí HC (graf 24) lze dojít k závěru, že stejně jako u emisí CO₂ zde není patrný vliv dynamické změny doby vstřiku. Zaznamenané hodnoty jsou v řádech jednotek ppm, což je na samé hranici rozpoznávací schopnosti měřicího přístroje.



Graf 24: Porovnání průběhu emisí HC v jízdním cyklu (prodloužení p10 a degre1)

V tabulce 14 jsou zobrazeny sumarizované výsledky z obou experimentů.

Tab. 14: Souhrnné výsledky testovacího cyklu při p10 a degre1

Prodloužení	Hodnoty emisí za celý jízdní cyklus (632 s)				Prům. výkon [kW]	Prům. moment [Nm]	Prům. otáčky [min ⁻¹]	Prům. doba vstřiku [ms]	Spotřeba paliva [kg]
	CO[g]	CO ₂ [g]	NO _x [g]	HC[g]					
p10	34.60	2276.56	4.40	0.04	11.37	32.7	2932	5.53	0.8539
degre1	12.70	2229.35	5.44	0.05	11.17	33.1	2870	5.67	0.834

Na základě výsledků předchozího experimentu, kdy došlo vlivem dynamické změny doby vstřiku k pozitivnímu ovlivnění spotřeby paliva, bylo přistoupeno ke změně, kdy byla upravena závislost (8) podle vzorce (9):

$$a_{02} = 0,67 \cdot air9 - 1 \quad (9)$$

kde

a_{02} je hodnota analogového výstupu pro řízení PŘJ [V],

$air9$ je vstupní analogová hodnota z tlakového čidla [V].

Cílem bylo upravit dobu prodloužení vstřiku podle požadavku na výkon tak, aby ke změně docházelo již při nižším zatížení motoru. Základní myšlenka byla stále stejná, čím vyšší požadavek na výkon, tím nižší hodnota prodloužení doby vstřiku. S tímto nastavením byl dvakrát proveden testovací jízdní cyklus (označení degre2 a degre3).

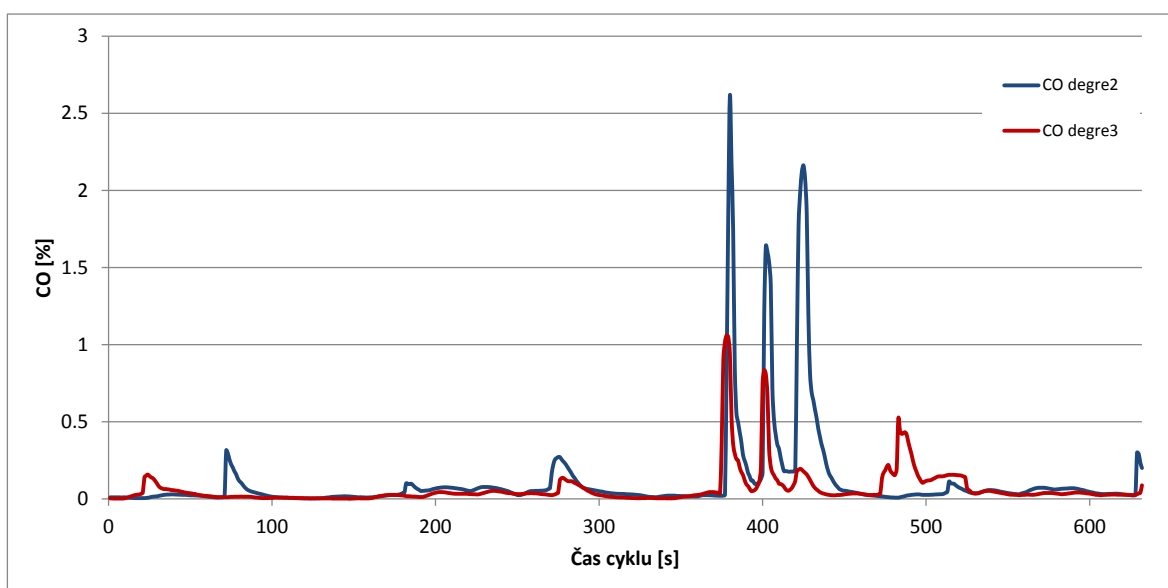
Tab. 15: Porovnání výsledků testovacího cyklu při p10, degre2 a degre3

Prodloužení	Hodnoty emisí za celý jízdní cyklus (632 s)				Prům. výkon [kW]	Prům. moment [Nm]	Prům. otáčky [min ⁻¹]	Prům. doba vstřiku [ms]	Spotřeba paliva [kg]
	CO[g]	CO ₂ [g]	NO _x [g]	HC[g]					
p10	34.6	2276.56	4.4	0.04	11.37	32.7	2932	5.53	0.8539
degre2	18.6	2236.88	10.84	0.03	11.20	33.7	2841	5.90	0.82
degre3	8.7	2223.58	6.18	0.05	11.23	34.1	2816	5.94	0.816

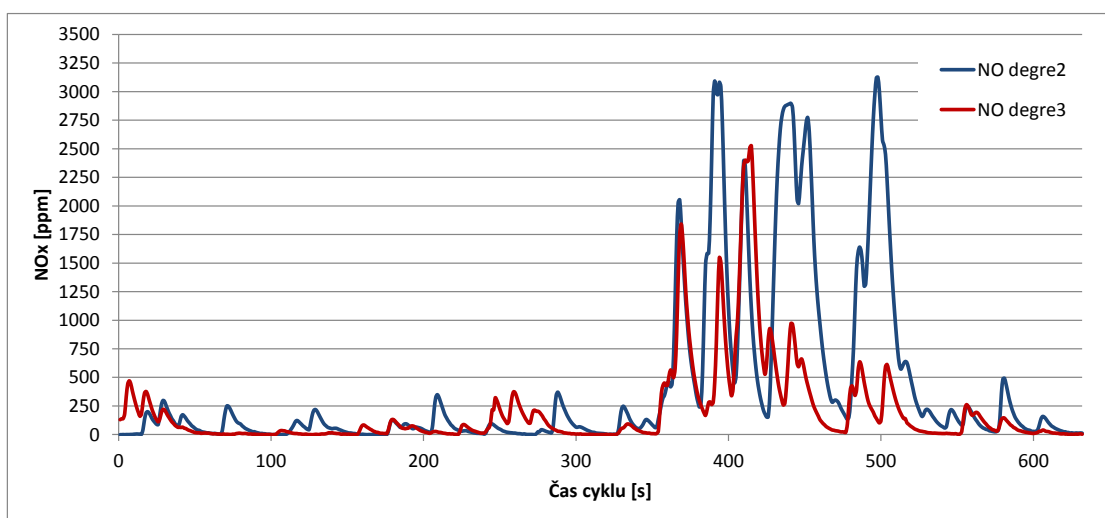
Při tomto nastavení sice došlo k dalšímu snížení spotřeby – jak je patrné z výše uvedené tab. 15, avšak v paměti závad ŘJ motoru se vyskytla chyba v podobě příliš chudé směsi –

regulace mimo rozsah. Regulace doby vstřiku podle vzorce (9) proto byla zavržena a další zkoumání bylo soustředěno k úpravě této závislosti.

Zajímavé bylo porovnání hodnot a průběhů emisí CO (graf 25) a NO_x (graf 26) u obou měření. Z tab. 15 je patrné, že při druhém opakování jízdního cyklu došlo k znatelnému poklesu emisí CO i NO_x. Tento pokles je připisovaný postupné adaptaci ŘJ motoru na dané nastavení PŘJ.



Graf 25: Porovnání průběhu emisí CO v jízdním cyklu (prodloužení degre2 a degre3)



Graf 26: Porovnání průběhu emisí NO v jízdním cyklu (prodloužení degre2 a degre3)

Z předchozího experimentu vyplynulo, že dynamická změna délky prodloužení doby vstřiku má za následek časté nastavení příliš chudé směsi, proto bylo přistoupeno k úpravě závislosti do podoby:

$$a_{o_2} = 0,67 \cdot air9 - 0,9 \quad (10)$$

kde

a_{o_2} je hodnota analogového výstupu pro řízení PŘJ [V],

$air9$ je vstupní analogová hodnota z tlakového čidla [V].

Výše uvedená úprava podle rovnice (10) měla za cíl absolvovat celý cyklus bez záznamu chyby v podobě příliš chudé směsi. Dále se ukázalo, že by bylo vhodné jízdní cyklus opakovat vícekrát, z důvodu postupné adaptace ŘJ motoru. Proto byl tentokrát celý jízdní cyklus opakován třikrát. Výsledky dosažené v testovacím jízdním cyklu s nastavením podle závislosti (10) jsou označeny $degre4$, $degre5$ a $degre6$ a sumárně zaznamenány v tab. 16.

