



**Posouzení vlivu etanolu na tepelnou bilanci zážehového motoru**

Diplomová práce

*Vedoucí práce:*  
doc. Ing. Pavel Sedlák, CSc.

*Vypracoval:*  
Bc. Csongor Kotra

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel: **Bc. Csongor Kotra**  
Studijní program: Zemědělská specializace  
Obor: Automobilová doprava  
Název tématu: **Posouzení vlivu etanolu na tepelnou bilanci zážehového motoru.**  
Rozsah práce: 50 - 60 stran

Zásady pro vypracování:

1. Uvedte současný stav vlivu spalovacích motorů na životní prostředí.
2. Navrhněte metodiku měření tepelné bilance zážehových vozidlových motorů provozovaných na paliva obsahující etanol.
3. Připravte a proveďte měření v různých režimech zatěžování zážehového motoru na dynamometru.
4. Vyhodnoťte provedená měření.
5. Navrhněte osnovu diplomové práce a harmonogram činností při řešení úkolu.
6. S průběhem prací pravidelně seznamujte vedoucího diplomové práce.

Seznam odborné literatury:

1. KAMEŠ, J. *Alternativní pohony automobilů*. Praha: BEN technická literatura, 2004. 231 s. ISBN 80-7300-127-6.
2. VLK, F. *Alternativní pohony motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004. 234 s. ISBN 80-239-1602-5.
3. PETRÁS, Z. - RŮŽIČKA, A. *Měření emisí*. 1. vyd. Praha: Robert Bosch, 1997. 63 s.
4. VLK, F. *Koncepce motorových vozidel: Koncepce vozidel, alternativní pohony, komfortní systémy, řízení dynamiky, informační systémy*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2000. 367 s. ISBN 80-238-5276-0.
5. DEMIRBAS, A. *Biofuels - Securing the Planet's Future Energy Needs*. London: Springer, 2009. 343 s. ISBN 978-1-84882-010-4.
6. POLCAR, A. - ŽÁK, M. - ČUPERA, J. - SEDLÁK, P. Effect of Biofuel E85 Combustion on Fuel Consumption in Spark-Ignition Engines. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2012. sv. LX, č. 5, s. 173-180. ISSN 1211-8516.
7. MACEK, J. *Spalovací motory I*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. 260 s. ISBN 978- 80-01-03618-1.
8. Grohe H.: *Benzinové a naftové motory*, ALFA Bratislava, 1981
9. Sborníky z konferencí a odborné publikace.
10. Trnka J., Urban J.: *Spaľovacie motory*, ALFA Bratislava, 1992.
11. Vlk, F.: *Zkoušení vozidel*, VUT Brno, 1992

### Čestné prohlášení

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

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

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

V Brně dne:.....

.....  
podpis

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce, panu doc. Ing. Pavlu Sedlákoví, CSc. za odborné vedení a cenné rady, které mi během řešení diplomové práce poskytl. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Marku Žákovi, Ph.D. za pomoc při realizaci experimentálních měření.

## **ABSTRAKT**

V této diplomové práci je projednáno, v jaké míře se změní jednotlivé složky tepelné bilance zážehového motoru spalováním etanolového paliva.

Práce je rozdělena na dvě části. V první, teoretické části se zabývá současným stavem vlivu spalovacích motorů na životní prostředí a jsou zde i probrána současně používaná alternativní paliva. V druhé části práce je popsána metodika experimentálního měření, kterou jsme prováděli na danou problematiku v motorové zkušebně Mendelovy univerzity v Brně. Ze získaných hodnot je zde vyhodnocena a sestavena výsledná tepelná bilance zážehového motoru provozované na palivo obsahující etanol.

Klíčová slova: tepelná bilance, etanol, Natural 95, měření, odvedené teplo

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the changes of individual components of the heat balance in the petrol engine with combustion for ethanol fuel.

The work is divided into two parts. The first part, the theoretical one deals with the impact of the current state of internal combustion engines on the environment and are also discussed alternative fuels. In the second part is described the methodology of experimental measurements, which were carried out on this topic in the engine testing laboratory of Mendel University in Brno. From the obtained values the final heat balance of the petrol engine running on fuel containing ethanol is evaluated and compiled.

Keywords: heat balance, ethanol, Natural 95, measurement, exhaust heat

## Obsah

1	ÚVOD.....	8
2	SOUČASNÝ STAV VLIVU SPALOVACÍCH MOTORŮ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	9
2.1	Emisní normy EURO.....	10
3	ALTERNATIVNÍ PALIVA.....	11
3.1	Zkapalněný ropný plyn (LPG) .....	12
3.2	Zemní plyn (CNG).....	13
3.3	Bioplyn .....	14
3.4	Bionafta.....	15
3.5	Bioetanol.....	16
3.6	Metanol.....	18
3.7	Elektrický proud.....	19
3.8	Vodík.....	20
4	CÍL PRÁCE.....	22
5	MATERIÁL A METODIKA MĚŘENÍ .....	23
5.1	Motorová zkušebna .....	23
5.2	Charakteristika dynamometru .....	29
5.3	Charakteristika zkoušeného motoru .....	30
5.4	Postup měření .....	31
6	VYHODNOCENÍ.....	33
6.1	Použité vzorce .....	33
6.2	Výsledky .....	37
6.2.1	Teplo přivedené do motoru palivem .....	40
6.2.2	Efektivní teplo.....	41
6.2.3	Teplo odvedené chlazením.....	43
6.2.4	Teplo odvedené výfukovými plyny .....	44
6.2.5	Ostatní tepelné ztráty .....	46

6.2.1	Výsledná tepelná bilance .....	47
7	DISKUSE A ZÁVER .....	50
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	52
9	SEZNAM TABULEK .....	56
10	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	57

## 1 ÚVOD

Jednou z vlastností, která je v lidech zakódována, je snaha po volnosti. Její nedílnou součástí je volnost pohybu - mobilita, kterou v převážné míře zajišťují dopravní prostředky. Hospodářskými a ekonomickými podmínkami vyvolané potřeby mobility vyžadují v současnosti ještě rychleji a častěji překonávání větších vzdáleností, proto její modernizace a výstavba infrastruktury je nesmírně důležitá.

Mobilita v 21. století má pro průmysl vozidel zvláštní význam, protože jednak hraje doprava ve spotřebě energie a škodlivých emisích významnou úlohu a zadruhé všichni řidiči chtějí svými vozy neomezeně využívat mobilitu i v budoucnosti. Mimoto lze očekávat pokles těžby fosilních paliv (ropy a zemního plynu) a vzrůst jejich ceny, což je jedním z důvodů intenzivního vývoje tzv. alternativních pohonů.

Při hledání alternativních pohonných systémů udávají směr ekologické a ekonomické úvahy. Vývoj automobilu zítřka je především v hledání alternativních paliv a k tomu náležitých alternativních pohonných koncepcí. Tato strategie se orientuje na dvě základné úlohy: snížení škodlivých emisí a využití regenerativních nosičů energie. Vzhledem k docházejícím zásobám ropy a nesmírným problémům se znečištěním životního prostředí začali lidé před lety hledat alternativní zdroje energie. Šlo jim o energii, která bude méně škodit životnímu prostředí a zároveň zaručí, že doprava v budoucnu z planety nevymizí.

Otázka pokrývání energetických potřeb patří v současnosti mezi nejnaléhavější problémy, které ovlivňují další vývoj lidské společnosti. Automobilový průmysl se musí více věnovat otázce, jak se dá zvyšovat účinnost spalovacích motorů, společně s lepším využitím dostupných paliv a prostředku. Současný stav, uprostřed energetické krize, v nedaleké budoucnosti již nebude akceptovatelný, protože u moderního spalovacího motoru se pouze jedna třetina energie obsažená v palivu přemění na mechanickou práci pro pohyb vozidla. Zbytek formou tepla odchází spaliny a chladicím systémem, bez užitku, do ovzduší. [12] [14] [23] [34]

V první části mé diplomové práce se pokusím popsat současný stav vlivu spalovacích motorů na životné prostředí, představím současně existující, ale bohužel pouze částečně používaná alternativní paliva a v experimentální části porovnáme tepelné bilance spalovacího motoru, který byl provozován na klasický benzín (Natural 95) a na různé směsi etanolu.



## 2 SOUČASNÝ STAV VLIVU SPALOVACÍCH MOTORŮ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Automobil je jedním z nejvýznamnějších vynálezů co člověk mohl vytvořit. Díky jeho široké využitelnosti je nedílnou součástí dnešního života a s rostoucí globalizací a nutností mobility roste čím dál více zájem na přepravě osob a věcí. Mobilita v 21. století naplňuje potřeby lidí a plní významnou ekonomickou i společenskou funkci. Ve vyspělých zemích počet automobilů dosáhl takového objemu, že ho již dnes vlastní každý druhý člověk. Pro účely pohonu silničních motorových vozidel se v současné době téměř výhradně používají spalovací motory, které přeměňují chemickou energii obsaženou v palivu na mechanickou práci. Zvyšujícím se počtem automobilů a intenzitou provozu dochází především v městských aglomeracích k vysokému znečištění ovzduší ze spalovacích procesů automobilových motorů, jelikož dochází k uvolňování škodlivin z výfukových plynů do okolí. Ty mají následně negativní vliv jednak na zdraví člověka, ale také na zátěž životního prostředí.

Některé emise působí „jen“ v okolí svého zdroje, kde je jejich největší koncentrace a mají tedy lokální účinek. Účinek jiných přesahuje okolí svého zdroje. Jedná se o ničení lesů, okyselování půdy a vody, množení řas a vzniku skleníkového efektu. V posledních letech je velice aktuální otázka globálního oteplování a podílu vlivu člověka na jeho příčině. Ke globálnímu oteplování dochází vlivem tvorby skleníkových plynů, které se drží v atmosféře a absorbují dlouhovlnné infračervené záření zpětně vyzařované z povrchu planety, kdy dochází k ohřívání spodní vrstvy atmosféry a zemského povrchu. Mezi skleníkové plyny se řadí oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ ) a přízemní ozón ( $\text{O}_3$ ). Všechny tyto plyny se v přírodě vyskytují jednak přirozeně, ale zároveň také všechny vznikají z provozování silniční dopravy, zejména spalováním fosilních paliv.

Podle studií Světové zdravotnické organizace (WHO) způsobuje znečištění ovzduší každý rok předčasnou smrt asi 370.000 Evropanů a 9.000 obyvatel ČR. Dlouhodobá expozice vysokým koncentracím výfukových plynů diesellových motorů vede k nárůstu výskytu rakoviny o 40 %. Hlavně právě proto dochází ke stále většímu zpřísnování zákonných předpisů o imisních a emisních hodnotách škodlivých látek a hluku. Jedním z prvních předpisů v Evropě byla směrnice Evropské hospodářské komise, EHK 15 uvedená v roce 1971, ze které se postupným vývojem došlo až po současné emisní limity EURO 6. [11] [18] [36]

## 2.1 Emisní normy EURO

V souvislosti s efektivním snižováním emisí a zlepšením kvality ovzduší, byly kladené vyšší nároky na nově vyvíjené spalovací motory a dopravní prostředky. Aby byly tyto nároky dosaženy, Evropská unie zavedla závazné emisní předpisy pro spalovací motory, známé jako normy EURO. Tyto jsou platné v zemích Evropské unie a stanovují limitní hodnoty výfukových exhalací u silničních motorových vozidel.

První EURO norma vstoupila do platnosti v roce 1992. Od té doby téměř pravidelně každé čtyři roky vychází nová. V současné době je v platnosti EURO 6. Obecně platí, že čím vyšší číslo, tím větší přísnost limitů. Tyto normy rozdělují automobily podle druhu a hmotnosti (osobní automobily, nákladní automobily, autobusy) a podle typu motoru (zážehový a vznětový). V rámci těchto kategorií jsou stanoveny různé hodnoty maximálního obsahu škodlivin (viz Tab. 1).

