

Obsah

ÚVOD	1
1. VĚDECKÉ HYPOTÉZY A CÍLE PRÁCE	1
2. MATERIÁLY A METODY	2
2.1 METODIKA NÁVRHU A KONSTRUKCE PŘJ.....	2
2.2 METODIKA TESTOVÁNÍ FUNKČNOSTI PŘJ.....	2
2.3 METODIKA OPTIMALIZACE NASTAVENÍ PŘJ.....	7
2.4 METODIKA ZPRACOVÁNÍ DAT.....	7
3. VÝSLEDKY A DISKUZE	7
3.1 NÁVRH A VÝROBA PŘJ.....	7
3.1.1 <i>První verze PŘJ</i>	7
3.1.2 <i>Druhá verze PŘJ</i>	8
3.1.3 <i>Dílčí závěr</i>	10
3.2 TESTOVÁNÍ FUNKČNOSTI PŘJ.....	10
3.2.1 <i>Sumární zhodnocení statického prodloužení doby vstřiku</i>	10
3.2.2 <i>Dílčí závěr</i>	11
3.3 OPTIMALIZACE NASTAVENÍ PŘJ.....	12
3.3.1 <i>Degresivní varianta</i>	13
3.3.2 <i>Porovnání provozu na E85 vs. N95</i>	15
3.3.3 <i>Dílčí závěr</i>	17
4. ZÁVĚR	18
POUŽITÉ ZDROJE	20
SEZNAM PUBLIKACÍ A KONFERENCÍ	21
ABSTRACT	22

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. 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 vysokoprocentní směsná biopaliva. Funkce PŘJ bude spočívat ve schopnosti prodloužit dobu otevření vstříkovacích 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 vstříku.

- 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

2. Materiály a metody

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

2.1 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.

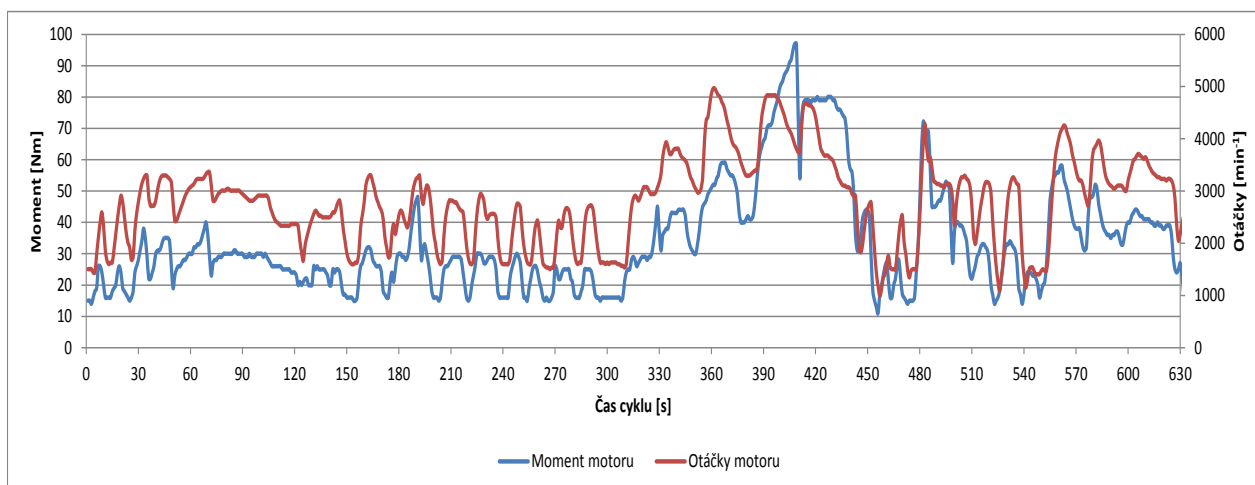
2.2 Metodika testování funkčnosti PŘJ

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. 1. 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. Testovaný motor bude zatěžován podle speciálně navrženého dynamického jízdního cyklu.