Tab. 16: Porovnání výsledků testovacího cyklu při $p10$, $degre4$, a $degre5$ a $degre6$

Prodloužení	Hodnoty emisí za celý jízdní cyklus (632 s)				Prům. výkon [kW]	Prům. moment [Nm]	Prům. otáčky [min^{-1}]	Prům. doba vstřiku [ms]	Spotřeba paliva [kg]
	CO[g]	CO ₂ [g]	NO _x [g]	HC[g]					
p10	27.6	2193.85	3.30	0.01	11.20	34.0	2798	5.60	0.818
degre4	7.3	2057.28	5.11	0.00	10.82	33.9	2733	5.73	0.79
degre5	12.0	2107.02	4.13	0.00	10.95	34.3	2740	5.86	0.786
degre6	15.2	2155.05	5.11	0.04	10.95	34.2	2730	5.84	0.788

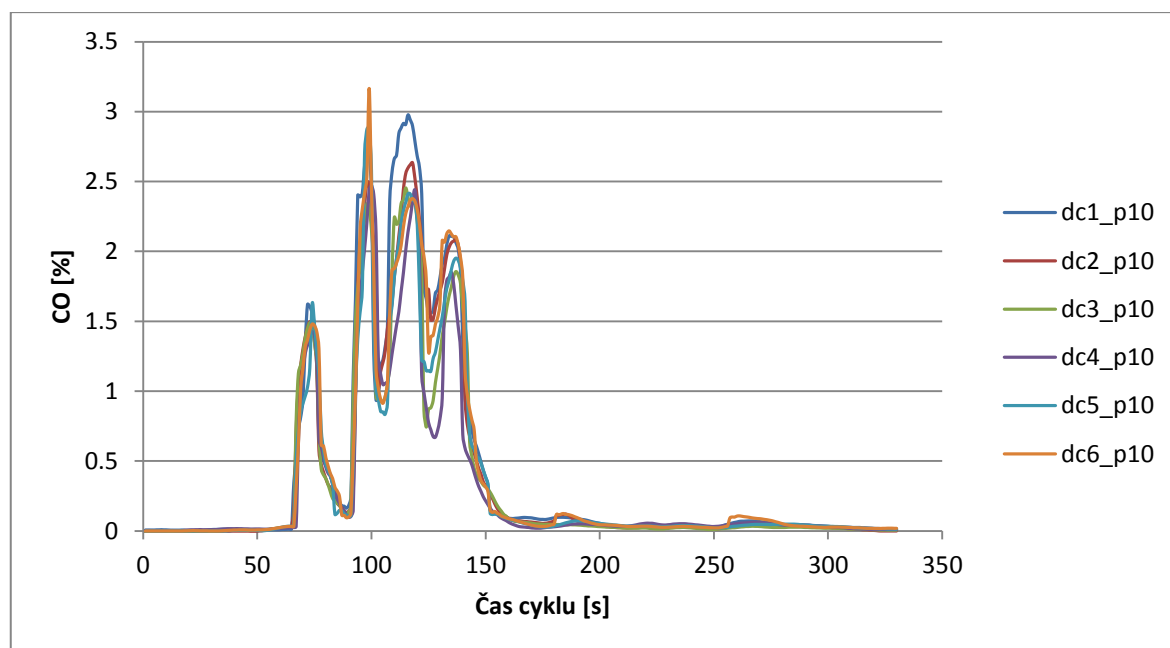
Po třetím cyklu se opět vyskytla v paměti závad ŘJ motoru chyba v podobě příliš chudé směsi (regulace mimo rozsah), proto i tato závislost byla přes viditelnou úsporu paliva vyhodnocena jako nevyhovující.

Analýza provedených experimentů ukázala, že zásadních rozdílů v době vstřiku dochází v režimech vyššího a vysokého zatížení motoru. Proto došlo ke změně testovacího jízdního cyklu, kdy byla vynechána 300 s „klidná“ část cyklu a pro testování zbyl 330 s dlouhý

dynamický jízdní cyklus. Z důvodu porovnání přínosu dynamické změny doby otevření vstříků byl opět absolvován tento dynamický jízdní cyklus s konstantním prodloužením nastaveným na hodnotu 10 %. Celý cyklus byl z důvodu adaptace ŘJ motoru na palivo E85 6x opakován. Výsledky dosažené při experimentu jsou označeny dc1_p10 až dc6_p10, což odpovídá zkratce dynamický cyklus (délky 330 s), číslo měření a prodloužení 10 %.

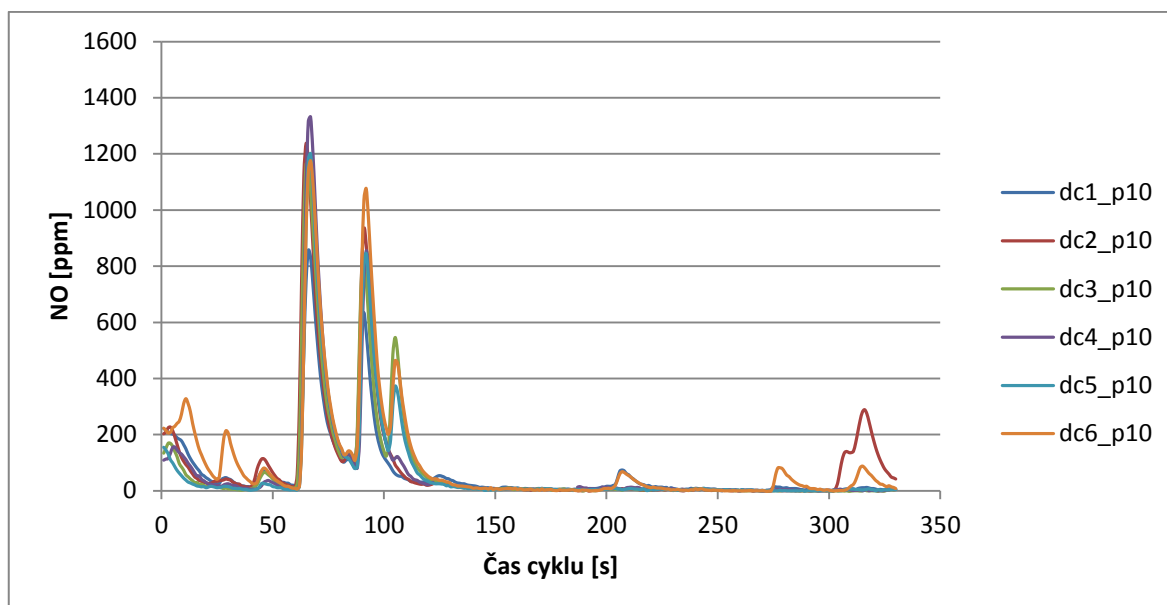
Z důvodu zkrácení doby jízdního cyklu byl navýšen počet opakování, aby motor pracoval s daným nastavením PŘJ stejnou dobu, jako při minulých experimentech. Důvodem je adaptace ŘJ motoru, která pro svoji adaptaci potřebuje určitý čas.

Z předchozích výsledků se ukázalo, že v oblasti produkce emisí dochází k zásadním změnám pouze u emisí CO a NO_x. Emise CO₂ jsou poměrně konstantní, emise HC jsou na samé hranici měřitelnosti. Následující grafy 27 a 28 zobrazují průběh emisí CO a NO_x v dynamickém jízdním cyklu s konstantní dobou prodloužení vstříku 10 %.



Graf 27: Průběh emisí CO při dynamickém jízdním cyklu s prodloužením 10 %

Jak je patrné z grafu 27, opakováním jízdního cyklu se průběh emisí CO měnil jen minimálně, rozdíly v hodnotách jsou na pokraji rozlišovací schopnosti přístroje.



Graf 28: Průběh emisí NO při dynamickém jízdním cyklu s prodloužením 10 %

Také průběh emisí NO_x (graf 28) se během jízdního cyklu výrazně neměnil.

Na níže uvedené tabulce 17 jsou zobrazeny souhrnné výsledky získané ze všech měření s konstantní dobou prodloužení vstříků nastavenou na hodnotu 10 %.

Tab. 17: Souhrnné výsledky s konstantním prodloužením 10 %

Prodloužení	Hodnoty emisí za celý jízdní cyklus (330 s)				Prům. výkon [kW]	Prům. moment [Nm]	Prům. otáčky [min ⁻¹]	Prům. doba vstříku [ms]	Spotřeba paliva [kg]
	CO[g]	CO ₂ [g]	NO _x [g]	HC[g]					
dc1_p10	51.0	1557	1.01	0.05	15.82	42.2	3218	6.96	0.594
dc2_p10	45.3	1511	1.48	0.02	15.91	42.2	3242	6.89	0.592
dc3_p10	41.2	1516	1.49	0.02	15.81	42.2	3218	6.87	0.588
dc4_p10	37.1	1525	1.52	0.04	15.78	42.6	3188	6.87	0.580
dc5_p10	40.1	1525	1.34	0.03	15.85	42.8	3182	6.91	0.580
dc6_p10	40.9	1529	1.35	0.02	15.92	42.7	3198	6.98	0.578
průměr	42.6	1527	1.37	0.03	15.8	42.45	3208	6.91	0.585
sm. odchylka	4.5	15	0.17	0.012	0.05	0.26	21	0.043	0.0063

Cílem opakování jízdního cyklu bylo dosažení adaptace ŘJ motoru na nastavení PŘJ a palivo E85. Průměrné hodnoty budou sloužit pro závěrečné porovnání s dynamickou změnou doby vstříku.