**Tab. 1:** Přehled limitů jednotlivých emisních norem EURO pro osobní automobily [7]

Norma	Platnost od	CO (g/km)		NO <sub>x</sub> (g/km)		HC+NO <sub>x</sub> (g/km)		HC (g/km)	PM (g/km)
<b>EURO 1</b>	1.7.1992	3,16	3,16	-	-	1,13	1,13	-	0,18
<b>EURO 2</b>	1.1.1996	2,20	1,00	-	-	0,50	0,70*	-	0,08**
<b>EURO 3</b>	1.1.2000	2,30	0,64	0,15	0,50	-	0,56	0,20	0,05
<b>EURO 4</b>	1.1.2005	1,00	0,50	0,08	0,25	-	0,30	0,10	0,025
<b>EURO 5</b>	1.1.2009	1,00	0,50	0,06	0,18	-	0,23	0,10	0,005
<b>EURO 6</b>	1.9.2014	1,00	0,50	0,06	0,08	-	0,17	0,10	0,005

*Pozn.: Zážehové motory, Vznětové motory*  
\* 0,90 pro motory s přímým vstřikováním paliva  
\*\* 0,10 pro motory s přímým vstřikováním paliva

Změny jsou vždy avizovány 3 roky dopředu a vztahují se pouze na nově vyrobená vozidla určená pro evropský trh, registrovaná od data platnosti nařízení. Postupné zpřísnování norem postihuje více vznětové motory, které se od normy EURO 5 dostávají téměř na úroveň zážehových motorů, pokud jde o emise NO<sub>x</sub> a PM. V České republice se sledováním této legislativní problematiky zabývá Sdružení automobilového průmyslu, které pravidelně informuje místní automobilky a jejich dodavatele o vývoji těchto limitů. [21] [36]

### 3 ALTERNATIVNÍ PALIVA

Naprostá většina dnešních automobilů využívá ke svému pohonu motory spalující benzín nebo naftu. Jak víme, tato paliva se vyrábějí z ropy a již dnes je zřejmé, že spalovat ropu je značný luxus, protože ta bude jednou chybět chemickému průmyslu, který je na ní závislý.

Kromě těchto široce známých druhů automobilových paliv, existuje řada dalších chemických látek, které jsou používány nebo mohou být použity jako paliva nebo jako složky paliv pro současné spalovací motory. Tyto látky se obecně nazývají alternativní paliva.

V současné době za alternativní paliva se považují zejména:

- zkapalněné ropné rafinerské plyny (LPG)
- stlačený zemní plyn (CNG)
- bioplyn
- bionafta a paliva na základě metylesteru řepkového oleje (MEŘO)
- paliva s využitím alkoholů (etanol a metanol)
- elektrický proud
- vodík

K používání alternativních paliv, jako náhrady klasických ropných produktů, vedou hlavně ekologické a ekonomické aspekty. Způsob jejich získávání a zejména jejich vlastnosti, mající příznivý vliv na proces spalování a škodlivost jeho produktů – emisí, je předurčují k tomu být palivy budoucnosti. Jejich výhoda spočívá zejména v tom, že pomocí nenáročných úprav klasického spalovacího motoru, nebo dodatečnou instalací některých prvků, lze jednoduše dosáhnout omezení limitovaných emisí jako oxid uhelnatý (CO), uhlovodíky, oxidy dusíku (NOx), pevné částice (PM), dalších znečišťujících látek (např. polyaromatické uhlovodíky – PAU) a skleníkových plynů, zejména oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>). Proto je podpora alternativních paliv jedním z pilířů udržitelné dopravy směřující k ekologicky i ekonomicky výhodnějším řešením. [17] [28]

### 3.1 Zkapalněný ropný plyn (LPG)

LPG (Liquefied Petroleum Gas) je v současnosti nejrozšířenějším alternativním palivem. Jedná se o zkapalněný propan-butan, který vzniká jako vedlejší produkt při rafinaci ropy nebo se získává z metanu v průběhu těžby zemního plynu. Jako palivo pro motorová vozidla umožňuje dosažení velmi homogenní směsi vzduchu s palivem, která je dobře rozdělitelná mezi válce. Vozidla s tímto pohonem si udržují své jízdní vlastnosti a díky moderním technologiím i téměř stejný výkon a při nízkých otáčkách je motor dokonce pružnější. Využívání LPG v motorových vozidlech je z technického hlediska již ověřené a bezproblémové. Důkazem, je současný nárůst prodeje a přestaveb motorových vozidel na plynový pohon.

Hlavním důvodem zavádění tohoto paliva byla nižší produkce emisí (až o 40 %), avšak spaliny obsahují stejné hlavní znečišťující látky jako u benzínu a nafty. Faktem je, že v dnešní době se vyplatí používat LPG jako náhrada klasických pohonných hmot, i z ekonomických i z ekologických důvodů. Nepředstavuje ale dlouhodobé řešení problému automobilového průmyslu. Zejména proto, že se nejedná o obnovitelný zdroj energie a díky vazbě na ropu je otázkou, zda může být vůbec považován za alternativní pohonnou hmotu. [6] [10] [34]

#### Výhody:

- nižší cena za ujetý km, díky nízké ceně LPG
- delší životnost motorového oleje, nevytvářejí se karbonové usazeniny
- nižší emise výfukových plynů
- dvě nádrže = zvětší dojezd vozidla
- snížení hlučnosti motoru
- vozidla na LPG, CNG a hybridní pohony neplatí silniční daň

#### Nevýhody:

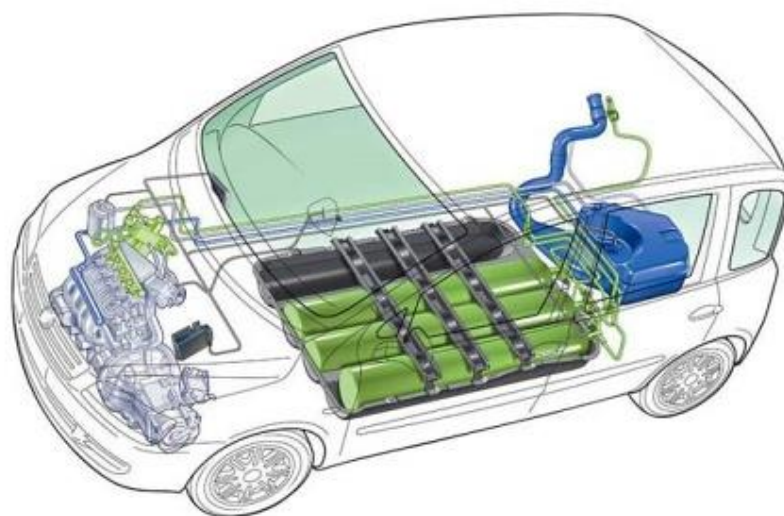
- počáteční investice za pořízení a schválení zařízení do vozidla
- zmenšení zavazadlového prostoru (neplatí při použití nádoby místo rezervního kola)
- snížení výkonu motoru (asi o 5 % – neplatí pro sekvenční vstřikování LPG)
- zvýšení spotřeby paliva (asi o 10 %)
- pravidelné servisní prohlídky
- omezené parkování v podzemních garážích

### 3.2 Zemní plyn (CNG)

Za perspektivní alternativní palivo, které je velice dobře využitelné v lehce upraveném zážehovém motoru, je zemní plyn. Lze ho použít ve formě stlačeného plynu CNG (Compressed Natural Gas) při tlaku 200 barů, nebo ve zkapalněné formě LNG (Liquefied Natural Gas) při teplotě  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Přestože zkapalněním se zmenší objem plynu až 6krát, ale díky své teplotě je obtížnější ho skladovat, proto se používá především ve formě stlačeného plynu.

Zemní plyn se získává z přírodních zdrojů či při těžbě ropy a zařazuje se do fosilních paliv. Jeho hlavní složkou je metan  $\text{CH}_4$  (85 – 98 %), dále propan, butan, vyšší uhlovodíky (5 %), sirovodík  $\text{H}_2\text{S}$ , dusík  $\text{N}_2$  a oxid uhličitý  $\text{CO}_2$  (10 %). Toto chemické složení předurčuje jeho velmi příznivé emisní vlastnosti, které nemá problémy se splňováním současných i budoucích emisních limitů. Kromě menšího produkovaného znečištění je předností využití CNG tišší chod motoru, což může být výhodou hlavně u městské hromadné dopravy.

Oproti ropě, zemní plyn má tak obrovské zásoby, že k jejich vyčerpání by mohlo dojít teprve asi za více než 150 let. Tyto zásoby jsou v geograficky výhodných oblastech, z nichž lze dopravovat sítí potrubí do různých hlavních oblastí spotřeby. Na rozdíl od jiných zdrojů energie je tato síť již hotova a zbývá ji doplnit jen čerpacími stanicemi, co v současné době ukazuje rostoucí tendenci. Používání zemního plynu jako paliva do automobilových motorů (Obr. 1), je jenom částečné řešení problematiky dlouhodobé udržitelnosti dopravy, protože se stejně nejedná o zdroj energie získané z obnovitelných zdrojů. [10] [32] [34] [35]



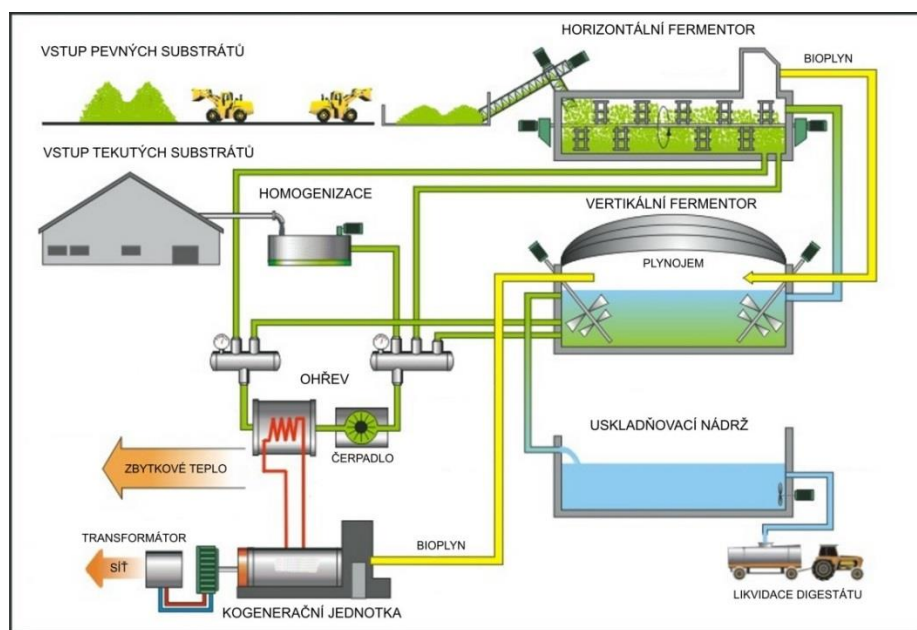
**Obr. 1:** Schéma zástavby sériově vyráběného osobního automobilu na zemní plyn [4]

### 3.3 Bioplyn

Bioplyn má největší a perspektivní význam ze všech plynných biopaliv. Vzniká rozkladem organických látek (chlévká mrva, prasečí kejda, čistírenské kaly atd.) působením mikroorganismů. Chemické složení značně záleží na podmínkách rozkladu a také na původu biomasy. Největší podíl tvoří metan  $\text{CH}_4$  (55 – 75 %), pak oxid uhličitý  $\text{CO}_2$  (25 – 40 %) a další plyny jako vodík, dusík, sirovodík aj. (1 – 3 %).

Bioplyn se nejčastěji používá v místě jeho výroby (bioplynové stanice), pro pohon kogeneračních jednotek (stabilních motorů), využívaných pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla. Ale lze ho používat i pro pohon motorových vozidel. Jediná podmínka je čistota, proto je nutno plyn zbavit od přebytku nežádoucích příměsí tak, aby odpovídal požadavkům na zemní plyn (srovnatelná výhřevnost, obsah metanu  $\text{CH}_4$  nad 95 %). Výrobní proces bioplynu znázorňuje Obr. 2.