Jízdní cyklus (graf 1) 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 1: Průběh točivého momentu a otáček v navrženém jízdním cyklu

Tab. 1: Parametry měřeného motoru

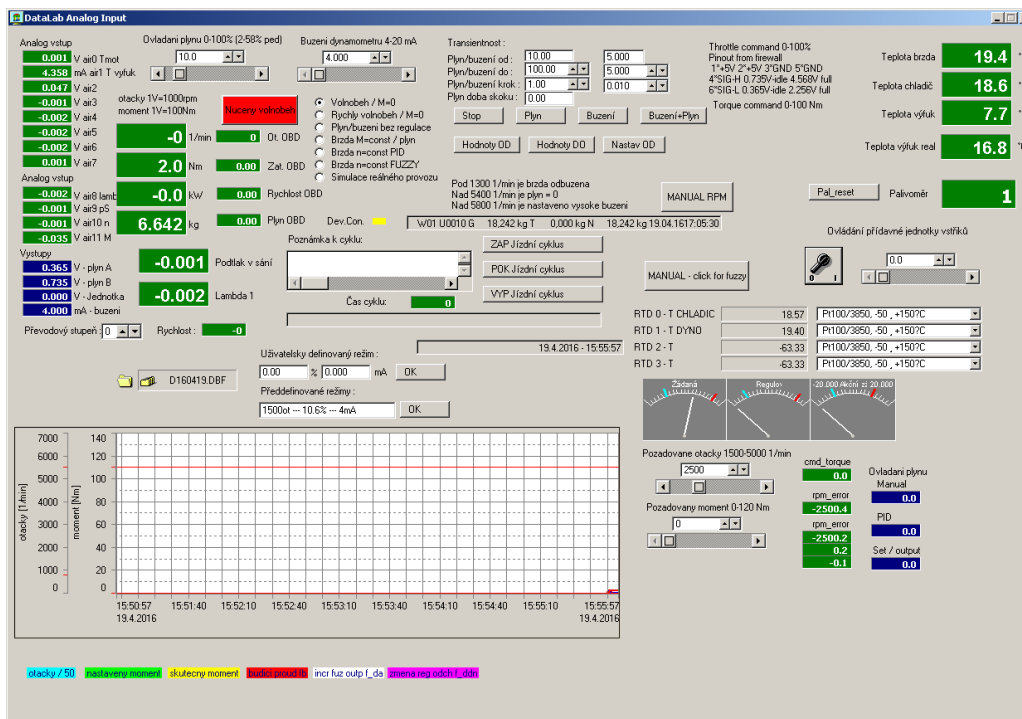
kód motoru	AWY (BRD)
konstrukce	3-válcový řadový motor, 2 ventily na válec
Obsah	1198 cm ³
Vrtání	76,5 mm
Zdvih	86,9 mm
kompresní poměr	10,3 : 1
max. výkon	40 kW při 4750 min ⁻¹
max. kroutící moment	106 Nm při 3000 min ⁻¹
řídící jednotka motoru	Simos 3PD (vícebodové vstřikování)
předepsané palivo	bezolovnatý benzin s okt. č. 95
emisní norma	EU4

Zkoušený motor bude během měření zatěžován vířivým dynamometrem, kde bude snímán točivý moment a otáčky motoru. Technické údaje vířivého dynamometru jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2: 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. 1.



Obr. 1: Ovládací prostředí brzdového stanoviště

Hlavní činností aplikace je nastavování brzdného momentu dynamometru a ovládání polohy škrticí 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, pomocí kterého budou snímány a průběžně ukládány významné provozní parametry motoru (otáčky motoru, zatížení, průměrná doba vstřiku a další).

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. 2).



Obr. 2: Osciloskop Autoskop II

K měření emisí bude k dispozici speciální mobilní pětisložkový analyzátor VMK, zkonstruovaný speciálně pro měření emisí v reálném provozu. Technické parametry tohoto analyzátoru jsou uvedeny v tabulce 3. Pomocí analyzátoru VMK je možno průběžně vyhodnocovat a ukládat hodnoty emisí CO, CO₂, HC, O₂ a NO_x s frekvencí 1 Hz.

Tab. 3: 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, jehož technické parametry jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 4: 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. 5.

Tab. 5: Technické parametry částicového analyzátoru EEPS TSI3090

Rozsah velikostních spekter	5,6 - 560 nm
Rozlišení	16 kanálů
Počet elektrometrických kanálů	22
Frekvence snímání	10 velikostních spekter ·
Průtok vzorku	10 l · min ⁻¹
Pracovní podmínky	
Teplota vzorku	10 - 52 °C
Provozní teplota	0 - 40 °C
Skladovací teplota	-20 - 50 °C
Atmosférický tlak	70 - 103 kPa
Vlhkost	0 - 90 % rel.