Následující experiment byl opět absolvován s dynamickou úpravou doby vstříků podle následující závislosti:

$$a_{o_2} = 0,67 \cdot air9 - 0,85 \quad (11)$$

kde

a_{o_2} je hodnota analogového výstupu pro řízení PŘJ [V],

$air9$ je vstupní analogová hodnota z tlakového čidla [V].

Celý jízdní cyklus byl tentokrát 8x opakován. Důraz byl kladen na kontrolu ŘJ motoru po každém cyklu, kdy byla kontrolována paměť závad. Dalším důvodem pro navýšení počtu opakování byla adaptace ŘJ motoru. Výsledky experimentů s tímto nastavením jsou označeny dc7_pdyn až dc14_pdyn. Syntaxe vychází z označení dc (dynamický cyklus 330 s), číslo měření a pdyn (prodloužení nastavené dynamicky podle závislosti 11).

V následující tabulce 18 jsou zobrazeny souhrnné výsledky s dynamickou změnou vstříku nastavenou podle vzorce (11).

Tab. 18: Souhrnné výsledky s dynamickým prodloužením

Prodloužení	Hodnoty emisí za celý jízdní cyklus (330 s)				Prům. výkon [kW]	Prům. moment [Nm]	Prům. otáčky [min ⁻¹]	Prům. doba vstříku [ms]	Spotřeba paliva [kg]
	CO[g]	CO ₂ [g]	NO _x [g]	HC[g]					
dc7_pdyn	12.8	1509.83	6.22	0.01	15.60	42.7	3157	7.38	0.562
dc8_pdyn	11.9	1512.02	5.79	0.02	15.50	42.8	3145	7.36	0.558
dc9_pdyn	13.4	1527.55	5.61	0.03	15.63	42.7	3165	7.33	0.564
dc10_pdyn	10.1	1517.33	5.60	0.03	15.42	42.7	3123	7.37	0.556
dc11_pdyn	12.9	1497.19	5.76	0.04	15.45	43.0	3106	7.32	0.556
dc12_pdyn	9.9	1483.25	7.44	0.03	15.27	43.1	3075	7.42	0.548
dc13_pdyn	8.1	1477.60	5.40	0.02	15.27	43.3	3064	7.38	0.548
dc14_pdyn	12.2	1482.90	4.94	0.03	15.43	43.3	3091	7.45	0.554
průměr	11.4	1501	5.85	0.03	15.45	42.95	3115.75	7.38	0.556
sm. odch.	1.7	17.2	0.7	0.0	0.1	0.2	35.5	0.04	0.005

V tab. 19 je uvedeno závěrečné porovnání průměrných výsledků za obě skupiny nastavení PŘJ.

Tab. 19: Porovnání souhrnných výsledků pdyn a p10

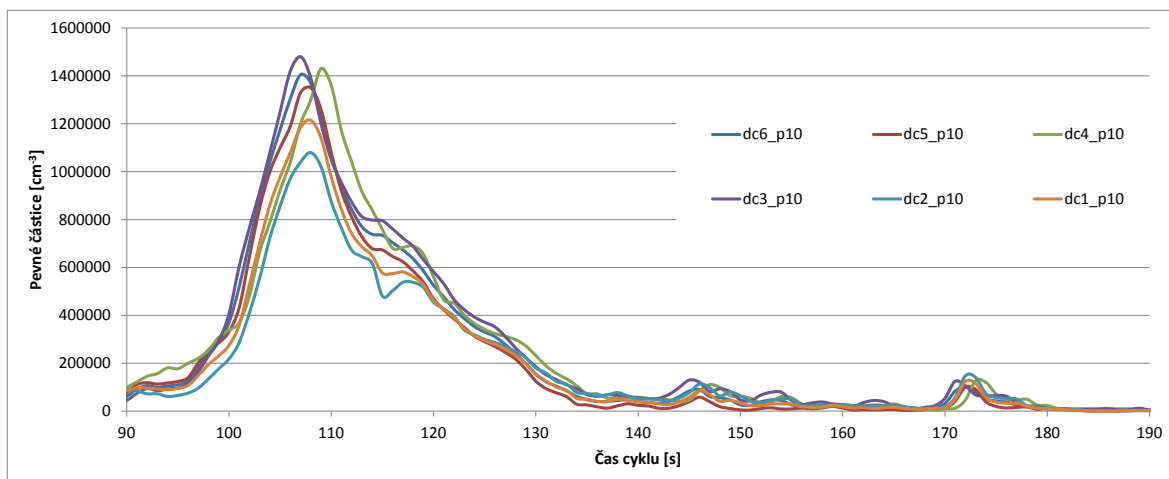
Prodloužení	Hodnoty emisí za celý jízdní cyklus (330 s)				Prům. výkon [kW]	Prům. moment [Nm]	Prům. otáčky [min ⁻¹]	Prům. doba vstřiku [ms]	Spotřeba paliva [kg]
	CO[g]	CO ₂ [g]	NO _x [g]	HC[g]					
p10_prum	42.60	1527	1.37	0.030	15.85	42.5	3208	6.91	0.585
pdyn_prum	11.41	1501	5.85	0.026	15.45	43.0	3116	7.38	0.556
rozdíl	-31.19	-26	4.45	-0.004	-0.40	0.50	-92	0.46	-0.025

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že dynamickou změnou doby vstřiku došlo k podstatnému úbytku produkce emisí CO a zvýšení produkce emisí NO_x. Při dynamickém prodloužení bylo dosaženo nižších otáček, čemuž odpovídá i zanedbatelný pokles průměrného výkonu. Naproti tomu točivý moment motoru nepatrně vzrostl. Co se spotřeby paliva týče, při dynamickém prodloužení doby vstřiku došlo k úspoře průměrně 5 % paliva. Během měření nebyla zaznamenána chyba v ŘJ motoru, týkající se chybného složení směsi, proto již nebylo dále pokračováno v úpravě závislosti a_{o2} . Vzorec 11 je tedy považován za optimální variantu pro nastavení dynamické změny doby vstřiku.

4.3.2.1 Vyhodnocení produkce pevných částic

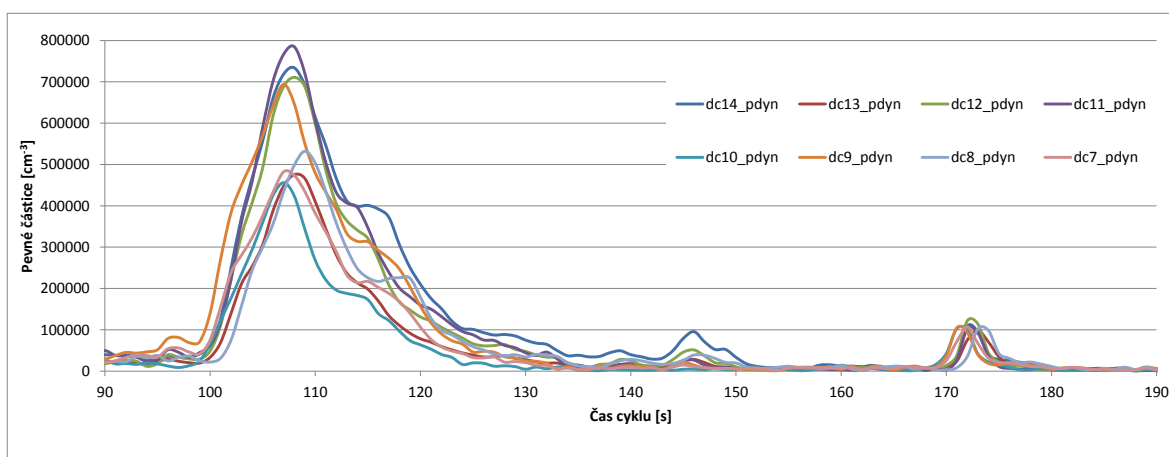
U nepřímovstříkových motorů není obvyklé, že je sledováno množství vyprodukovaných pevných částic. Jelikož ale byla možnost využít tento specializovaný analyzátor, byly výfukové spaliny tímto analyzátozem zaznamenány a následně vyhodnoceny. Následující grafy (graf 29, 30 a 31) zobrazují průběh jen části cyklu, kde byly zaznamenány zvýšené hodnoty produkce pevných částic v ředěných výfukových plynech.