Výhody bioplynu jsou podstatně stejné jako u zemního plynu, což jsou nižší emise (o 30 % oproti benzínu), úspory nákladů na palivo, ale mimoto hlavní výhodou je, že pochází z obnovitelného zdroje. Nevýhodou je omezená produkce, protože fermentační procesy vyžadují teplotu nejlépe kolem 40 °C, proto bioplynu máme nedostatek v zimním období. Bioplyn, jako palivo pro pohon dopravních vozidel je nejvíce využíván ve Švédsku, Dánsku, Švýcarsku a ve Francii. Prozatím jenom v těchto státech můžeme hovořit o využití bioplynu v dopravě jako potenciální možnost do budoucna. [25] [26] [34]



Obr. 2: Výrobní proces bioplynu [24]

### 3.4 Bionafta

Bionafta se používá pro spalování ve vznětových motorech, jako náhrada za naftu. Pod tímto pojmem jsou označovány nízkomolekulární estery vyšších mastných kyselin. Surovinou pro výrobu bionafty jsou olejnaté plodiny (sója, palmový olej, řepka, slunečnice, atd.). Jelikož se dají všechny vedlejší produkty dále využít, výroba je v podstatě ekologická a bezodpadová. Nejvíce bionafty (až 80 % světové produkce) se vyrábí z řepkového oleje, který se esterifikací upravuje na metylester. Proto se místo o bionaftě často mluví o MEŘO (Metyl-Esteru Řepkového Oleje).

Bionaftu můžeme rozdělit na dva druhy:

- **Bionafta I. generace** – vyrábí se z potravinářských plodin, tvoří výlučně metylestery bez dalších přísad (100 % MEŘO)
- **Bionafta II. generace** – vyrábí se z lignocelulózových zbytků (dendromasa, zbytková biomasa atd.), je to podstatě směsná nafta, kde obsah metylesterů byl určen na 30 % a zbylých 70 % tvoří látky ropného charakteru

Ve srovnání s motorovou naftou MEŘO má lepší ekologické vlastnosti. Při jeho spalování v motoru lépe hoří, snižuje tak kouřivost naftového motoru, emise polévatého prachu (PM), síry (S), oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) a aromatických látek (PAU). Má také vysokou mazací schopnost a tím snižuje opotřebení motoru. Jeho nesmírná výhoda je to, že se dá používat přímo v neupraveném naftovém motoru. Čistá bionafta není toxická a je biologicky dobře odbouratelná, což na druhou stranu znamená, že je méně stabilní, a tím je doba jeho skladování poměrně krátká. Doporučená doba skladování je maximálně jeden měsíc.

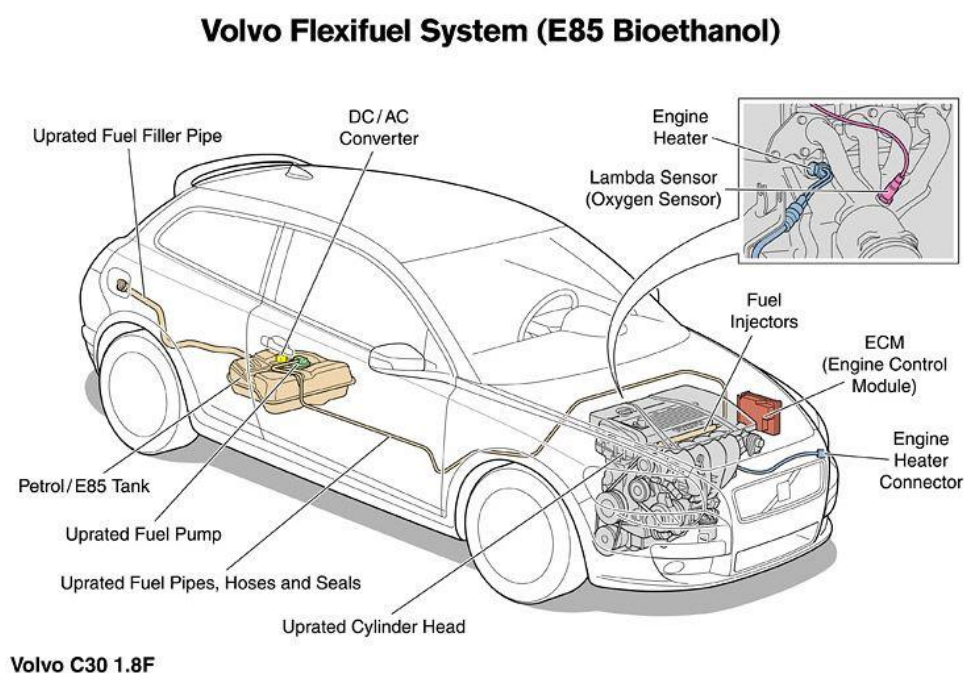
Čistá bionafta má kromě skladovatelnosti řadu dalších nevhodných vlastností. Největší nevýhodou je energetická náročnost celého výrobního procesu a také vysoká produkce skleníkových plynů při výrobě. Další nevýhodou je jeho agresivita vůči pryži, protože tím poškozuje pryžové součástky palivového systému. Bionafta je silnější rozpouštědlo než klasická nafta, a tak uvolňuje organické usazeniny v palivovém potrubí, které mohou ucpat palivový filtr, v horším případě i vstřikovací ventily. Při kontaktu s vodou vznikají mastné kyseliny, ty pak způsobují korozi palivového systému. \*Uvedené nevýhody u bionafty druhé generace, s přibližně třetinovým obsahem metylesteru řepkového oleje, by měly být převážně odstraněny. [2] [19] [25] [30]

### 3.5 Bioetanol

Bioetanol (etanol či biolíh) je stále oblíbenějším typem paliva. V současné době se běžně využívá jako náhrada benzínu v zážehových motorech, ve formě různých směsí. U čerpacích stanic je označen zkratkou E následovanou procentuálním podílem bioetanolu v palivu. V ČR nejčastěji je používán E85, který obsahuje 85 % bioetanolu a 15 % benzínu, což je, dle technické normy, nazýván jako letní směs. Z toho vychází, že existuje i zimní směs, který obsahuje okolo 65 – 70 % bioetanolu a 30 – 35 % benzínu. Vyšší procento benzínu v zimní směsi mají omezit problematiku tzv. studené starty.

Bioetanol se vyrábí alkoholovým kvašením z biomasy. Je to stejný proces, kterým vzniká alkohol při výrobě piva z ječného sladu nebo vína z hroznů. Na jeho výrobu se nejčastěji používají rostliny obsahující větší množství škrobu a sacharidů (cukrů), např. kukuřice, obilí, brambory, cukrová řepa nebo cukrová třtina, ale mohou být vyráběny i z celulózy (dřeva).

Pro provoz automobilu na bioetanol je potřeba motor speciálně upravit. Mezi stávající řídicí jednotku a vstřikovací systém motoru se přidá další elektronická jednotka, která prodlouží dobu vstřikování paliva. Je to potřeba kvůli jiné parametry hoření etanolu. Existují už tzv. FlexiFuel systémy (viz Obr. 3), kde tovární řídicí jednotka motoru automaticky kontroluje složení paliva pomocí lambda sondy a přizpůsobuje mu zapalování i bohatost směsi, tím motor mohou spalovat libovolný poměr benzínu a etanolu.



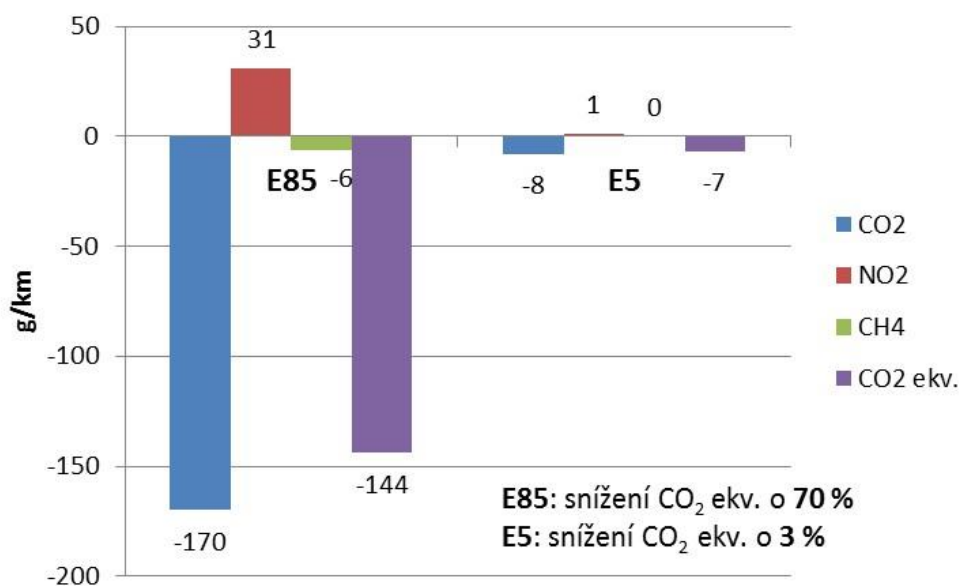
**Obr. 3:** Systém FFV Volvo C30 1.8F [1]



Hlavním důvodem zavedení bioetanolu jako paliva, jsou jeho příznivé emisní vlastnosti. Oproti benzínu, spalováním E85 se snižují emise oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), snižují se rovněž emise prášných částic (PM) a polyaromatických uhlovodíků (PAU), viz Obr. 4. Na druhé straně, sice vzniká více aldehydů, ale ty lze až z 80 % eliminovat použitím oxidačního katalyzátoru. Bioetanol se v motoru dokonaleji a rychleji spaluje, díky lepší homogenitě směsi způsobené přítomností kyslíku ve své molekule. Má vyšší oktanové číslo (letní směs 109, zimní směs 104), tedy dá se říct, že je efektivnější než klasický benzín.

Velkou nevýhodou bioetanolu je, že je agresivnější vůči plastickým hmotám a kovovým částem než benzín, tím způsobuje rychlejší korozi. Má detergentní účinky, tj. může rozpouštět a odstraňovat olej z částí, kde je ho třeba. Z toho vychází jeho špatné mazací vlastnosti. V důsledku nižší výhřevnosti mají vozidla průměrně o 20 % vyšší spotřebu paliva oproti benzínu. Automobily, provozované na bioetanol se vyznačují horší startovatelností motoru při nízkých teplotách, vlivem vyšší zápalné teploty bioetanolu (benzín 200 °C, bioetanol 425 °C).

Bioetanol v ČR zatím není moc rozšířen, v některých zemích, např. ve Švédsku, je však velmi populární. Přimíchávání menšího množství bioetanolu do benzínu (4,5 %) je v současné době v ČR povinné, tím se zlepšují antidetonační schopnosti benzínu a o něco snižují emise výfukových plynů. V současnosti je ale zřejmé, že bioetanol pravděpodobně nemůže úplně nahradit klasická paliva. Při jeho rozumné výrobě a použití může však přispět k nahrazení části ropy a ozdravení životního prostředí, hlavně ve městech. [3] [16] [25] [29] [34]



**Obr. 4:** Změna emisí jednotlivých škodlivin při použití paliva E85 a E5 [33]

### 3.6 Metanol

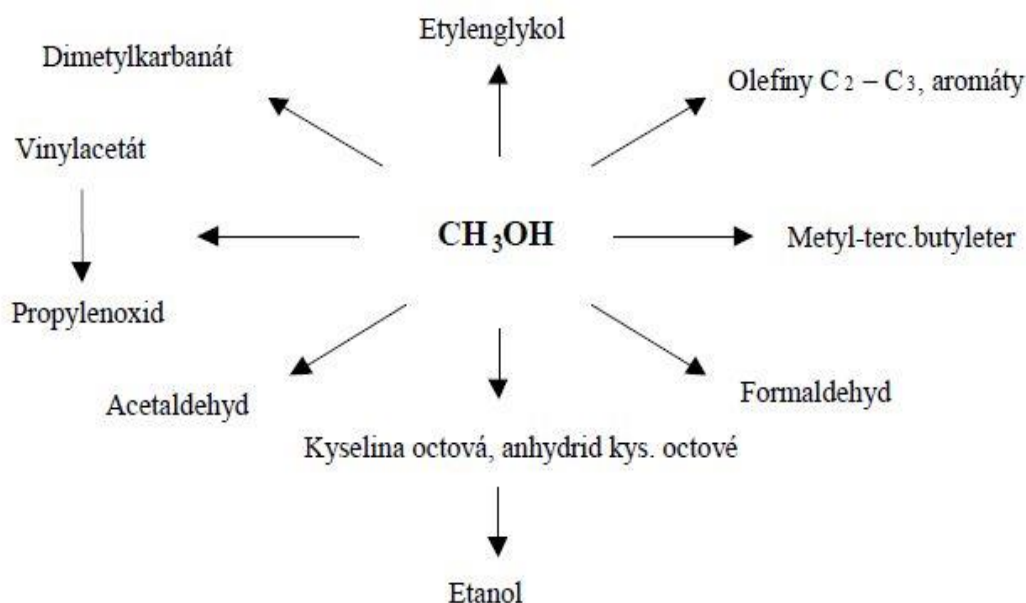
Spolu s etanolem patří do skupin nižších alkoholů a vyznačují se tím, že mají obdobné vlastnosti jako ropná paliva. Metanol je ve světě známý dlouho jako vedlejší produkt při výrobě dřevěného uhlí, proto se dříve označoval také jako dřevný líh. V dnešní době je situace jiná, protože metanol se stal pro petrochemický průmysl důležitou surovinou a vyrábí se v převážné části na palivářské účely.