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 a sériovým rozhraním pro připojení k záznamovému zařízení.

Technické parametry vážicího zařízení jsou uvedeny v následující tabulce 6.

Tab. 6: Technické parametry vážicího zařízení

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

2.3 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 2.2. 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.

2.4 Metodika zpracování dat

Velmi důležitou kapitolou bude sběr a vyhodnocení dat, získaných ze všech měřicích zařízení. Pro vyhodnocení naměřených dat bude nutné všechna data synchronizovat, což bude značně komplikované, neboť každé měřicí 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 měřicího přístroje a ten je teprve vyhodnotí a výsledek zaznamená.

Synchronizace dat je založena na stejné časové základně, což předpokládá správně nastavený čas na všech měřicích zařízeních.

3. 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.

3.1 Návrh a výroba PŘJ

Podle metodiky uvedené v kapitole 2.1 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.

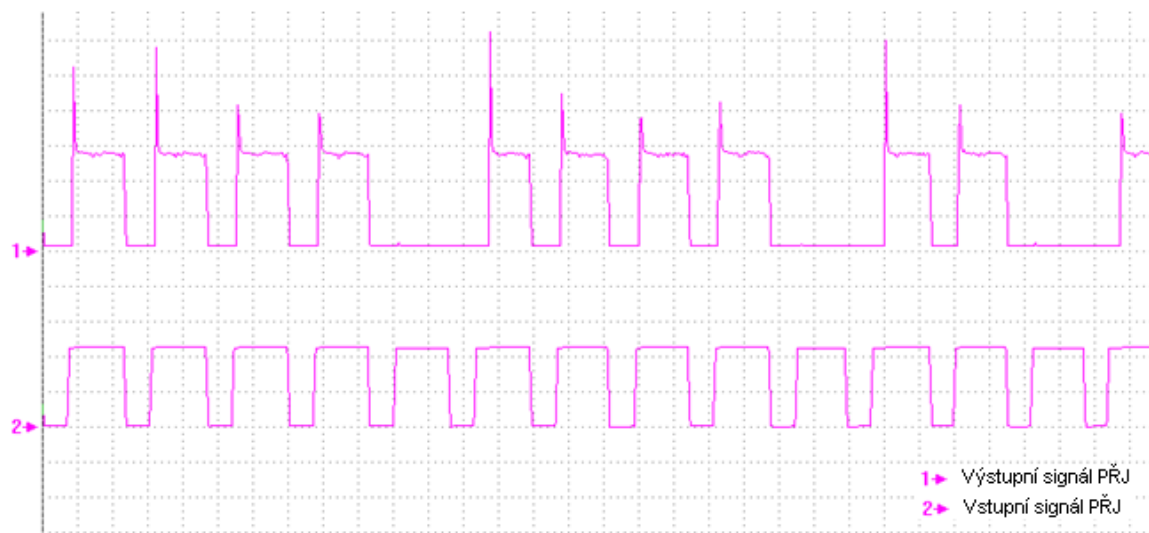
3.1.1 První verze PŘJ

První verze PŘJ (obr. 3) 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.



Obr. 3: První verze PŘJ

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. 4: Záznam z osciloskopu – poruchový stav

Na obrázku 4 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.

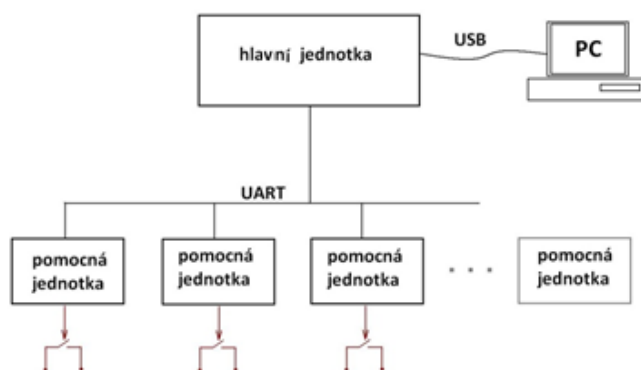
Z výše popsaných důvodů bylo rozhodnuto, že původní řešení v podobě jednoho centrálního procesoru je nutné opustit.