V případě konstantního nastavení prodloužení doby vstřiku na hodnotu 10 % se maximální hodnoty produkce částic v ředěných výfukových plynech pohybovaly v rozmezí řádově 1 až 1,5 mil částic na cm³, jak je patrné z grafu 29.



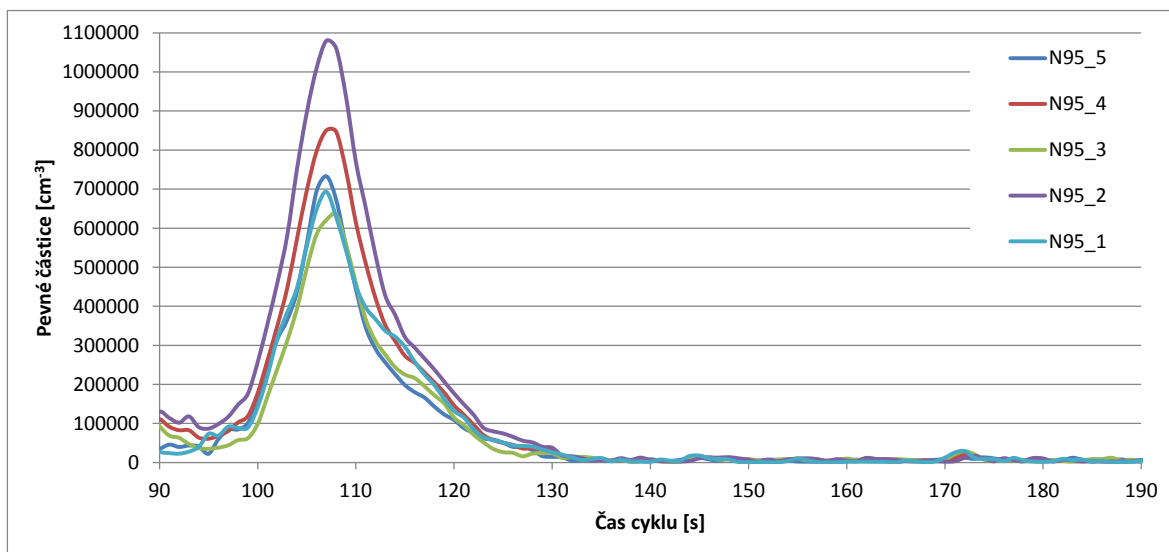
Graf 29: Průběh produkce pevných částic E85 - konstantní prodloužení doby vstřiku 10 %

Průběh produkce pevných částic při dynamické změně doby vstřiku zobrazuje graf 30. Maximální dosahované hodnoty se pohybovaly v rozmezí řádově 450 až 800 tis. částic na cm^3 .



Graf 30: Průběh produkce pevných částic E85 – proměnná doba vstřiku

Průběh produkce pevných částic při provozu motoru na palivo Natural 95 je zobrazen v grafu 31. V tomto případě se maximální hodnoty pohybovaly v rozmezí řádově 600 tis. až 1,10 mil cm^{-3} .

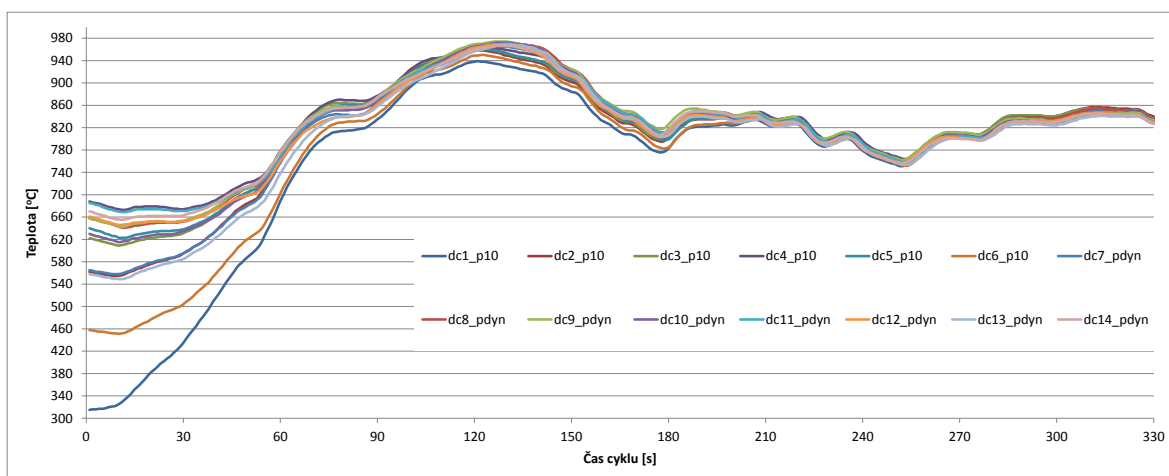


Graf 31: Průběh produkce pevných částic – palivo Natural 95

Při porovnání produkce pevných částic při provozu motoru na palivo E85 lze dojít k závěru, že při dynamické změně doby vstřiku podstatným způsobem klesly vyprodukované emise pevných částic.

4.3.2.2 Vyhodnocení teplot výfukových plynů

Při všech měřeních byla zaznamenávána teplota výfukových plynů s cílem zjistit vliv změny prodloužení doby vstřiku na teplotu výfukových plynů. Na grafu 32 je znázorněn průběh teploty výfukových plynů během celého jízdního cyklu pro všechna nastavení PŘJ dc_p10 a dc_pdyn.



Graf 32: Průběh teplot výfukových plynů v jednotlivých cyklech

Z průběhů teplot jednotlivých měření je vidět, že výchozí teplota se lišila podle časového odstupu mezi jednotlivými měřeními. Během jízdního cyklu docházelo ke změně teplot podle aktuálního zatížení motoru. Pro posouzení vlivu změny prodloužení doby vstřiku má největší vypovídací hodnotu srovnání maximální dosažené teploty během celého jízdního cyklu, která je uvedena v tab. 20.

Tab. 20: Porovnání maximálních teplot výfukových plynů

Cyklus	Teplota [°C]
dc1_p10	(939)
dc2_p10	959
dc3_p10	963
dc4_p10	966
dc5_p10	962
dc6_p10	950
dc7_pdyn	965
dc8_pdyn	970
dc9_pdyn	974
dc10_pdyn	972
dc11_pdyn	970
dc12_pdyn	969
dc13_pdyn	969
dc14_pdyn	967
Průměr p10	960
Průměr pdyn	969.5

Z porovnání dosažených maximálních teplot výfukových plynů byl vyřazen první cyklus, neboť před tímto cyklem byla dlouhá pauza, což je patrné i z grafu 32 – počáteční změřená teplota byla výrazně nižší, než v ostatních cyklech. Při porovnání dosažených maximálních teplot je patrné, že při dynamické změně doby vstřiku došlo ke zvýšení maximální teploty výfukových plynů.

4.3.3 Porovnání provozu na E85 vs. N95

V rámci předchozích experimentů došlo k nalezení optimálního nastavení PŘJ pro provoz motoru na palivo E85. Pro posouzení přínosu a provedené optimalizace bylo nutné provést porovnávací měření při použití předepsaného paliva Natural 95.

4.3.3.1 Porovnání provozních parametrů při provozu na N95 a E85

Měření při provozu na N95 bylo provedeno s deaktivovanou PŘJ (konstantní prodloužení 0 %). Motor byl provozován v totožném dynamickém jízdním cyklu jako při posledním experimentu na palivo E85. Souhrnné výsledky po absolvování testovacího cyklu na palivo Natural 95 jsou v následující tabulce 21.

Tab. 21: Souhrnné výsledky při provozu motoru na N95

Prodloužení	Hodnoty emisí za celý jízdní cyklus (330 s)				Prům. výkon [kW]	Prům. moment [Nm]	Prům. otáčky [min ⁻¹]	Prům. doba vstřiku [ms]	Spotřeba paliva [kg]
	CO[g]	CO ₂ [g]	NO _x [g]	HC[g]					
N95_1	127.7	1395.75	0.04	0.04	15.57	40.7	3188	6.46	0.460
N95_2	107.2	1412.44	0.04	0.04	15.17	40.9	3188	6.46	0.454
N95_3	123.8	1413.62	0.03	0.06	15.23	41.0	3186	6.57	0.454
N95_4	102.3	1402.38	0.04	0.04	15.15	41.6	3141	6.55	0.448
N95_5	90.4	1392.57	0.13	0.03	15.09	41.6	3126	6.51	0.442
průměr	110.3	1403	0.06	0.04	15.24	41.2	3166	6.51	0.452
sm. odch.	13.8	9	0.04	0.01	0.17	0.3	27	0.05	0.006

Porovnání výsledků všech experimentů zobrazuje tab 22.