Metanol lze vyrábět z biomasy, která je sice obnovitelným zdrojem, avšak výroba je dvojnásobně nákladnější, než jej vyprodukovat synteticky ze zemního plynu nebo z uhlí. Zajímavostí metanolu je, že se dá z něho vyrobit i benzín, avšak celý proces výroby je energeticky ztrátový, a proto se nevyužívá.

Největší výhodou metanolu je univerzálnost, protože se často používají jako výchozí surovina v mnoha chemických procesech (viz Obr. 5). Nejčastěji používají na výrobu Metyl-terc.-butyl-éteru (MTBE), který je žádanou komponentou automobilových benzinů. Má vysokou energetickou hustotu, umožňující vyšší účinnost spalování, má nižší teplotu hoření, a produkuje méně škodlivin.

Hlavní nevýhodou je toxicita, jak při vdechnutí, tak i při působení na kůži, tím představuje značné riziko při čerpání paliva. Další nevýhody jsou podstatně stejné jako u bioetanolu.

[26] [34]

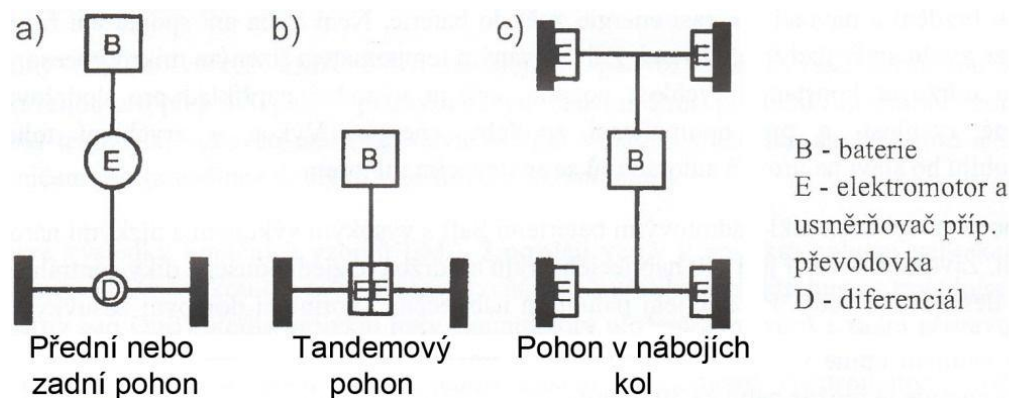


Obr. 5: Využití metanolu jako petrochemickou surovinu [26]

### 3.7 Elektrický proud

V automobilové dopravě se využívají nejen na provoz různých komfortních a řídicích zařízení automobilů, ale také na jejich pohon. Automobily s elektrickým pohonem, nebo tzv. elektromobily, byly na světě dříve než vozy hnané spalovacími motory a na přelomu 19. a 20. století dokonce světu dominovaly. Nicméně tehdejší technologie umožnily rychlé vylepšení spalovacích motorů, zlevnění jejich provozu a zjednodušení obsluhy, takže nakonec elektromobily vyklidily pole působnosti.

Elektromobil je poháněn elektrickým motorem, který je napájen z akumulátorů případně kombinací akumulátorů a palivových článků. Kromě těchto základních elementů, hnací ústrojí elektromobilu je dále tvořeno z převodovky, hnacích hřídelů, diferenciálu a rozvodovky. Nejčastější uspořádání pohonných prvků je zobrazeno na Obr. 6.



**Obr. 6:** Nejčastější uspořádání hnacího ústrojí pro elektromobily [10]

K největším výhodám elektromobilů patří nulová produkce škodlivých emisí, nízká hladina hluku, příznivá výkonová charakteristika a účinnost přesahující 50 %. Přesto jejich největším problémem je omezený dojezd, a vysoká pořizovací cena. U současných elektromobilů je dojezd jen cca 200 km. Dalším problémem je nabíjení akumulátoru, který je, oproti tankování, dlouhý proces a může trvat od 1 do 15 hodin. Existují však rychlonabíjecí stanice, které umožňují nabíjet akumulátory elektromobilů během 15 – 30 min, ale tato varianta z dlouhodobého hlediska nepříznivě působí na životnost akumulátorů.

Elektrický pohon je vhodný pro malá a lehká vozidla, které jsou používána hlavně ve městech. Pro klasické osobní automobily se častěji používá pohon hybridní, kde elektrický pohon kombinují se spalovacím motorem. Hybridní vůz by se v budoucnu mohl stát velmi kvalitní alternativou, pokud bude vyvinut vyhovující zdroj energie elektromotoru. [10] [34]

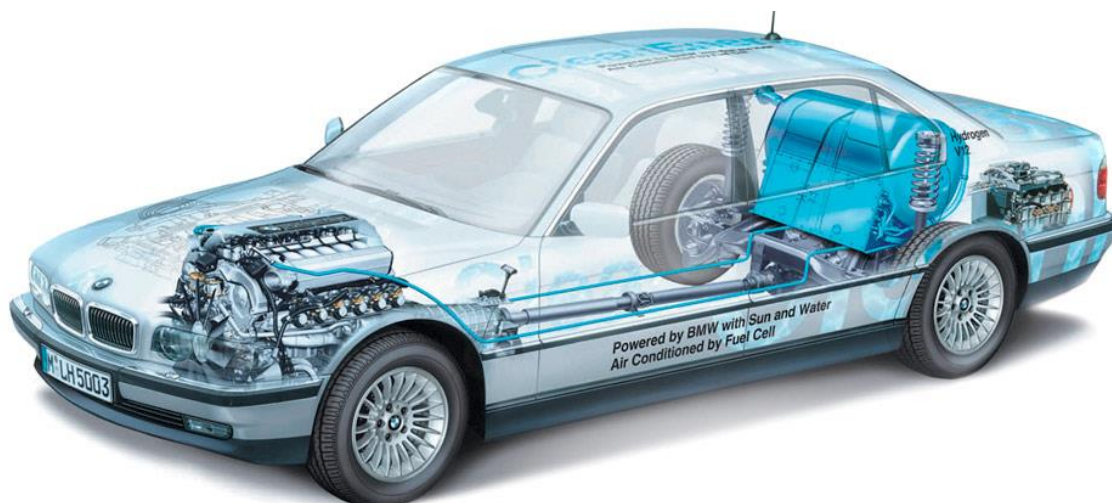
### 3.8 Vodík

Vodík je předmětem současného intenzivního výzkumu jako potenciální palivo pro motorová vozidla. Z hlediska životního prostředí jde o nejperspektivnější palivo, protože při jeho spalování vzniká pouze vodní pára a malé množství oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ). Vodík je lehký hořlavý plyn, bez barvy a zápachu, a jedná se o zcela čisté palivo.

Vodík je téměř nevyčerpatelným zdrojem, jeho získávání je však energeticky velmi náročné, protože v přírodě se nejčastěji vyskytuje ve sloučeninách a je třeba ho oddělit. Výroba vodíku může probíhat třeba parním reformováním a parciální oxidací zemního plynu, parciální oxidací ropných zbytků anebo zplyňováním uhlí. Získávat vodík ze zemního plynu nebo pomocí elektřiny z fosilních zdrojů by však bylo neefektivní a potíralo by jeho výhody, protože stejně neřeší problém vyčerpatelnosti zdrojů. Další možností je výroba z obnovitelných zdrojů např. pomocí elektrolýzy vody, vysokoteplotním rozkladem vody nebo pyrolýzou biomasy. Tyto způsoby jsou však zatím většinou ve fázi vývoje, a jsou velice nákladné.

V oblasti alternativních pohonů se vodík vyskytuje ve dvou hlavních podobách:

- jako pohonná hmota pro motory speciálně konstruované pro jeho spalování (viz Obr. 7)
- jako surovina pro elektrochemickou oxidaci v palivových článcích, využívaných k výrobě elektřiny pro pohon elektromobilů (tzv. Fuel cells, či F-cells) viz Obr. 8.



**Obr. 7:** BMW Hydrogen 7 - konstrukční řešení vodíkového pohonu [20]

Způsob spalování vodíku v konvenčním spalovacím motoru, byť je nízko emisní, není pro jeho malou účinnost perspektivní. Největším problémem je předčasné vznícení směsi paliva. U vodíku je tento problém způsoben nízkou iniciační energií, širokým rozsahem hořlavosti a krátkou vzdáleností uhasnutí plamene.

V oblasti vodíkového pohonu hlavní pozornost je soustředěna na palivové články a jejich použitelnost v sériových modelech. Jsou to zařízení, která podobně jako spalovací motory souvisle zpracovávají přiváděné palivo a přeměňují jeho chemickou energii v energii elektrickou. Palivové články nemají pohyblivé části, což zvyšuje jejich spolehlivost a životnost, pracují tiše, nepotřebují dobíjení a neprodukují žádné emise CO<sub>2</sub>.



**Obr. 8:** Sestava palivového článku [5]

Výroba vodíku je sice technologicky bez větších problémů zvládnutelná, ale jeho skladování a manipulace s ním (pod vysokým tlakem a za nízkých teplot) je však problematická a náročná. Při dodržení bezpečnostních norem by bylo zapotřebí příliš těžkých tlakových nádrží. Dalším problémem je utěsnění přívodních potrubí, neboť molekula vodíku je tak malá, že při stávajícím tlaku v tlakové nádobě 22 MPa proniká i při použití speciálních dotěšňujících kroužků. Tím vzniká nebezpečí výbuchu, protože vodík se vzduchem tvoří třaskavou směs.

Velké ropné společnosti produkující klasická kapalná motorová paliva i výrobci motorových vozidel jsou přesvědčeni, že vodík je palivem budoucnosti. V roce 2000 na konferenci pořádané organizací Greenpeace prohlásil vrcholný představitel společnosti Ford, Bill Ford, že vodík ukončí 100 let trvající panování motorů s vnitřním spalováním. Předpokládá se, že palivové články by se mohly stát dominujícím způsobem pohonu motorových vozidel v průběhu příštích 20-30 let. Pro masové využití vodíku v dopravě je ovšem třeba mít k dispozici jeho dostatečný a relativně levný zdroj a vybudovat potřebnou infrastrukturu pro jeho distribuci. [8] [10] [25] [26] [27] [34]

## 4 CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce je navrhnout metodiku měření tepelné bilance zážehového motoru, provozovaného na palivo obsahující etanol a následné provádění měření v různých režimech zatěžování motoru, na dynamometru v motorové zkušebně Mendelovy univerzity v Brně. Pro měření byla zvolena paliva E85, Natural 95 a směs těchto paliv.

Dalším cílem je vyhodnotit naměřené údaje pomocí vhodné metodiky, výsledky porovnat mezi sebou a sestavit tepelnou bilanci zážehového motoru. V závěru jsou výsledky diskutovány a porovnány s odbornou literaturou.