3.1.2 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.

Výsledkem byla druhá verze PŘJ, která se skládá s hlavního procesoru a pomocných jednotek (obr. 5). Hlavní procesor komunikuje s PC a nastavuje pomocné jednotky. Pomocná jednotka obsahuje procesor a výkonový transistor pro řízení sepnutí vstřikovacího ventilu. Pomocné jednotky po přijmutí příkazu začnou detekovat příchozí 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.

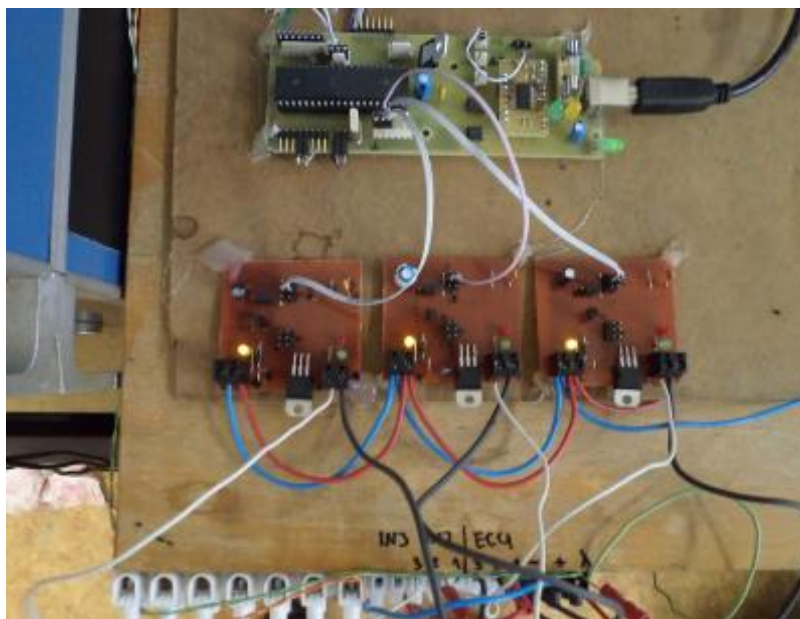
Pomocná jednotka se skládá s mikroprocesoru ATtiny2313 a podpůrných součástek, zejména přepěťových ochran, spínání zajišťuje tranzistor IRL540N. Výše uvedený systém je koncipován jako vývojové zařízení s vysokou modularitou. Je tedy možné jeho další rozšíření o výkonové nebo měřicí moduly, které budou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



Obr. 5: Funkční schéma PŘJ

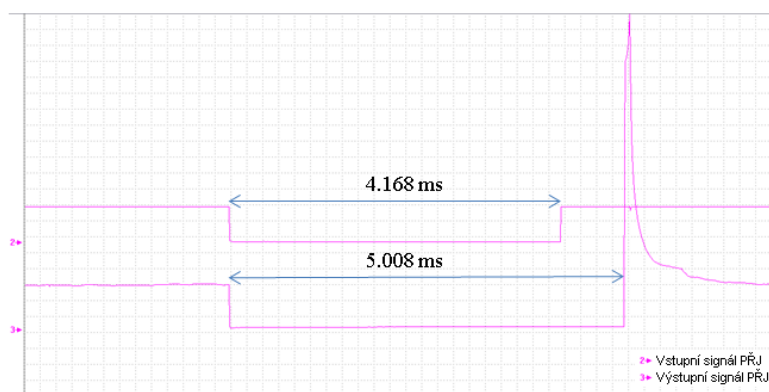
Pro tuto PŘJ byl dále vyvinut ovládací software pro programovou změnu prodloužení doby vstříku a zároveň datalogging vstupů a výstupů PŘJ sloužící pro kontrolu funkčnosti jednotky. Aplikace umožňuje nastavení konstantní doby prodloužení doby stříků volbou požadované hodnoty (v rozmezí 0 až 35 %) nebo režim „Automat“, kdy je hodnota doby prodloužení závislá na vstupní proměnné.

Druhá verze PŘJ (obr. 6) pak byla úspěšně využita pro měření v rámci grantu s názvem „Vývoj přídavné řídicí jednotky zážehového motoru pro optimalizaci provozu na bioetanol“.



Obr. 6: Druhá verze přídavné 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. 7, 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. 7: Oscilogram PŘJ při prodloužení 20 %

3.1.3 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.