Tab. 22: Srovnání průměrných hodnot p10, pdyn a N95

Prodloužení	Hodnoty emisí za celý jízdní cyklus (330 s)				Prům. výkon [kW]	Prům. moment [Nm]	Prům. otáčky [min ⁻¹]	Prům. doba vstřiku [ms]	Spotřeba paliva [kg]
	CO[g]	CO ₂ [g]	NO _x [g]	HC[g]					
dc_p10_prum	42.60	1527	1.37	0.030	15.85	42.5	3208	6.91	0.585
dc_pdyn_prum	11.41	1501	5.85	0.026	15.45	43.0	3116	7.38	0.556
dc_N95_prum	110.3	1403	0.06	0.04	15.24	41.2	3166	6.51	0.452

V tab. 22 jsou tučně vyznačeny nejlepší hodnoty dosažené v absolvovaných jízdních cyklech. Porovnáván byl provoz na palivo N95 a E85 ve dvou variantách nastavení PŘJ. Z tab. 22 je patrné až 44% snížení emisí CO ve prospěch paliva E85, kdy nejlepší hodnoty bylo dosaženo při dynamické změně prodloužení doby vstřiku v podobě až 90% snížení oproti provozu na N95. Podobné závěry ohledně snížení produkce emisí CO při provozu na E85 potvrzuje celá řada publikací. Snížení produkce potvrzuje většina autorů, úspory však dosahují různých hodnot. Jen mírné snížení potvrzuje např. [70], většinou se však lze setkat se snížením o více jak 30 % [68, 75, 76]. Několik autorů publikuje výsledky se snížením až přes 50 % [65, 71].

Emise CO₂ a spotřeba paliva byly podle očekávání nejnižší při provozu na palivo N95. Zahraniční autoři uvádějí nejednoznačné výsledky ohledně produkce CO₂ při užití etanolových směsí. Většina autorů uvádí, podobně jako výše uvedené výsledky, mírné zvýšení produkce CO₂ v řádech jednotek % [61, 62, 63, 64]. Naopak mírné snížení produkce CO₂ uvádí např. [48, 65, 66, 67]

V případě emisí NO_x byly nejnižší hodnoty dosaženy při provozu na palivo N95. Nejvyšší produkce NO_x bylo dosaženo při dynamické změně prodloužení doby vstřiku vlivem ochuzení směsi při vyšších zatíženích motoru. V porovnání s ostatními autory je situace opět nejednoznačná, kdy řada autorů dochází ke stejnému závěru v podobě nárůstu produkce NO_x v řádech desítek % při použití paliva E85 [68, 69]. Naopak řada publikací uvádí pokles produkce NO_x, zejména při použití nízkoprocentních etanolových směsí. [70, 71, 72]

Průměrné výkonové parametry při provozu na obě paliva se výrazným způsobem nelišily. Tyto výsledky se shodují se závěry mnoha autorů, kteří potvrzují jak mírné zvýšení [70, 73], tak nepatrné snížení výkonu [71].

Jak ukazují výsledné hodnoty spotřeby paliva (tab. 22), nejvyšší spotřeba byla dosažena při provozu na E85 s konstantní dobou prodloužení. Při dynamické změně doby vstřiku se podařilo spotřebu snížit o cca 5 %. Přesto v porovnání s provozem na N95 musí vždy dojít ke zvýšení spotřeby paliva vlivem nižší výhřevnosti E85. K podobnému závěru dochází naprostá většina zahraničních autorů, kteří potvrzují zvýšení spotřeby paliva v řádech několika procent u nízkoprocentních etanolových směsí [70, 74, 75] a až v řádu desítek procent u vysokoprocentních směsí [76, 77].

4.3.3.2 Finanční porovnání provozu na palivo N95 a E85

Doposud byly porovnávány pouze provozní parametry obou použitých paliv. Důležitým faktorem jsou však také provozní náklady. Provedená optimalizace si kladla za cíl mimo jiné snížení spotřeby paliva, která hraje hlavní roli při vyčíslení provozních nákladů.

Cenové srovnání v tabulce 23 ukazuje přepočítanou cenu spotřebovaného paliva pro absolvování jednoho jízdního cyklu.

Tab. 23: Cenové srovnání

Cyklus	Spotřeba paliva [kg]	Spotřeba paliva [l]	Cena paliva [Kč · l ⁻¹]	Cena paliva v jízdním cyklu [Kč]
dc_p10_prum	0.585	0.461	22.9	10.55
dc_pdyn_prum	0.556	0.437	22.9	10.02
dc_N95	0.452	0.355	28	9.95

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že při současné cenové situaci se provoz na palivo E85 ani v případě dynamické změny doby vstřiku nevyplatí. Navíc je nezbytné uvažovat cenu přídatné řídicí jednotky a případnou cenu práce při její odborné montáži. Nicméně je nutné zdůraznit, že poměr mezi cenou N95 a E85 je značně závislý na okamžité ceně ropy na světových trzích. Zatímco cena E85 se v posledních 5 letech výrazně nezměnila, cena N95 je v současné době na hranici několikaletého minima, čímž samozřejmě klesá atraktivita paliva E85.

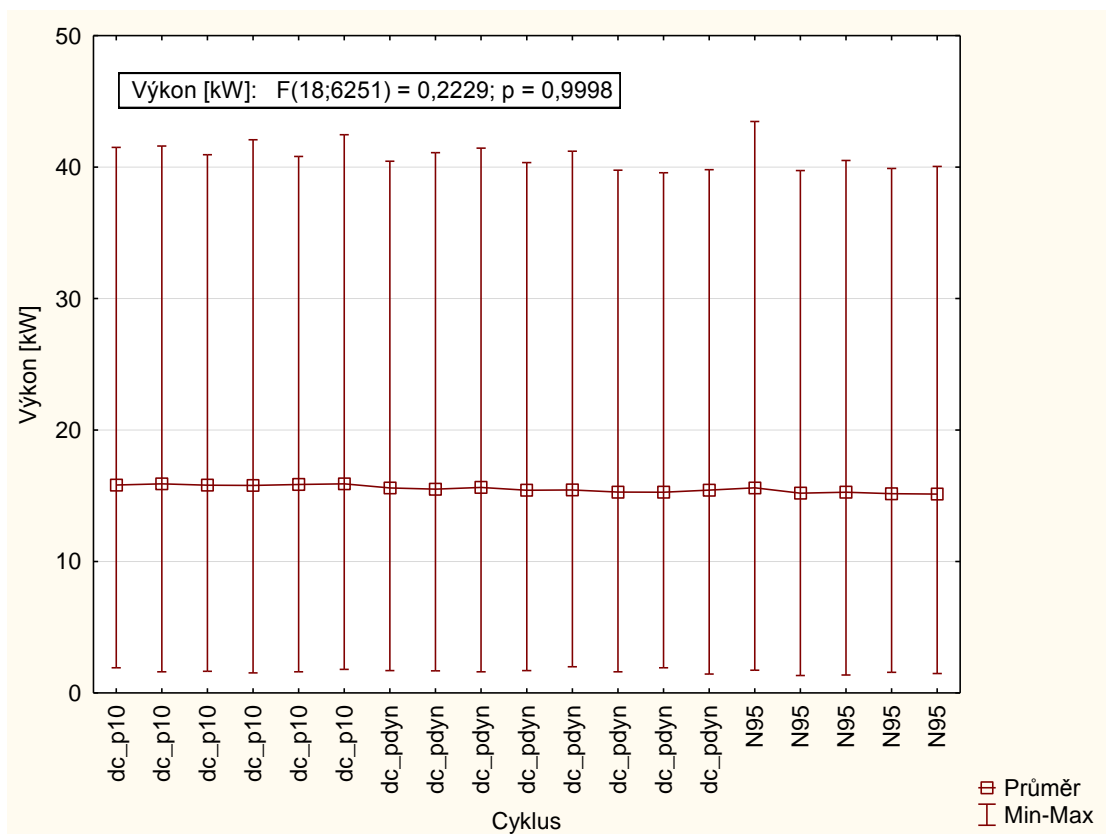
4.3.4 Dílčí závěr

Analýzou výsledků provedených experimentů lze dojít k závěru, že dynamickou změnou doby prodloužení vstřiků lze docílit (oproti konstantní hodnotě prodloužení):

- snížení spotřeby v řádu jednotek procent, čímž se potvrzuje hypotéza 1,
- snížení produkce CO zhruba o 70 procent,
- zhruba čtyřnásobné zvýšení produkce emisí NO_x,
- zhruba 50% pokles produkce pevných částic,

Hypotézu 2, nelze potvrdit, ani vyvrátit. Vliv na emise je evidentní, avšak nelze jednoznačně říci, jestli převažuje pozitivní efekt v podobě prokazatelně nižších emisí CO, poklesu produkce pevných částic nebo jestli převažuje negativní dopad zvýšení emisí NO_x.