## 5 MATERIÁL A METODIKA MĚŘENÍ

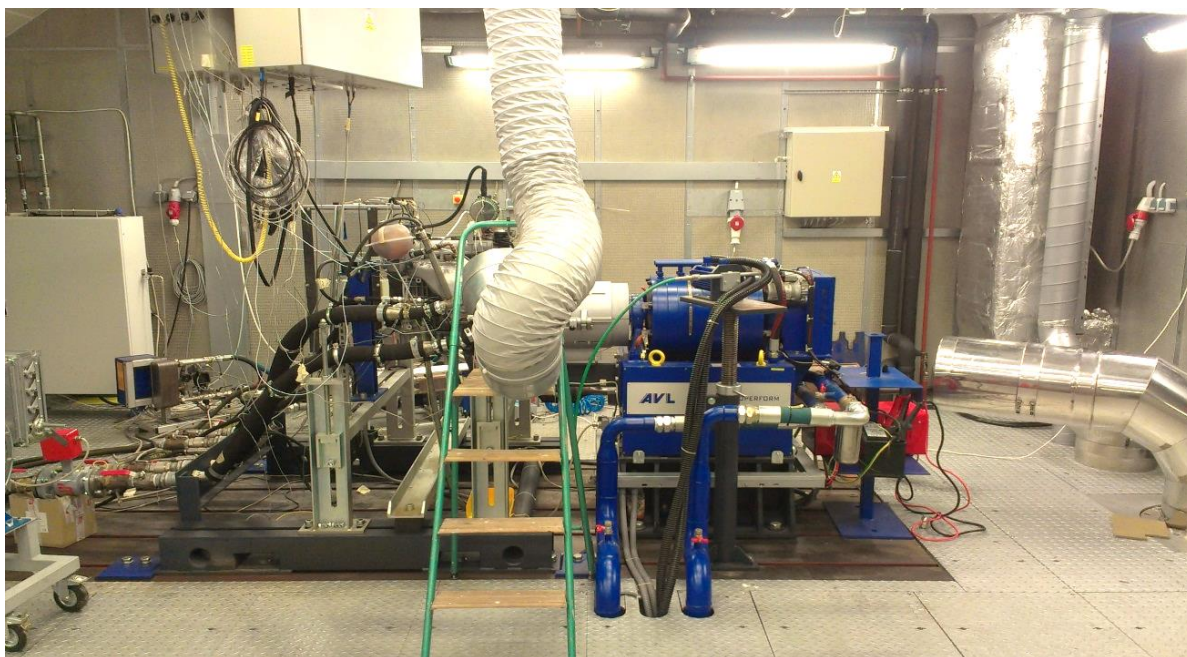
Pro zjištění skutečné tepelné bilance zážehového motoru, provozovaného na palivo obsahující etanol, byly provedeny experimentální měření na motorové zkušebně Mendelovy univerzity v Brně. Pro porovnání výsledků, jsme prováděli měření s palivem Natural 95 a dvěma palivy s různým poměrem benzínu a etanolu. Podíl etanolu a benzínu byl určen po ukončení měření ze vzorku odebrané z palivové lišty motoru.

Důležitými parametry, které jsme sledovali v průběhu měření, byly vstupní a výstupní teploty a průtoky pracovních médií motoru. Na základě teplotních toků v motoru pak můžeme sestavit tepelnou bilanci spalovacího motoru pro jednotlivá paliva.

### 5.1 Motorová zkušebna

Jak již bylo zmíněno, celé měření probíhalo na motorové zkušebně Mendelovy univerzity v Brně, která je jedna z laboratoří Ústavu techniky a automobilové dopravy. Zkušebnu navrhla společnost AVL a používá se jako výukové pracoviště studentů univerzity.

Hlavním částí zkušebny je brzdové stanoviště s vířivým dynamometrem značky a typu AVL Alpha 240 (viz Obr. 9), který je dimenzován na maximální brzdový výkon až 240 kW a točivý moment až 600 Nm. Zkušebna je schopna obsloužit celkem dvě brzdové stanoviště, ale zatím pouze jedno z nich je vybaveno dynamometrem.



**Obr. 9:** Brzdové stanoviště motorové zkušebny Mendelovy univerzity [vlastní]

Nedílnou součástí měřicího pracoviště jsou další nezbytné systémy, které úzce souvisejí s její funkcí pro realizaci náročného měření. Tyto systémy zároveň zaručují i opakovatelnost provedených měření.

Jeden z nejdůležitějších systémů je výkonná vzduchotechnika, která dokáže zajistit konstantní teplotu během měření ve zkušební kobce. Pro odvádění výfukových plynů je nainstalován potrubní systém včetně ventilátoru s příkonem 75 kW.

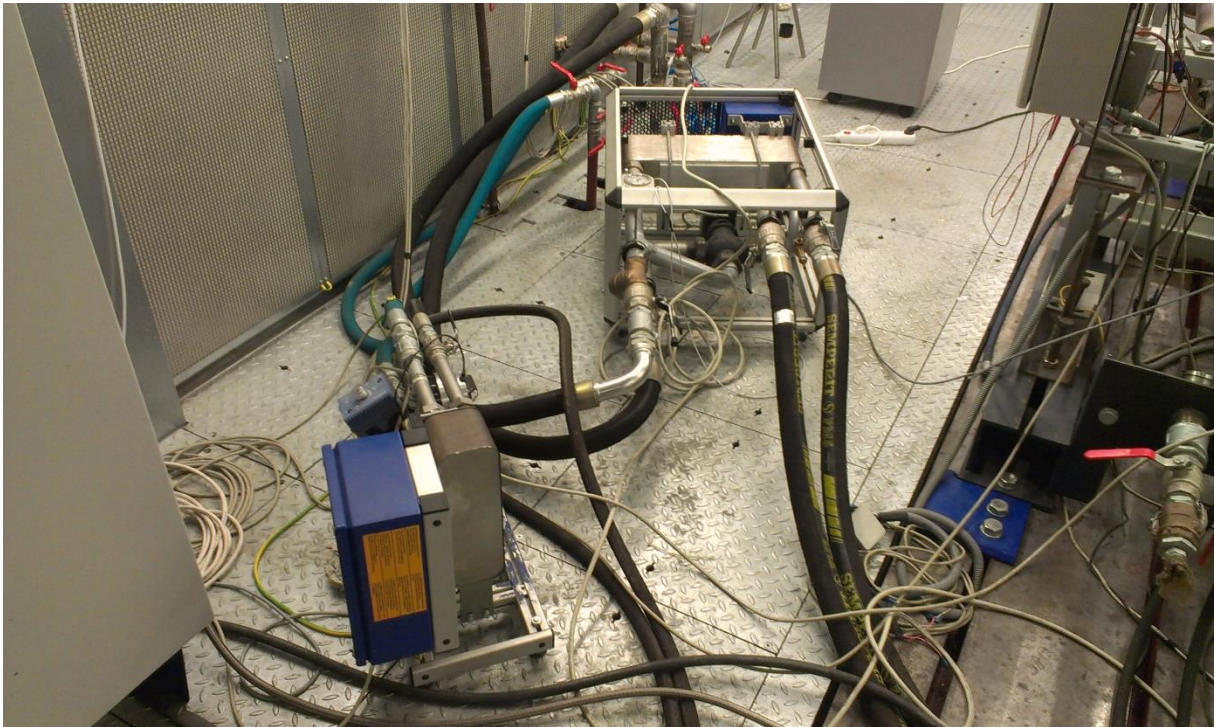
Součástí zkušebny je taktéž místnost pro palivové hospodářství, které je vybaveno čtyřmi samostatnými nádržemi pro automobilový benzín (200 litrů), motorovou naftu (200 litrů), bionaftu (200 litrů) a bioetanol (100 litrů) viz Obr. 10. Z bezpečnostních důvodů se takový objem paliva nemůže nacházet v místnosti, kde probíhá měření, proto jednotlivé nádrže jsou propojeny s hlavní palivovou nádrží trubkami. Dodávku paliva zajišťuje výkonné palivové čerpadlo pracující s tlakem až 1 MPa a s průtokem až 300 l/hod.



**Obr. 10:** Nádrže jednotlivých paliv v místnosti palivového hospodářství [vlastní]

Pro zajištění opakovatelných podmínek teplotního namáhání motoru, je součástí zkušebny také zařízení pro kondice chladicí kapaliny motoru značky a typu AVL 553S, a kondice olejové náplně AVL 554S (viz Obr. 11). Tato zařízení jsou schopna regulovat teplotu příslušného média s přesností  $\pm 1$  °C od požadované hodnoty na vstupu do motoru.





**Obr. 11:** Zařízení pro kondice olejové náplně (vlevo) a pro kondice chladicí kapaliny (vpravo)

Pro řízení správného chodu motoru je nutná elektronická řídicí jednotka (ECU – Electronic Control Unit). V našem případě sériová jednotka je nahrazena programovatelnou řídicí jednotkou (viz Obr. 12), hlavně z důvodů, že nové ECU obsahuje více palivových a předstihových map pro řízení motoru a umožňuje také úpravy dávky paliva a předstihu zážehu. Neméně důležitým aspektem je, že přístup do tovární řídicí jednotky je problematický a finančně náročný. Základní technické parametry řídicí jednotky zobrazuje Tab. 2.

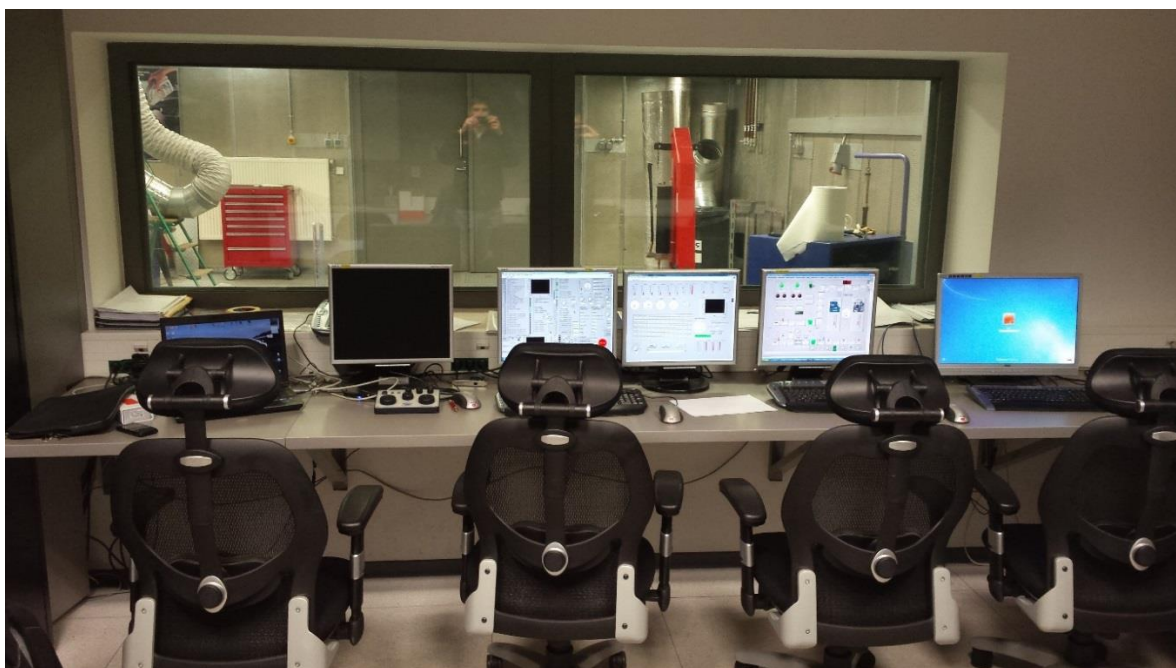


**Obr. 12:** Programovatelná řídicí jednotka Magneti Marelli SRA-E [vlastní]

**Tab. 2:** Technické parametry řídicí jednotky [37]

Parametr	Specifikace
Výrobce	Magneti Marelli
Model	SRA-E
Vstupy	
Počet	
Analogové vstupy	8
Lambda sonda (+ předeřev)	1
Senzor klepání	2
Termočlánek typ K	2
NTC/PT1000 snímače teploty	4
NTC vnitřní snímač teploty	1
Napětí baterie	1
Napěťové vstupy s referencí nebo Hallovy snímače	6
On/Off digitální vstupy	6
Lap Trigger	1
Výstupy	
Počet	
Ovládání vstřikovačů	8
Indukční nebo logické ovládání zapalování	6
H-můstek	1
PWM	4
Low-side On/Off	2
Napěťová reference	2

Na dohlížení průběhu měření slouží vedlejší místnost, která se nazývá velín. Ve velíně je umístěna veškerá výpočetní technika, která pomocí příslušného softwaru ovládá celou zkušebnu, sleduje chod a ukládá naměřené parametry motoru. Na Obr. 13 je vidět prostor velínu zkušebny.