3.2 Testování funkčnosti PŘJ

Praktické testování probíhalo podle metodiky uvedené v kapitole 2.2. 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.

3.2.1 Sumární zhodnocení statického prodloužení doby vstřiku

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

Z tab. 7 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. 7: 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.

3.2.2 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 [2], kde pro optimalizaci chodu motoru na směsná biopaliva byla doba vstřiku prodlužována 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).

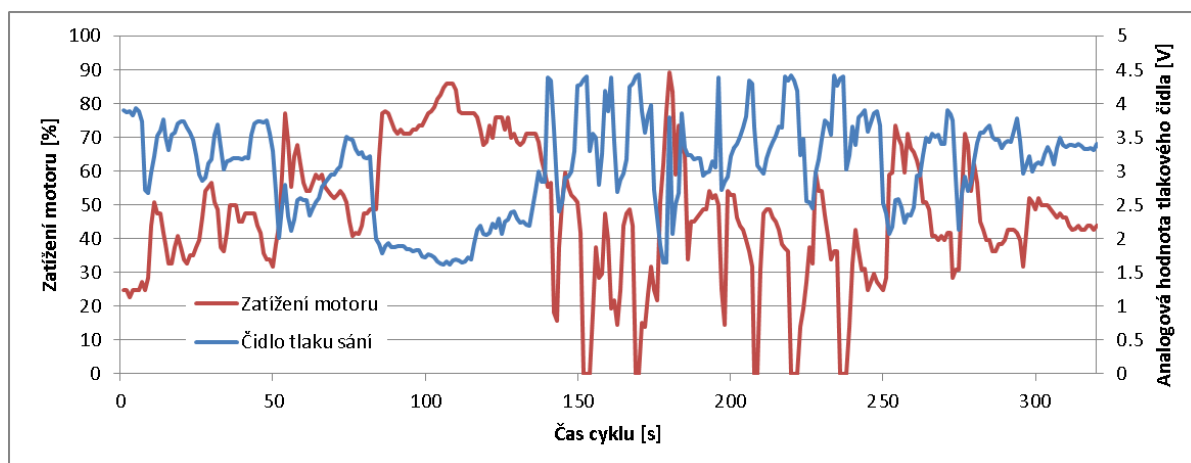
Z naměřených hodnot lze určit optimální interval prodloužení doby vstřiku. Tento interval lze stanovit, jako krajní hodnoty měření, u kterých nedocházelo k záznamu chyby ŘJ v podobě nesprávného složení směsi. V tomto případě lze za krajní hodnoty intervalu označit 5% prodloužení jako minimální hodnotu,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

3.3 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.

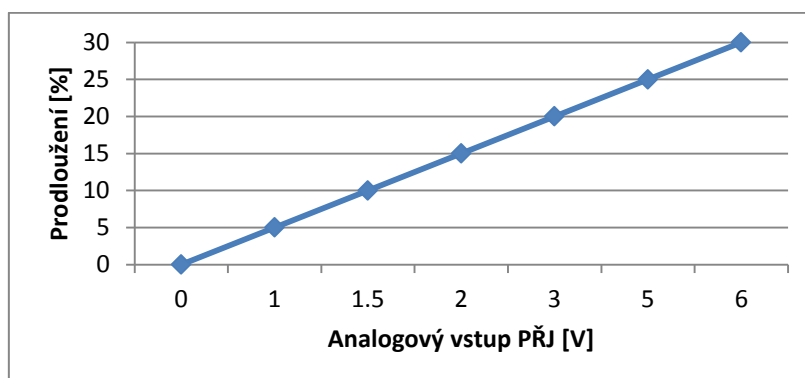
První fází byla analýza naměřených hodnot tohoto čidla při provozu motoru v předchozích experimentech s cílem stanovit mezní hodnoty v závislosti na zatížení motoru. Jak je patrné z grafu 2, analogová hodnota tlaku sání je nepřímo úměrná zatížení motoru a během testovacího cyklu dosahuje hodnot v rozmezí 1.6 V (zatížený motor) až 4.4 V (nezatížený motor).



Graf 2: 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 3.