Hypotézu 3 lze jednoznačně zamítnout, neboť podle dosažených výsledků se výkon téměř nezměnil (viz graf 33). Ke statistickému porovnání naměřených dat byl použit Anova F-test. Za nulovou hypotézu H_0 byl označen stav, kdy mezi jednotlivými porovnávanými soubory dat není z hlediska jejich středních hodnot statisticky významný rozdíl ($p > 0.05$). Z hlediska statistického testování vlivu rozdílného nastavení prodloužení doby vstřiku (dc_p10 a dc_pdyn) a složení paliva (E85 a N95) je možné konstatovat, že se jedná o statisticky homogenní skupiny. Hypotéza H_0 byla potvrzena, tj. není rozdílu ($p = 0,9998$) ve výkonu testovaného motoru v hladině významnosti 0,05 při použití paliva E85 (dc_p10 a dc_pdyn) a N95.



Graf 33: Vyhodnocení výkonu motoru

5. Závěr

Je zřejmé, že zájem o biopaliva bude v krátké budoucnosti z důvodu očekávaného nedostatku ropy na vzestupu. Jak pro Evropu, tak i pro Českou republiku jde o krok k nezávislosti na dovozu ropy většinou z nestabilních oblastí. Biopaliva zároveň znamenají ekonomickou příležitost pro zemědělskou činnost. Pomohou využít stovky hektarů půdy, které jinak leží ladem, ale také mohou zajistit domácí odbyt pro řepku olejnou, která se již dnes pěstuje pro výrobu MEŘO i u nás, ale bohužel nejčastěji se vyváží do Německa a Rakouska. Největším producentem kapalných biopaliv na světě je Brazílie. Významnou roli hrají tato paliva i v USA, které jsou automobilovou velmocí. S používáním těchto paliv jsou však spojeny některé problémy, jako je skladovatelnost a distribuce, které vyplývají obecně z požadavku na směsná biopaliva a to, že v přírodě se musí 90 % směsného biopaliva rozložit za dobu 21 dnů. [78]

Zvýšení spotřeby biopaliv staršími vozidly bude umožněno v okamžiku, kdy bude na trhu k dispozici homologované zařízení, pomocí kterého bude možno provozovat takovéto vozidlo v souladu s platnou legislativou. Důležitým faktorem bude také ekonomika provozu takto upravených vozidel.

Tato práce ukázala funkční způsob dodatečné úpravy zážehového spalovacího motoru, aby byl schopen efektivně spalovat palivo E85. V prvním návrhu PŘJ, kdy řízení otevírání vstřikovacích ventilů měl na starosti centrální procesor, muselo dojít z důvodu pomalého ovládání vstřikovacích ventilů ke změně konstrukce. Změna spočívala ve způsobu ovládání jednotlivých vstřikovacích ventilů, kdy každý vstřikovací ventil má vlastní procesor pro řízení jeho činnosti. Touto konstrukční změnou se podařilo navrhnout a vyrobit funkční PŘJ, která úspěšně absolvovala experiment v podobě provozu spalovacího motoru Škoda Fabia 1.2 HTP na biopalivo E85.

Provedené experimenty s konstantní dobou prodloužení prokázaly vliv nastavení hodnoty prodloužení doby vstřiku na výkonové a emisní parametry testovaného motoru. Díky variabilitě nastavení PŘJ bylo možné na základě analýzy výsledků experimentů stanovit optimální hodnotu prodloužení doby vstřiku s ohledem na adaptační schopnosti ŘJ motoru.

Naproti tomu provedené experimenty s dynamickou změnou prodloužení doby vstřiku prokázaly potenciál v možné úspoře paliva bez zásadního negativního vlivu na výkonové parametry motoru. Nezanedbatelný je i vliv na emise výfukových plynů, kdy bylo docíleno razantního snížení produkce emisí CO a snížení produkce pevných částic. Sice tato úprava měla za následek několikanásobné zvýšení produkce emisí NO_x, avšak při porovnání škodlivosti emisí pevných částic a CO vs. emise NO_x lze konstatovat, že převládá pozitivní efekt snížení produkce CO nad nárůstem produkce NO_x.

Otázka budoucnosti používání paliva E85 úzce souvisí s cenovou politikou. Situace se odvíjí od aktuálního poměru mezi cenou nejpoužívanějšího benzínu Natural 95 a palivem E85. Z provedených experimentů i ze studia relevantních zdrojů lze dojít jednoznačně k závěru, že při provozování vozidla na palivo E85 vždy dochází k nárůstu spotřeby paliva. Vliv mají nejen různé chemické vlastnosti paliva E85, kdy energetický obsah je nižší, než palivo Natural 95, ale také způsob dodatečné úpravy motoru a v neposlední řadě i jízdní styl.

Pokud srovnáme cenu obou paliv k dnešnímu dni (duben 2016), lze konstatovat, že investice do přestavby na palivo E85 se nevyplatí. Tento fakt dokládá i provedený experiment, který srovnává nejlepší výsledky při provozu na palivo E85 s dynamickou změnou doby otevření vstříků s výsledky dosažené při použití výrobcem doporučeného paliva Natural 95.

I přes negativní ekonomický dopad má smysl se touto problematikou dále zabývat a rozšířit oblast testování i na další motory a paliva. Ekonomický a ekologický efekt tohoto řešení je nezanedbatelný a určitě stojí za další zkoumání. Jak se ukázalo, je tato PŘJ díky svým vlastnostem (možnost širokého nastavení) vhodná nejen pro palivo E85, ale i pro další biopaliva (např. biobutanol).

Použité zdroje

- [1] European Commission, 2000: Green Paper - Towards a European strategy for the security of energy supply. Brussels. 29. 11. 2000
- [2] V. Pražák, *Motorová paliva – historie a současnost*, Česká rafinérská a.s. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z:
http://www.crc.cz/data/publications/motorova_paliva_historie_soucasnost.pdf
- [3] B. Remek, *Automobil a spalovací motor: historický vývoj*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 159 s. ISBN 978-80-247-3538-2
- [4] J. Hromádko, *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 158 s. ISBN 978-80-247-4455-1
- [5] *Ekoporadenský portál Ministerstva životního prostředí: Co jsou to biopaliva první a druhé generace? Jaký je mezi nimi rozdíl?* [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z:
<http://www.ekoporadny.cz/faq/co-jsou-to-biopaliva-prvni-a-druhe-generace-jaky-je-mezi-nimi-rozdil.htm>
- [6] F. Vlk, *Alternativní pohony motorových vozidel: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc., 2004, 234 s. ISBN 80-239-1602-5
- [7] N. Sarkar, S.K. Ghosh, S. Bannerjee, K. Aikat, *Bioethanol production from agricultural wastes: an overview*, *Renew Energy*, 37 (2012), pp. 19–27
- [8] A. Geng, F. Xin, J. Ip, *Ethanol production from horticultural waste treated by a modified organosolv method*, *Bioresour Technol*, 104 (2012), pp. 715–721

- [9] A. Limayem, S.C. Ricke, *Lignocellulosic biomass for bioethanol production: current perspectives, potential issues and future prospects*, Prog Energy Combust Sci, 38 (2012), pp. 449–467
- [10] J. Hromádko, P. Miler, V. Hönig, M. Cindr, *Technologie výroby biopaliv druhé generace*. Chemické listy 104 (2010), pp. 784–790
- [11] *Komodity, těžba ropy a vývoj cen ropy - ROPA.cz: Biopaliva třetí generace* [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: www.ropa.cz/zpravy/biopaliva-treti-generace/
- [12] V. Vaněk, *Obnovitelné zdroje: Biopaliva druhé a třetí generace*. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://3pol.cz/1258-biopaliva-druhe-a-tretigenerace>
- [13] A. Ganguly, P.K. Chatterjee, A. Dey, *Studies on ethanol production from water hyacinth—a review*, Renew Sustain Energy Rev, 16 (2012), pp. 966–972
- [14] *European Commission: White paper European transport policy for 2010: time to decide*. In *Comision of the European Communities*. Brusel. 12. 9. 2001 COM (2001) 370, pp. 117. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: http://www.central2013.eu/fileadmin/user_upload/Downloads/Document_Centre/OP_Resources/EU-transportpolicy2010_en.pdf
- [15] ČSN EN 590. *Motorová paliva. Motorové nafty. Technické požadavky a metody zkoušení*, Český normalizační institut, 1995
- [16] ČSN EN 228. *Motorová paliva – Bezolovnaté automobilové benziny – Technické požadavky a metody zkoušení*, Český normalizační institut, 2004
- [17] Zákon č. 180/2007 Sb , kterým se mění zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší), ve znění pozdějších předpisů. In: *částka 59/2007 Sb.* 2007. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=5150>