**Obr. 13:** Vnitřní prostor velínu s přímým pohledem na motorovou zkušebnu [vlastní]

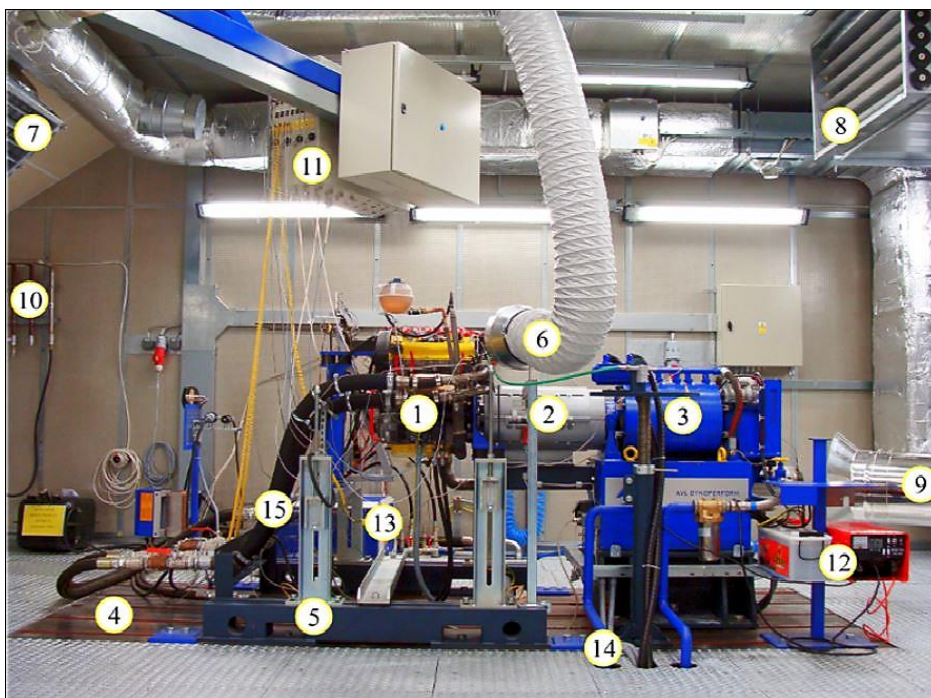
- Notebook zleva s prvním monitorem slouží pro zobrazení a ovládání konzole, která přistupuje do řídicí jednotky, značky a typu Magneti Marelli SRA-E, přes sériový port RS 232.
- Na druhém monitoru můžeme vidět probíhající parametrizace samotné zkoušky. Tento počítač tedy přímo přistupuje do systému reálného operačního času, který je „mozkem“ celého systému řízení dynamometru a obslužného hospodářství.
- Třetí monitor zobrazuje data měřených veličin jako tlak, teplota atd.
- Na čtvrtém monitoru obsluha může ovládat veškeré další technologie zkušebny, jako jsou vzduchotechnika, chlazení, ovládání paliva apod.
- Na posledním monitoru jsou zobrazována veškerá data měřených veličin, pomocí indikátorů a taktéž probíhá záznam dat.

Vizualizace a zpracování naměřených hodnot probíhá pomocí softwaru vytvořeného pro potřeby měření ve vývojovém prostředí programu LabView 2011 na Ústavu techniky a automobilové dopravy. Pohled na jednotlivé monitory se dá vidět na Obr. 14.



Obr. 14: Pohled na monitory 2, 3, 4, 5 [vlastní]

Pro lepší přehlednost vnitřního prostoru motorové zkušebny, na Obr. 15 můžeme vidět umístění jednotlivých systémů a elementů nutných pro její provoz.



**Obr. 15:** Pohled na vnitřní prostor motorové zkušebny [15]

- |  |   |
|--|---|
| 1. zkoušený motor s příslušenstvím                           | 9. odvod spalin   |
| 2. spojovací hřídel mezi motorem a dynamometrem včetně krytu | 10. přívodní potrubí paliva   |
| 3. vířivý dynamometr   | 11. box pro připojení snímačů   |
| 4. odpružená základní deska (vzduchové měchy)                | 12. akumulátor a soustava pro nabíjení  |
| 5. rám pro uchycení motoru                                   | 13. zařízení pro kondici chladicí vody (modrý výměník, umístěný vzadu za motorem, vedle pak výměník pro kondici motorového oleje) |
| 6. přívod spalovacího vzduchu                                | 14. odvod chladicí vody z dynamometru   |
| 7. vyústění přiváděného vzduchu do kobky                     | 15. chladicí okruh motoru   |
| 8. odvod vzduchu   |   |

## 5.2 Charakteristika dynamometru

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, motorová zkušebna disponuje s elektrickým vířivým dynamometrem (viz Obr. 16) od rakouské firmy AVL. Tento druh dynamometrů funguje na principu působení Foucaultových vířivých proudů, uzavřených nakrátko v tělese magnetického obvodu. Válcový rotor je z oceli a po obvodu je opatřen ozubením. Na statoru je budicí cívka, kterou protéká stejnosměrný proud, jenž budí v magnetickém obvodu magnetický tok. Rotor se otáčí v magnetickém poli kyvně uloženém statoru a vlivem střídání zubu a mezery rotoru se mění magnetický odpor magnetického obvodu a tím i magnetický tok. Změna magnetického toku způsobuje indukování napětí v magnetickém obvodu, v důsledku čehož začnou obvodem protékat vířivé proudy. Působením vířivých proudů se vytvoří brzdný moment, přičemž velikost tohoto momentu je říditelná změnou proudu v budicí cívce. Pomocí ramene, uložené na statoru (o určité vzdálenosti od osy otáčení dynamometru), brzdný moment se přenáší na tenzometrický snímač síly. [22]

Energie vířivých proudů je dána energií, která je dodána zkoušenou pohonnou jednotkou, a mění se v tělese magnetického obvodu vířivé brzdy na teplo. K odvodu tohoto tepla je dynamometr vybaven samostatným chladicím systémem.

Konstrukce vířivé brzdy je symetrická a brzda se může proto otáčet oběma směry. Její nevýhodou je, že nemůže pohánět motor, ale pouze brzdit. Tyto dynamometry jsou relativně malé, lze je jednoduše ovládat dálkově a je možná plná automatizace celého průběhu měření. Hlavní technické parametry dynamometru jsou uvedené v Tab. 3.

**Tab. 3:** Technické parametry dynamometru [37]

Parametr	Specifikace
<b>Výrobce</b>	AVL
<b>Typ dynamometru</b>	Elektrický vířivý
<b>Model</b>	DynoPerform Alpha 240
<b>Typ řízení</b>	Otáčková a momentová regulace
<b>Maximální brzdý výkon</b>	240 kW
<b>Maximální brzdý moment</b>	600 Nm
<b>Maximální otáčky</b>	10 000 min <sup>-1</sup>
<b>Přesnost měření otáček</b>	± 1 min <sup>-1</sup>
<b>Přesnost měření momentu</b>	± 0,2 % rozsahu



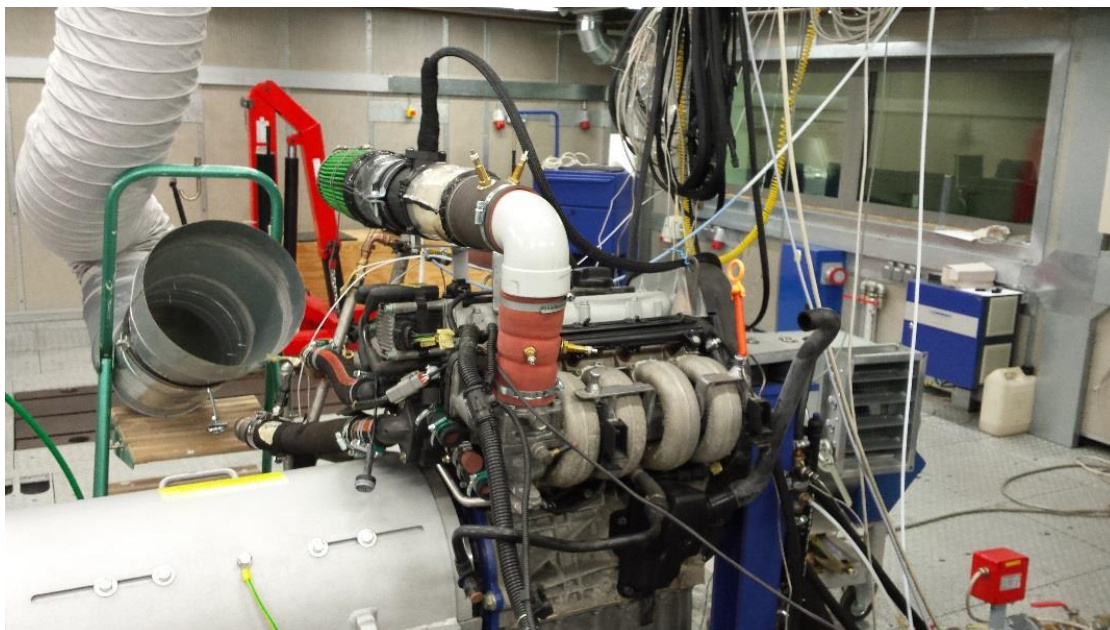
Obr. 16: Elektrický vířivý dynamometr AVL DynoPerform 240 (Mendelu Brno) [vlastní]

### 5.3 Charakteristika zkoušeného motoru

Měřeným objektem byl atmosférický zážehový čtyřválcový motor od automobilky Škoda (viz Obr. 17). Jehož technické parametry zobrazuje Tab. 4. Tento motor sériově montovali do vozů Fabia I. generace. Pro přizpůsobení k měření, bylo nutné na motoru provádět různé změny oproti sériovému stavu. Takové změny jsou například výměna tovární řídicí jednotky za programovatelnou jednotku od firmy Magneti Marelli, odstranění třícestného katalyzátoru z výfukového potrubí, nainstalování do sacího traktu hmotnostní průtokoměr nasávaného vzduchu (MAF), odpojení alternátoru, kompresoru klimatizace a čerpadla servořízení. Nejvýznamnější změna ale je změna reduktoru tlaku paliva. Tento krok byl důležitý z toho důvodu, aby se motor mohl plnohodnotně provozovat i s vysokoprocentním etanolovým palivem.

Tab. 4: Technické parametry motoru [37]

Parametr	Specifikace
Výrobce	Škoda
Typ motoru	AUB
Zdvihové objem motoru	1 390 cm <sup>3</sup>
Vrtání x Zdvih	76,0 x 75,6 mm
Počet válců	4
Počet ventilů	16
Kompresní poměr	10:1
Maximální výkon	74 kW při 6 000 ot.min <sup>-1</sup>
Maximální točivý moment	126 Nm při 4 400 ot.min <sup>-1</sup>
Příprava směsi	Vícebodové vstřikování
Vstřikovací tlak	0,3 MPa
Palivo	Natural 95



**Obr. 17:** Zkoušený motor připojený na dynamometr [vlastní]

## 5.4 Postup měření

Před měřením bylo třeba zkontrolovat úplnost a připojení všech snímačů, přívodu paliva a chladicí kapaliny, kontrolovat olej a chladicí okruh dynamometru.