Graf 3: Závislost analogového vstupu PŘJ a prodloužení doby vstřiku

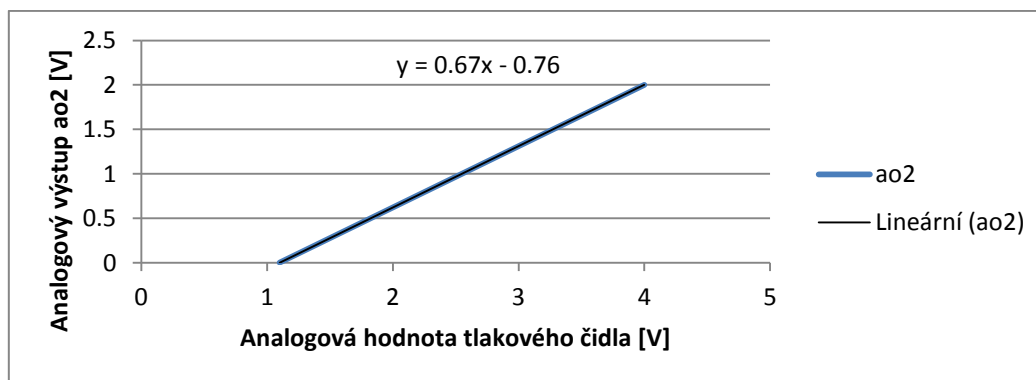
Pro možnost regulace pomocí PŘJ bylo nutné stanovit závislost mezi hodnotou tlaku v sání motoru (požadavek na výkon) a vstupním parametrem pro PŘJ, na základě které PŘJ nastaví hodnotu požadovaného prodloužení. Pro splnění tohoto cíle byly stanoveny dvě varianty, které byly následně otestovány.

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.

3.3.1 Degresivní varianta

PŘJ byla nastavena podle závislosti uvedené v grafu 4. Tento graf zobrazuje závislost řídicí veličiny ao2 na analogové hodnotě z tlakového čidla.



Graf 4: Degresivní závislost napěťové 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.

Finální experimenty probíhaly s hodnotami nastavenými pomocí následujícího vztahu:

$$a_{o_2} = 0,67 \cdot air9 - 0,85 \quad (1)$$

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 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 1).

V následující tabulce 8 jsou zobrazeny souhrnné výsledky s dynamickou změnou vstřiku nastavenou podle vzorce (1).

Tab. 8: Souhrnné výsledky s dynamickým prodloužením

Prodloužení	Hodnoty emisí za celý jízdní cyklus (330 s)				Prům.	Prům.	Prům.	Prům.	Spotřeba paliva [kg]
	CO[g]	CO ₂ [g]	NO _x [g]	HC[g]	výkon [kW]	moment [Nm]	otáčky [min ⁻¹]	doba vstřiku [ms]	
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. 9: Porovnání souhrnných výsledků pdyn a p10

Prodloužení	Hodnoty emisí za celý jízdní cyklus (330 s)				Prům.	Prům.	Prům.	Prům.	Spotřeba
	CO[g]	CO ₂ [g]	NO _x [g]	HC[g]	výkon [kW]	moment [Nm]	otáčky [min ⁻¹]	doba vstřiku [ms]	paliva [kg]
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 1 je tedy považován za optimální variantu pro nastavení dynamické změny doby vstřiku.

3.3.2 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.

3.3.2.1 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 provedeném experimentu na palivo E85. Souhrnné výsledky po absolvování testovacího cyklu na palivo Natural 95 jsou v následující tabulce 10.

Tab. 10: Souhrnné výsledky při provozu motoru na N95

Prodloužení	Hodnoty emisí za celý jízdní cyklus (330 s)				Prům.	Prům.	Prům.	Prům.	Spotřeba
	CO[g]	CO ₂ [g]	NO _x [g]	HC[g]	výkon [kW]	moment [Nm]	otáčky [min ⁻¹]	doba vstřiku [ms]	paliva [kg]
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 11.

Tab. 11: Srovnání průměrných hodnot p10, pdyn a N95

Prodloužení	Hodnoty emisí za celý jízdní cyklus (330 s)				Prům.	Prům.	Prům.	Prům.	Spotřeba
	CO[g]	CO ₂ [g]	NO _x [g]	HC[g]	výkon [kW]	moment [Nm]	otáčky [min ⁻¹]	doba vstřiku [ms]	paliva [kg]
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. 11 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. 11 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. [3], většinou se však lze setkat se snížením o více jak 30 % [4, 5, 6]. Několik autorů publikuje výsledky se snížením až přes 50 % [7, 8].