- [18] Zákon č. 86/2002 Sb. *o ochraně ovzduší a související předpisy*. In: Sbíрка zákonů České republiky, 2002
- [19] Evropská směrnice 2003/30/EC. *o podpoře užívání biopaliv nebo jiných obnovitelných pohonných hmot v dopravě*, 2003
- [20] Evropská směrnice 2009/28/EC. *o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů*, 2009
- [21] Evropská směrnice 2001/77/EC. *O podpoře elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie na vnitřním trhu s elektřinou*, 2001
- [22] Evropská směrnice 2003/30/EC. *O podpoře užívání biopaliv nebo jiných obnovitelných pohonných hmot v dopravě*, 2003
- [23] Evropská směrnice 2009/30/ES. *Směrnice, kterou se mění směrnice 98/70/ES*, 2009
- [24] Zákon č. 91/2011 Sb.. *Zákon, kterým se mění zákon č. 311/2006 Sb.*. In: Sbíрка zákonů České republiky, 2011
- [25] Zákon č. 201/2011 Sb.. *Zákon o ochraně ovzduší*. In: Sbíрка zákonů České republiky, 2011
- [26] Nařízení vlády č. 446/2011 Sb. *O kritériích udržitelnosti biopaliv*. In: Sbíрка zákonů České republiky, 2012
- [27] Předpis č. 351/2012 Sb.. *Nařízení vlády o kritériích udržitelnosti biopaliv*. In: Sbíрка zákonů České republiky, 2012
- [28] ČAPPO: *Zhodnocení používání biopaliv v dopravě v České republice k 31. 5. 2013* [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://www.cappo.cz/res/data/000114.pdf>

- [29] R. Špaček, Berman Group, *Legislativní Rámec A Praxe V Oblasti Biopaliv V Eu A Usa* [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: :
http://www.osel.cz/_files/6688_biopaliva%20v%20eu%20a%20usa.pdf
- [30] *Význam biopaliv - Biopaliva: Biomethanol - Biopaliva*. Význam biopaliv – Biopaliva [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z:
<http://biopaliva.webgarden.cz/rubriky/alkoholy/biomethanol>
- [31] S. R. Andrietta et al., *Study of flocculent yeast performance in tower reactors for bioethanol production in a continuous fermentation process with no cell recycling*, *Bioresource Technology*, 99 (2008), pp. 3002–3008
- [32] J. Hromádka a kol., *Podpora a využívání biopaliv ve Švédském království*, *Listy cukrovarnické a řepářské*, 126 (2010), pp. 110-112
- [33] G. M. Bohlmann, *Process economic considerations for production of ethanol from biomass feedstocks*, *Industrial Biotechnology*, 2 (2006), pp. 14–20
- [34] K. Karimi, G. Emtiazi, M. J. Taherzadeh, *Ethanol production from dilute-acid pretreated rice straw by simultaneous saccharification and fermentation with *Mucor indicus*, *Rhizopus oryzae*, and *Saccharomyces cerevisiae**, *Enzyme and Microbial Technology*, 40 (2006), pp. 138–144
- [35] M. Pospíšil, G. Šebor, P. Šimáček, Z. Mužíková, *Nové trendy výroby biopaliv a jejich využití v dopravě*, *Chem. Listy* 106, 953-960 (2012)
- [36] E. Gnansounou, *Production and use of lignocellulosic bioethanol in Europe: Current situation and perspectives*. *Bioresource Tech.*, 101(13), 2010, pp. 4842–4850
- [37] *Enviwiki: Biobutanol – Enviwiki* [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z:
<http://www.enviwiki.cz/wiki/Biobutanol>

- [38] *Biom.cz: Václav Sladký : Biobutanol – vhodnější náhrada benzínu* [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z:
<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biobutanol-vhodnejsi-nahrada-benzinu>
- [39] Z. Mužíková, J. Káňa, M. Pospíšil, G. Šebor: *Fyzikálně-chemické vlastnosti butanol-benzinových směsí*, Chem. Listy 106, 1049-1053 (2012)
- [40] Ústav technologie ropy a petrochemie VŠCHT. *Biom.cz: Biobutanol jako pohonná hmota v dopravě* [online]. 2008 [cit. 2014-06-02]. Dostupné z:
<http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/biobutanol-jako-pohonn-hmota-v-doprav.pdf>
- [41] C. Tadeu, Cordeiro de Melo et al. *Hydrous ethanol–gasoline blends – Combustion and emission investigations on a Flex–Fuel engine*, Fuel, 97 (2012), pp. 796–804
- [42] J. Čupera, A. Polcar. *Výkonové parametry zážehového motoru při spalování paliva E85.*, Listy cukrovarnické a řepařské 127 (2011), pp. 357–360
- [43] A. Polcar, J. Čupera, P. Sedlák, *Emise při spalování paliva E85.*, Listy cukrovarnické a řepařské 130 (2014), pp. 149-153
- [44] M. Vojtíšek, M. Mazač, J. Laurin, *Výfukové škodliviny konstrukčně neupraveného motoru na bioetanolové palivo E-85*, Listy cukrovarnické a řepařské 128 (2012), pp. 146-150
- [45] L. De Simio, M. Gambino, S. Iannaccone, *Effect of Ethanol Content on Thermal Efficiency of a Spark-Ignition Light-Duty Engine*, ISRN Renewable Energy, 2012 (2012), 8 pages

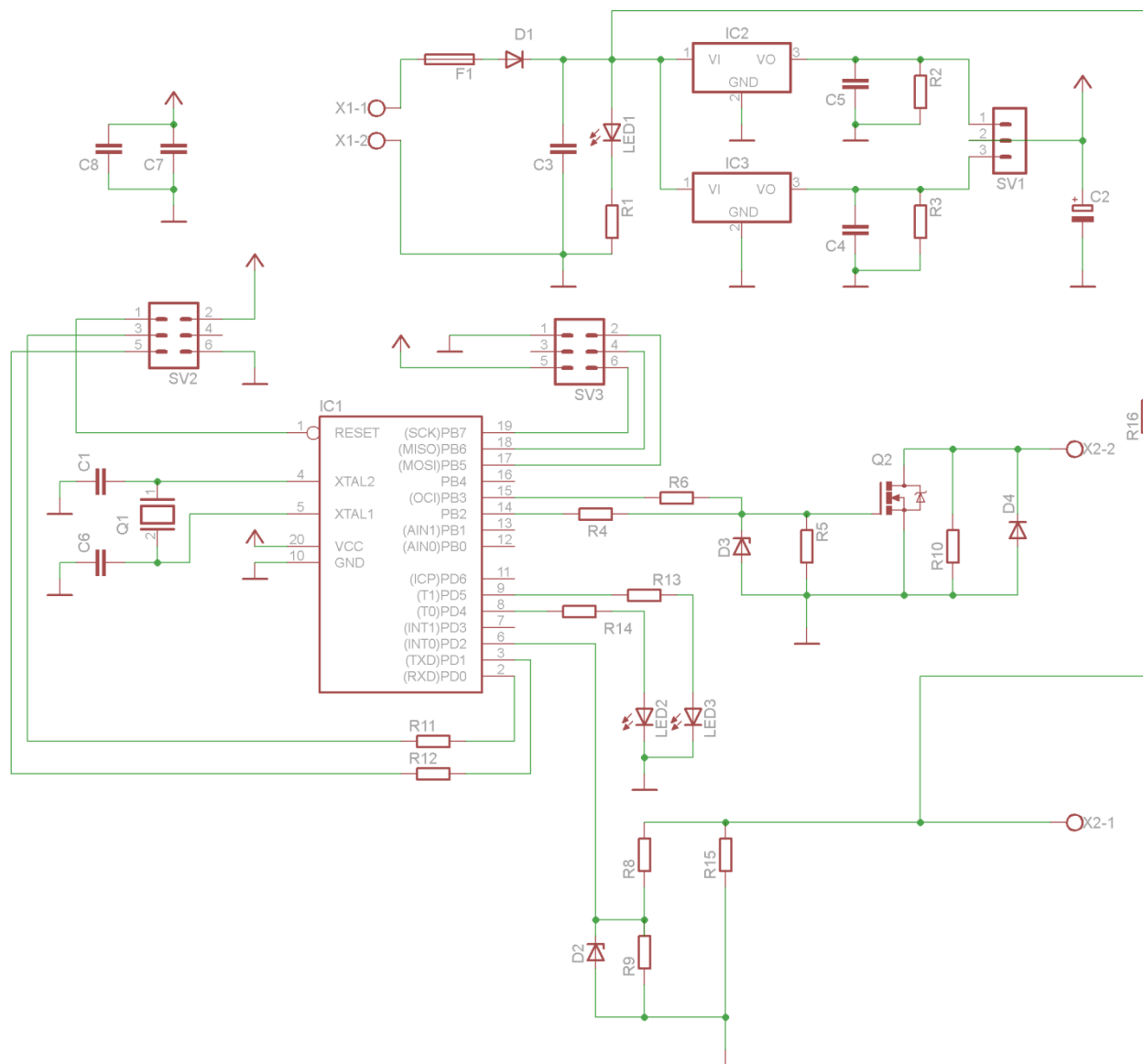
- [46] Z. Halbo, M.R. Nagui, A.G. Goncalo, L.F. Tiago, *Comparison of Flexible Fuel Vehicle and Life-Cycle Fuel Consumption and Emissions of Selected Pollutants and Greenhouse Gases for Ethanol 85 Versus Gasoline*, (2009), Air and Waste Management Association ISSN:1047-3289
- [47] A. Boretti, *Towards 40% efficiency with BMEP exceeding 30 bar in directly injected, turbocharged, spark ignition ethanol engines*, *Energy Conversion and Management*, 57 (2012), pp. 154–166
- [48] N. Türköz et al. *Experimental investigation of the effect of E85 on engine performance and emissions under various ignition timings*, *Fuel*, 115 (2014), pp. 826–832
- [49] R. C. Costa , J. R. Sodr , *Compression ratio effects on an ethanol/gasoline fuelled engine performance*, *Applied Thermal Engineering*, 31 (2011), pp. 278–283
- [50] J. Boyle, B. Chamberalan, C. Henrich, T. Howe, J. Johnson, B. Jones, *E85 1999 Chevrolet Silverado: A Conversion by Minnesota State University for the “1999 Ethanol Vehicle Challenge”*, SAE Tech Paper 2000-01-0591, (2000)
- [51] M. Brunocilla, F. Lepsch, *Influence of Hot Fuel Injection on Air/Fuel Mixture Preparation and Effects on Flex Fuel Engines*, SAE Tech Paper 2006-01-2619, (2006)
- [52] E.L. Sbragia, A.O. Costoya, J.V. Pozzani, R.T.G. Guilherme, F.J. Cardoso, *Application of an Auxiliary Cold-Start System Without Gasoline for a Flexible Fuel Vehicle Assigned to the Brazilian Market*, SAE Tech Paper 2010-36-0092, (2010)
- [53] M. Pontoppidan, G. Montanari, F. Damasceno, *Analysis of the Physical Boundary Conditions for the Layout of an Optimized Ethanol Low-temperature Mixture Preparation Device*, SAE Tech Paper 2009-01-0618, (2009)
- [54] D. Kabasin, J. Kazour, R. Lamers, *Heated injectors for ethanol cold starts*, *J. Fuels Lubricants*, 2 (2009), pp. 172–179