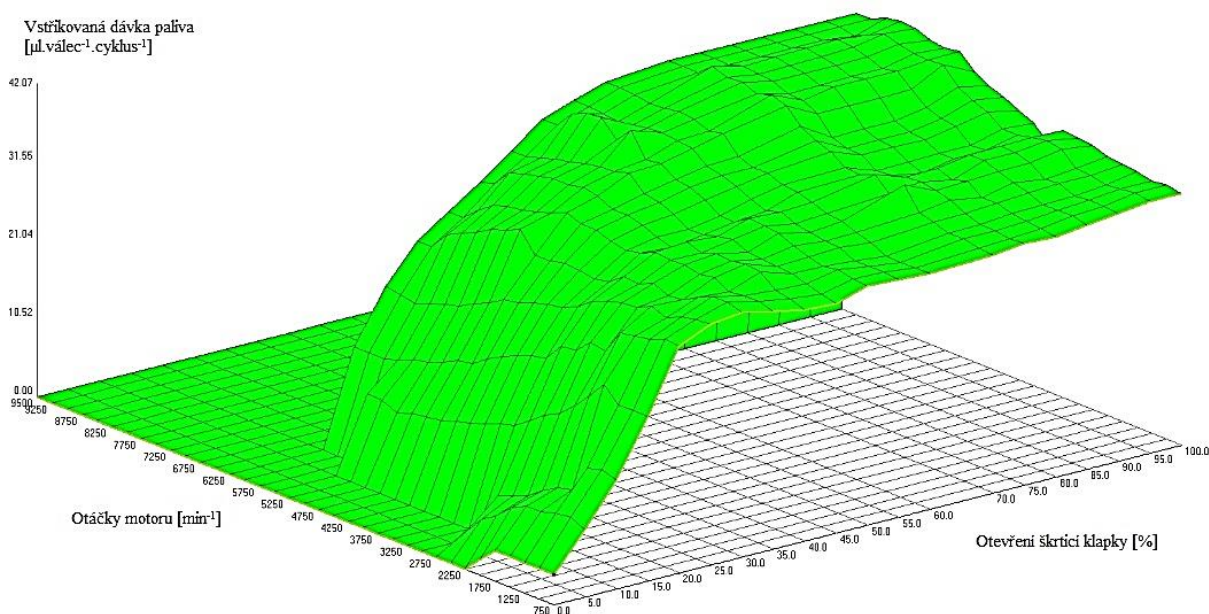
První měření jsme prováděli s čistým benzínem (Natural 95) v rozmezí otáček od  $1\,750\text{ min}^{-1}$  do  $5\,000\text{ min}^{-1}$  a při 100 % otevření škrticí klapky. Otáčky byly zvýšeny vždy po  $250\text{ min}^{-1}$ . Měření probíhalo s autokorekcí což znamená, že dávka paliva byla korigována v průběhu měření řídicí jednotkou tak, aby hodnota lambdy byla ve všech bodech konstantní.

Před spuštěním vlastního měření, motor a provozní kapaliny bylo nutné zahřát na provozní teplotu, což v případě vody bylo  $80\text{ °C}$  a v případě oleje  $90\text{ °C}$ . Pro ustálení teplot provozních kapalin, jsme nechali motor běžet na jednotlivých otáčkách cca. 3-4 min, pak jsme spustili záznam dat. Aby měření bylo co nejvíce přesné, záznam hodnot jsme provedli 3krát za sebou pro každé otáčky, s frekvencí 20 Hz po dobu 10 sekund. Tyto hodnoty následně byly automaticky zprůměrnovány pomocí počítače. Po naměření posledních hodnot, jsme otáčky snížili na úroveň volnoběhu a po uplynutí pár minut jsme motor vypnuli a nechali vychladit.

Dalším krokem bylo odebrání vzorku paliva z palivové lišty pro určení teploty a indexu lomu pomocí digitálního refraktometru. Hustoměrem jsme změřili i jeho hustotu. Pomocí těchto hodnot jsme zjistili procentuální obsah etanolu v palivu, což v tomto případě byl 0 %.

Před dalším měřením, které jsme prováděli s vysokoprocentní etanolovou směsí, bylo nutno hlavní palivovou nádrž vypustit, vypláchnout a naplnit novým měřeným palivem. Následně byl motor nastartován, aby se spotřebovaly zbytky předchozího paliva z motoru a palivové potrubí se propláchno novým palivem.

Jelikož stechiometrický poměr etanolu (1:10) je odlišný od benzínu (1:14,7), a z důvodu nedostatečné průtokové charakteristiky vstřikovacích ventilů při vysokých otáčkách, bylo nutno navýšit vstřikovací tlak paliva z 0,3 na 0,5 MPa, a tím zvýšit průtočnou kapacitu vstřikovačů. Protože byl vstřikovací tlak navýšen, museli jsme v dalším kroku provést naladění palivových a předstihových map. V tomto případě předstih byl posunutý o 4° oproti benzínu. Ukázka palivové mapy je vidět na Obr. 18.



**Obr. 18:** Ukázka palivové mapy

Po naladění zmíněných map, motor byl znovu nastartován a dále jsme postupovali jako u benzínu. Na konci měření jsme opět zjistili obsah etanolu v palivové směsi, což byl 70 %, což odpovídá zimní směsi.

Pro poslední měření jsme namíchali vlastní směs benzínu a etanolu. Procentuální podíl etanolu v této směsi byl 32 %, který byl určen zase po měření z odebraného vzorku. Předstih zážehu u tohoto měření byl posunutý o 2° oproti benzínu, jinak byl postup měření stejný jako v předchozích případech.



## 6 VYHODNOCENÍ

Sledování a měření vybraných parametrů motoru se provádělo pomocí čidel zkušebny, která jsou paralelní k čidlům motorovým. Tato motorová čidla byla použita pouze jako vstupy pro řídicí jednotku.

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, naměřené hodnoty byly zprůměrovány z důvodu lepší přehlednosti. Pro další zpracování a vyhodnocení dat byl použit software Microsoft Excel verze 2013. Pro zjednodušení, v další části práci tepelné toky budou označeny jako teplo.

### 6.1 Použité vzorce

#### Energetická rovnováha

Nejčastější vyjádření tepelné bilance je ve tvaru:

$$Q_p = Q_e + Q_{chl} + Q_v + Q_{ost} \quad [kW] \quad (1.1)$$

kde:

$Q_p$  – teplo přivedené do oběhu palivem

$Q_e$  – teplo efektivní, ekvivalentní užitečné práci motoru

$Q_{chl}$  – teplo odvedené chlazením (chladicí kapalina + mazací olej)

$Q_v$  – teplo odvedené výfukovými plyny

$Q_{ost}$  – ostatní tepelné ztráty (odvedený např.: sáláním, mechanickým ztrátám, nedokonalým spálením paliva atd.)

#### Teplo přivedené do oběhu palivem

$$Q_p = \frac{M_{ph} \cdot H_u}{3600} \quad [kW] \quad (1.2)$$

kde:

$M_{ph}$  – hodinová spotřeba paliva [ $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ]

$H_u$  – dolní výhřevnost paliva [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

Jelikož dávky paliva pro jednotlivé válce jsme zaznamenávali v mikrolitrech na cyklus, vzorec pro výpočet hodinové spotřeby bylo nutno upravit následovně:

$$M_{ph} = \frac{M_p \cdot 4 \cdot \rho_p \cdot n \cdot 60}{2 \cdot 10^9} \quad [\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (1.3)$$

kde:

$M_p$  – vstříkované palivo na válec [ $\mu\text{l} \cdot \text{cykl}^{-1}$ ]

$\rho_p$  – hustota paliva [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

$n$  – otáčky motoru [ $\text{min}^{-1}$ ]

### Teplo efektivní, ekvivalentní užitečné práci motoru

$$Q_e = P_e = M_t \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot 10^{-3} \quad [\text{kW}] \quad (1.4)$$

kde:

$P_e$  – efektivní výkon motoru [ $\text{kW}$ ]

$M_t$  – točivý moment motoru [ $\text{Nm}$ ]

$n$  – otáčky motoru [ $\text{min}^{-1}$ ]

### Teplo odvedené chladicí kapalinou

Teplo odvedené chladicím ústrojím motoru lze v motorech s kapalinovým chlazením vypočítat z rovnice:

$$Q_{chl} = M_w \cdot c_w \cdot (t_{w2} - t_{w1}) \quad [\text{kW}] \quad (1.5)$$

kde:

$M_w$  – hmotnostní průtok chladicí kapaliny [ $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ]

$c_w$  – měrná tepelná kapacita chladicí kapaliny [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$t_{w1}$  – vstupní teplota chladicí kapaliny [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_{w2}$  – výstupní teplota chladicí kapaliny [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Hmotnostní průtok chladicí kapaliny se vypočítává z rovnice:

$$M_w = \frac{V_w \cdot \rho_w}{10^3} \quad [\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (1.6)$$

kde:

$V_w$  – objemový průtok chladicí kapaliny [ $\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$ ]

$\rho_w$  – hustota chladicí kapaliny (voda) [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

### **Teplo odvedené mazacím olejem**

$$Q_{chl2} = M_o \cdot c_o \cdot (t_{o2} - t_{o1}) \quad [\text{kW}] \quad (1.7)$$

kde:

$M_o$  – hmotnostní průtok mazacího oleje [ $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ]

$c_o$  – měrná tepelná kapacita mazacího oleje [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$t_{o1}$  – vstupní teplota mazacího oleje [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_{o2}$  – výstupní teplota mazacího oleje [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Hmotnostní průtok mazacího oleje se vypočítává z rovnice:

$$M_o = \frac{V_o \cdot \rho_o}{10^3} \quad [\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (1.8)$$

kde:

$V_o$  – objemový průtok mazacího oleje [ $\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$ ]

$\rho_o$  – hustota mazacího oleje (voda) [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

Výsledné teplo odvedené chlazením se vypočítává sečtením jednotlivých složek chlazení:

$$Q_{chl} = Q_{chl1} + Q_{chl2} \quad [\text{kW}] \quad (1.9)$$

kde:

$Q_{chl1}$  – teplo odvedené chladicí kapalinou [ $\text{kW}$ ]

$Q_{chl2}$  – teplo odvedené mazacím olejem [ $\text{kW}$ ]

## Teplo odvedené výfukovými plyny

Teplo odvedené výfukovými plyny se určí z bilance mezi vstupem pracovního média do motoru (sání) a výstupem ve výfukovém potrubí.

$$Q_v = M_v \cdot c_{vp} \cdot (t_{v2} - t_{v1}) \quad [kW] \quad (1.10)$$

kde:

$M_v$  – hmotnostní tok spalin [ $kg \cdot s^{-1}$ ]

$c_{vp}$  – měrná tepelná kapacita výfukových plynů za stálého tlaku [ $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ]

$t_{v1}$  – teplota nasávaného vzduchu [ $^{\circ}C$ ]

$t_{v2}$  – teplota výfukových plynů [ $^{\circ}C$ ]

Hmotnostní tok spalin se vypočítává z rovnice:

$$M_v = \frac{M_{vz} \cdot M_{ph}}{3600} \quad [kg \cdot s^{-1}] \quad (1.11)$$

kde:

$M_{vz}$  – hmotnostní průtok nasávaného vzduchu [ $kg \cdot h^{-1}$ ]

$M_{ph}$  – hodinová spotřeba paliva [ $kg \cdot h^{-1}$ ]

## Ostatní teplené ztráty

Zbytkové teplo se dá nejjednodušeji vypočítat následovně:

$$Q_{ost} = Q_p - (Q_e + Q_w + Q_v) \quad [kW] \quad (1.12)$$

kde:

$Q_p$  – teplo přivedené do oběhu palivem [ $kW$ ]

$Q_e$  – teplo efektivní, ekvivalentní užitečné práci motoru [ $kW$ ]

$Q_{chl}$  – teplo odvedené chlazením (chladičí kapalina + mazací olej) [ $kW$ ]

$Q_v$  – teplo odvedené výfukovými plyny [ $kW$ ]

Pro sestavení výsledné tepelné bilance musíme jednotlivé složky odváděného tepla vyjádřit v procentech obecně dle následujícího vzorce:

$$q_x = \frac{Q_x}{Q_p} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.13)$$

kde za  $x$  považujeme jednotlivé složky tepelných toků

## 6.2 Výsledky

Zprůměrované hodnoty všech naměřených dat, jsou znázorněné v Tab. 5, Tab. 6 a Tab. 7. Atmosférické podmínky jsou uvedeny nad tabulkami.