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 % [9, 10, 11, 12]. Naopak mírné snížení produkce CO₂ uvádí např. [13, 14, 15, 16]

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 [4, 21]. Naopak řada publikací uvádí pokles produkce NO_x, zejména při použití nízkoprocentních etanolových směsí. [3, 8, 17]

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 [3, 18], tak nepatrné snížení výkonu [8].

Jak ukazují výsledné hodnoty spotřeby paliva (tab. 11), 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 bylo dosaženo 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 [3, 5, 19] a až v řádu desítek procent u vysokoprocentních směsí [6, 20].

3.3.2.2 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 12 ukazuje přepočítanou cenu spotřebovaného paliva pro absolvování jednoho jízdního cyklu.

Tab. 12: 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.

3.3.3 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 5). Ke statistickému porovnání naměřených dat byl použit Anova F-test. Za nulovou hypotézu H₀ 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 H₀ 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.

Naproti tomu provedené experimenty s dynamickou změnou prodloužení doby vstříku 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] A. Irimescu, *Performance and fuel conversion efficiency of a spark ignition engine fuelled with iso-butanol*, Applied Energy, 96 (2012), pp. 477–483
- [3] Ozsezen AN, Canakci M., *Performance and combustion characteristics of alcohol–gasoline blends at wide-open throttle*, Energy, 36 (2011), pp. 2747–52
- [4] 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
- [5] 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
- [6] 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
- [7] 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
- [8] 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
- [9] Y. Zhuang, G. Hong, *Primaryinvestigationtoleveragingeffectofusingethanol fuel onreducing gasoline fuel consumption*, Fuel, 105 (2013), pp. 425–31
- [10] 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
- [11] HH. Yang, TC. Li, CF. Chang, E. Lee, *Effectsofethanol-blended gasolineon emissions of regulated air pollutants and carbonyls from motorcycles*, Appl Energy, 89 (2012), pp. 281–6
- [12] 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
- [13] 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
- [14] 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

- [15] A. Kyriakides, V. Dimas, E. Lympelopoulou, D. Karonis, E. Lois, *Evaluation of gasoline ethanol–water ternary mixtures used as a fuel for an Otto engine*, *Fuel*, 108 (2013), pp. 208–15
- [16] 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
- [17] RH. Chen, LB. Chiang, MH. Wu, TH. Lin, *Gasoline displacement and NOx reduction in an SI engine by aqueous alcohol injection*, *Fuel*, 89 (2010), pp. 604–10
- [18] 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
- [19] 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
- [20] 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
- [21] 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
- [22] *Biopaliva* [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://biopaliva.webgarden.cz/rubriky/biopaliva>

Seznam publikací a konferencí

- KOTEK, T. – KOTEK, M. – JINDRA, P. – PEXA, M. 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.
- KOTEK, M. – HROMÁDKO, J. – MILER, P. – KOTEK, T. – PLUHAŘ, K. Aplikace paliva E85 v motoru 1.2 HTP. *Listy cukrovarnické a řepařské*, 2013, roč. 129, č. 7, s. 258-261. ISSN: 1210-3306.
- KOTEK T., JINDRA P., PEXA M., KOTEK M., PAVLŮ J.: Adaptace řídicí jednotky motoru při provozu na palivo E85, *Kvalita a spolehlivost technických systémů*, 2015
- ČEDÍK J., PEXA M., MAŘÍK J., PAVLŮ J., KOTEK T., MAŠEK T.: Porovnání energetické náročnosti mulčovače v závislosti na opotřebením řezného nástroje, *Kvalita a spolehlivost technických systémů*, 2015
- ČEDÍK J., PEXA M., MAŘÍK J., KOTEK T., VESELÁ K., PAVLŮ J.: Porovnání metod měření spotřeby paliva spalovacího motoru při dynamickém zatěžování, *Kvalita a spolehlivost technických systémů*, 2014
- KOTEK T., PEXA M., KRÁLÍK P., RAYMAN M., VESELÁ K., MAŘÍK J.: Vliv paliva na výkonové parametry motoru se vstřikovacím systémem Common Rail, *Kvalita a spolehlivost technických systémů*, 2013

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