- [55] J. Short, J. Kazour, M. Cavotta, *Thermal Modeling for Heated Tip Injectors*, SAE Tech Paper 2010-01-1264, (2010)
- [56] T. Kotek, M. Kotek, P. Jindra, M. Pexa, *Determination of the optimal injection time for adaptation SI engine on E85 fuel using self-designed auxiliary control unit*. Agronomy Research, 2015, roč. 13, č. 2, s. 577-583. ISSN: 1406-894X
- [57] J. Čedík, M. Pexa, M. Kotek, J. Hromádko, *Effect of E85 Fuel on Performance Parameters, Fuel Consumption and Engine Efficiency – Škoda Fabia 1.2 HTP*. Agronomy Research, 2014, roč. 12, č. 2, s. 307-314. ISSN: 1406-894X
- [58] A. Elfasakhany, *Investigations on the effects of ethanol–methanol–gasoline blends in a spark-ignition engine: Performance and emissions analysis*, Engineering Science and Technology, an International Journal, 18 (2015) pp. 713-719
- [59] M. Kotek, *Návrh metody provozního měření emisí motorových vozidel*, Praha, 2012. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Katedra vozidel a pozemní dopravy
- [60] A. Irimescu, *Performance and fuel conversion efficiency of a spark ignition engine fuelled with iso-butanol*, Applied Energy, 96 (2012), pp. 477–483
- [61] Y. Zhuang, G. Hong, *Primary investigation to leverage effect of using ethanol fuel on reducing gasoline fuel consumption*, Fuel, 105 (2013), pp. 425–31
- [62] MA. Ceviz, F. Yuksel, *Effects of ethanol–unleaded gasoline blends on cyclic variability and emissions in an SI engine*, Appl Therm Eng, 25 (2005), pp. 917–25
- [63] HH. Yang, TC. Li, CF. Chang, E. Lee, *Effects of ethanol-blended gasoline on emissions of regulated air pollutants and carbonyls from motorcycles*, Appl Energy, 89 (2012), pp. 281–6

- [64] TC. Melo, GB. Machado, CRP. Belchior, MJ. Colaço, JEM. Barros, EJ. Oliveira et al., *Hydrous ethanol–gasoline blends–combustion and emission investigation on a Flex-Fuel engine*, Fuel, 97 (2012), pp. 796–804
- [65] M. Ghazikhani, M. Hatami, B. Safari, DD. Ganji, *Experimental investigation of performance improving and emissions reducing in a two stroke SI engine by using ethanol additives*, Propuls Power Res, 2 (2013), pp. 276–83
- [66] A. Kyriakides, V. Dimas, E. Lymperopoulou, D. Karonis, E. LoisE, *Evaluation of gasoline ethanol–water ternary mixtures used as a fuel for an Otto engine*, Fuel, 108 (2013), pp. 208–15
- [67] G. Karavalakis, D. Short, D. Vu, M. Villela, A. Asa-Awuku, TD. Durbin, *Evaluating the regulated emissions, air toxics, ultrafine particles and black carbon from SI-PFI and SI-DI vehicles operating on different ethanol and iso-butanol blends*, Fuel, 128 (2014), pp. 410–21
- [68] I. Schifter, L. Diaz, R. Rodriguez, JP. Gomez, U. Gonzalez, *Combustion and emissions behavior for ethanol–gasoline blends in a single cylinder engine*, Fuel, 90 (2011), pp. 3586–92
- [69] G. Najafi, B. Ghobadian, T. Tavakoli, DR. Buttsworth, TF. Yusaf, M. Faizollahnejad, *Performance and exhaust emissions of a gasoline engine with ethanol blended gasoline fuels using artificial neural network*, Appl Energy, 86 (2009), pp. 630–9
- [70] Ozsezen AN, Canakci M., *Performance and combustion characteristics of alcohol–gasoline blends at wide-open throttle*, Energy, 36 (2011), pp. 2747–52
- [71] MB. Celik, *Experimental determination of suitable ethanol–gasoline blend rate at high compression ratio for gasoline engine*, Appl Therm Eng, 28 (2008), pp. 396–404

- [72] RH. Chen, LB. Chiang, MH. Wu, TH. Lin, *Gasoline displacement and NO_x reduction in an SI engine by aqueous alcohol injection*, Fuel, 89 (2010), pp. 604–10
- [73] SH. Yoon, CS. Lee, *Effect of undiluted bioethanol on combustion and emissions reduction in a SI engine at various charge air conditions*, Fuel, 97 (2012), pp. 887–90
- [74] MK. Balki, C. Sayin, M. Canakci, *The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine*, Fuel, 115 (2014), pp. 901–6
- [75] MK. Balki, C. Sayin, *The effect of compression ratio on the performance, emissions and combustion of an SI(sparkignition) engine fueled with pure ethanol, methanol and unleaded gasoline*, Energy, 71 (2014), pp. 194–201
- [76] HS. Yucesu, T. Topgu, C. Cinar, M. Okur, *Effect of ethanol–gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in different compression ratios*, Appl Therm Eng, 26 (2006), pp. 2272–8
- [77] M. Koç, Y. Sekmen, T. Topgul, HS. Yucesu, *The effects of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition engine*, Renew Energy, 34 (2009), pp. 2101–6
- [78] *Biopaliva* [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://biopaliva.webgarden.cz/rubriky/biopaliva>

Příloha 1 – Schéma PŘJ



Příloha 2 – Schéma Datalab

	GND	COM	RTD-	RTD+	GND	COM	RTD-	RTD+	GND	COM	RTD-	RTD+	GND	COM	RTD-	RTD+	OUT1C	OUT1E	IN3H+	IN1H+	IN3L+	IN3-	IN1L+	IN1-	OUT0C	OUT0E	IN2H+	IN0H+	IN2L+	IN2-	IN0L+	IN0-	
	⊕	⊕	⊖	⊕	⊕	⊕	⊖	⊕	⊕	⊕	⊖	⊕	⊕	⊕	⊖	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕		
	RTD3				RTD2				RTD1				RTD0				cnt0																
RTD1 TEPLOTY																	CNT1 ČÍTAČE																
DATALAB HTP																																	
AIO1																	AI3																
VÝSTUPY																	VSTUPY																
																	mA																
ao0	ao1	ao2	ao3	air8	air9	air10	air11	air0	air1	air2	air3	air4	air5	air6	air7																		
⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕																		
+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-																		
6*SIG-L-0.365V-idle-2.256V-full	4*SIG-H-0.735V-idle-4.568V-full	Ovládání přídatné jednotky vstříků				buzení dynamometr				lambda sonda				podtlak v sání				otáčky dynamometru				moment dynamometru				Teplota motoru (voda)				Teplota výfuku			