**Tab. 5: Zprůměrované hodnoty naměřených dat pro palivo Natural 95**

Teplota: 20°C			Barometrický tlak: 99,618 kPa						Vlhkost: 42 %			
Otáčky motor	Moment motoru	Množství vstříkovaného paliva	Teplota sání	Teplota výfuku	Teplota chladicí kapaliny vstup	Teplota chladicí kapaliny výstup	Teplota mot. oleje vstup	Teplota mot. oleje výstup	Průtok chlazením	Průtok mazáním	MAF napětí	MAF průtok
[1/min]	[Nm]	[μl/válec.cykl]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[l/h]	[l/h]	[V]	[kg/h]
<b>1749,99</b>	105,86	33,80	23,40	739,93	76,24	81,78	84,32	78,58	1864,48	1274,26	1,64	70,02
<b>2000,20</b>	104,59	33,80	22,02	776,19	76,00	80,67	87,52	81,71	2131,76	1409,20	1,87	77,12
<b>2250,07</b>	109,90	34,50	22,35	784,60	74,97	79,49	89,33	84,10	2407,69	1539,52	2,13	83,35
<b>2500,20</b>	109,96	34,70	23,67	815,94	77,19	80,60	93,91	87,48	2686,76	1667,48	2,20	91,33
<b>2750,03</b>	109,28	34,30	24,55	839,54	78,62	82,81	97,75	90,27	2955,64	1757,95	2,26	98,17
<b>3000,03</b>	108,49	33,80	23,91	838,06	75,30	78,79	98,41	91,90	3239,87	1799,94	2,34	105,47
<b>3250,11</b>	108,61	33,70	23,94	845,69	79,06	83,25	100,14	92,94	3515,69	1855,41	2,38	113,44
<b>3500,08</b>	112,95	34,40	24,14	863,21	82,59	86,43	104,64	96,56	3787,81	1960,20	2,51	120,60
<b>3750,03</b>	115,92	35,60	23,62	887,12	79,32	82,65	106,43	98,82	4062,76	2015,83	2,56	129,05
<b>3999,90</b>	119,99	36,50	23,57	893,87	76,04	79,60	108,16	100,91	4326,75	2072,74	2,62	134,45
<b>4249,95</b>	126,03	38,40	23,63	908,30	77,43	81,44	110,11	102,66	4590,24	2138,03	2,74	140,02
<b>4500,10</b>	126,65	38,60	23,68	922,25	78,78	82,62	112,11	104,29	4870,40	2195,52	2,80	145,62
<b>4749,78</b>	124,95	38,60	23,89	940,03	80,22	84,01	115,12	106,82	5141,02	2258,71	2,87	144,93
<b>4999,95</b>	125,41	38,70	23,98	952,66	81,41	85,18	118,81	109,87	5407,11	2329,79	2,92	143,43

**Tab. 6: Zprůměrované hodnoty naměřených dat pro palivo E70**

**Teplota: 20°C**

**Barometrický tlak: 99,618 kPa**

**Vlhkost: 42 %**

Otáčky motor	Moment motoru	Množství vstříkovaného paliva	Teplota sání	Teplota výfuku	Teplota chladicí kapaliny vstup	Teplota chladicí kapaliny výstup	Teplota mot. oleje vstup	Teplota mot. oleje výstup	Průtok chlazením	Průtok mazáním	MAF napětí	MAF průtok
[1/min]	[Nm]	[μl/válec.cykl]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[l/h]	[l/h]	[V]	[kg/h]
<b>1749,99</b>	110,14	41,20	22,04	711,24	76,01	79,94	88,20	82,70	1848,57	1275,76	1,63	72,44
<b>2000,02</b>	108,10	40,70	22,84	745,39	85,47	91,22	90,85	84,99	2138,04	1410,24	1,86	82,00
<b>2249,89</b>	112,63	42,40	20,54	763,37	75,71	79,85	92,39	87,67	2409,12	1548,14	2,11	91,05
<b>2499,99</b>	113,70	42,30	18,79	785,19	86,15	91,46	95,63	89,36	2690,07	1673,24	2,20	100,66
<b>2750,08</b>	113,62	42,20	22,06	804,72	78,00	81,65	98,17	92,01	2951,32	1744,78	2,27	108,80
<b>3000,03</b>	111,56	41,30	22,73	804,28	78,87	82,76	99,81	93,11	3228,64	1800,00	2,34	115,46
<b>3249,95</b>	112,15	41,40	20,98	818,29	78,99	82,71	101,56	94,42	3513,04	1856,75	2,39	123,82
<b>3500,04</b>	118,74	43,30	17,18	829,16	78,60	82,37	103,19	95,73	3785,18	1918,72	2,53	132,09
<b>3749,93</b>	120,04	44,10	18,09	849,44	79,02	82,78	105,19	97,46	4056,82	1977,63	2,56	138,86
<b>4000,00</b>	123,33	46,00	20,88	860,49	80,06	83,84	108,22	100,08	4322,34	2050,64	2,61	144,58
<b>4250,02</b>	129,18	48,10	22,16	875,22	80,32	84,07	111,02	102,80	4585,03	2128,71	2,72	147,95
<b>4500,01</b>	129,88	48,20	22,80	888,28	80,40	84,00	113,80	105,41	4855,59	2196,90	2,80	152,52
<b>4750,05</b>	129,94	48,40	23,16	900,74	80,36	84,05	116,29	107,92	5133,24	2250,50	2,86	155,76
<b>4999,79</b>	131,32	48,70	22,04	911,83	80,34	84,12	119,42	110,84	5405,70	2320,02	2,91	150,08

**Tab. 7: Zprůměrované hodnoty naměřených dat pro palivo E32**

**Teplota: 20°C**

**Barometrický tlak: 99,618 kPa**

**Vlhkost: 42 %**

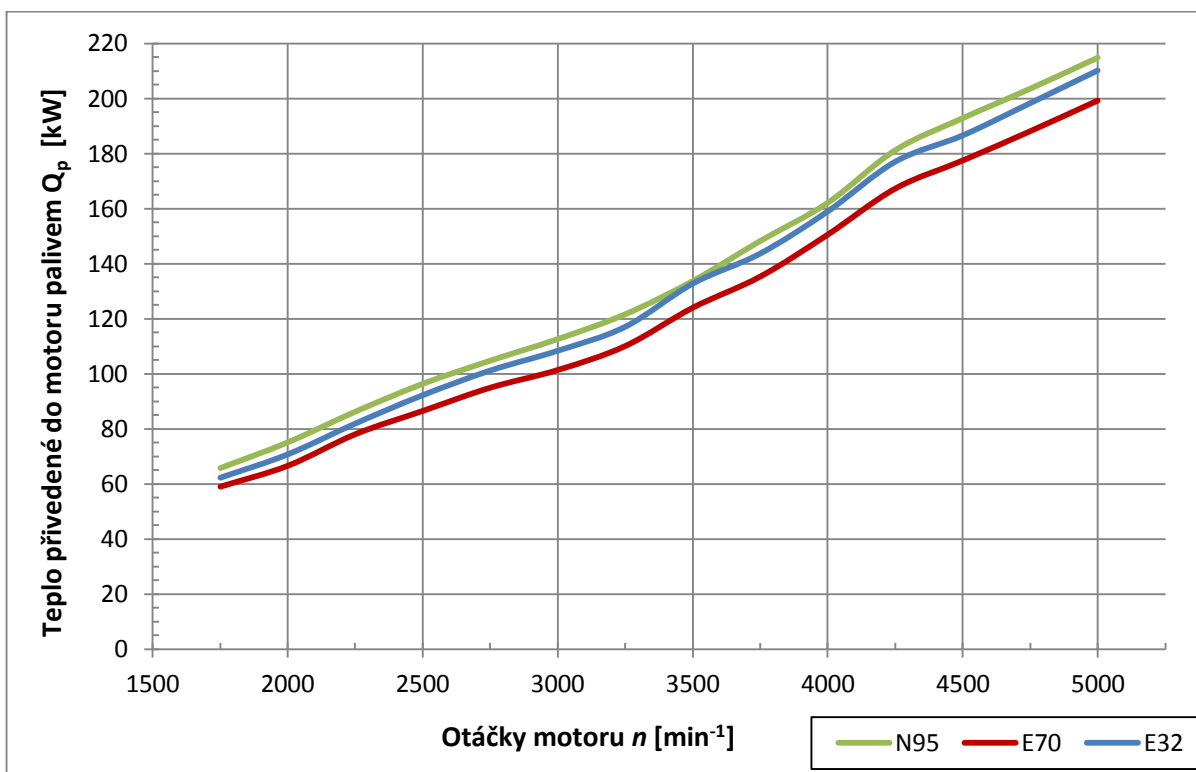
Otáčky motor	Moment motoru	Množství vstříkovaného paliva	Teplota sání	Teplota výfuku	Teplota chladicí kapaliny vstup	Teplota chladicí kapaliny výstup	Teplota mot. oleje vstup	Teplota mot. oleje výstup	Průtok chlazením	Průtok mazáním	MAF napětí	MAF průtok
[1/min]	[Nm]	[μl/válec.cykl]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[l/h]	[l/h]	[V]	[kg/h]
<b>1750,02</b>	108,15	37,20	23,55	717,19	78,25	83,96	89,88	85,00	1857,71	1280,02	1,63	70,58
<b>1999,99</b>	106,40	37,00	23,66	749,21	85,55	91,46	91,69	85,91	2141,52	1412,15	1,89	79,62
<b>2250,05</b>	111,02	38,10	21,34	769,28	77,63	80,87	93,94	88,54	2404,10	1557,85	2,11	88,79
<b>2499,92</b>	114,20	38,60	16,86	788,86	76,34	80,39	94,58	89,36	2676,29	1648,15	2,19	97,82
<b>2749,94</b>	113,83	38,50	14,34	805,42	76,15	80,20	95,73	90,05	2951,04	1694,47	2,27	106,40
<b>2999,94</b>	112,95	37,80	13,50	809,69	76,22	80,18	97,64	91,03	3227,81	1752,95	2,33	112,73
<b>3249,96</b>	112,80	37,70	13,12	822,89	76,64	80,51	99,41	92,49	3503,64	1809,88	2,38	121,26
<b>3499,98</b>	120,26	39,70	13,06	836,04	77,20	81,24	101,40	94,07	3781,74	1880,31	2,49	124,90
<b>3749,90</b>	120,94	40,10	12,87	856,38	78,67	82,65	104,13	96,20	4055,15	1947,20	2,58	131,63
<b>4000,01</b>	125,50	41,60	12,89	868,67	79,94	83,95	107,29	98,73	4321,83	2027,59	2,67	138,84
<b>4249,99</b>	131,75	43,60	12,88	882,82	80,28	84,22	110,23	101,67	4589,66	2113,38	2,77	147,29
<b>4499,99</b>	131,35	43,40	12,97	896,47	80,37	84,15	114,09	105,42	4857,21	2193,81	2,83	152,83
<b>4749,97</b>	131,66	43,70	13,10	910,47	80,34	84,15	116,83	108,16	5127,91	2252,52	2,87	157,73
<b>5000,07</b>	132,05	44,00	14,41	921,28	80,50	84,22	120,60	112,02	5406,18	2329,36	2,92	153,96

### 6.2.1 Teplo přivedené do motoru palivem

Energie, která je obsažená v palivu, je rovná teplu přiváděnému palivem do pracovního oběhu motoru. Množství tohoto tepla se dá považovat za výchozí hodnotu tepelné bilance. Vypočtené hodnoty tepla, přivedeného do oběhu u zkoušených paliv, jsou uvedeny v Tab. 8.

**Tab. 8:** Vypočtené hodnoty tepla přivedeného do oběhu pomocí jednotlivých paliv

Otáčky $n$ [1/min]	Palivo N95 $Q_p$ [kW]	Palivo E70 $Q_p$ [kW]	Palivo E32 $Q_p$ [kW]
1750	65,62	58,97	62,18
2000	75,00	66,57	70,68
2250	86,12	78,02	81,88
2500	96,25	86,49	92,16
2750	104,65	94,92	101,12
3000	112,49	101,33	108,30
3250	121,51	110,04	117,02
3500	133,57	123,95	132,71
3750	148,11	135,25	143,62
4000	161,97	150,49	158,93
4250	181,05	167,19	176,98
4500	192,71	177,39	186,53
4750	203,40	188,03	198,25
5000	214,67	199,14	210,12



**Obr. 19:** Grafické znázornění tepla přivedeného do motoru pomocí jednotlivých paliv



Na Obr. 19 je zobrazen graf porovnání průběhu celkového množství tepla přivedeného do pracovního oběhu motoru pomocí jednotlivých zkoušených paliv v závislosti na otáčkách motoru. Z grafu je zřejmé, že průběhy jsou skoro stejné, avšak etanolové směsi vykazují nižší hodnoty.

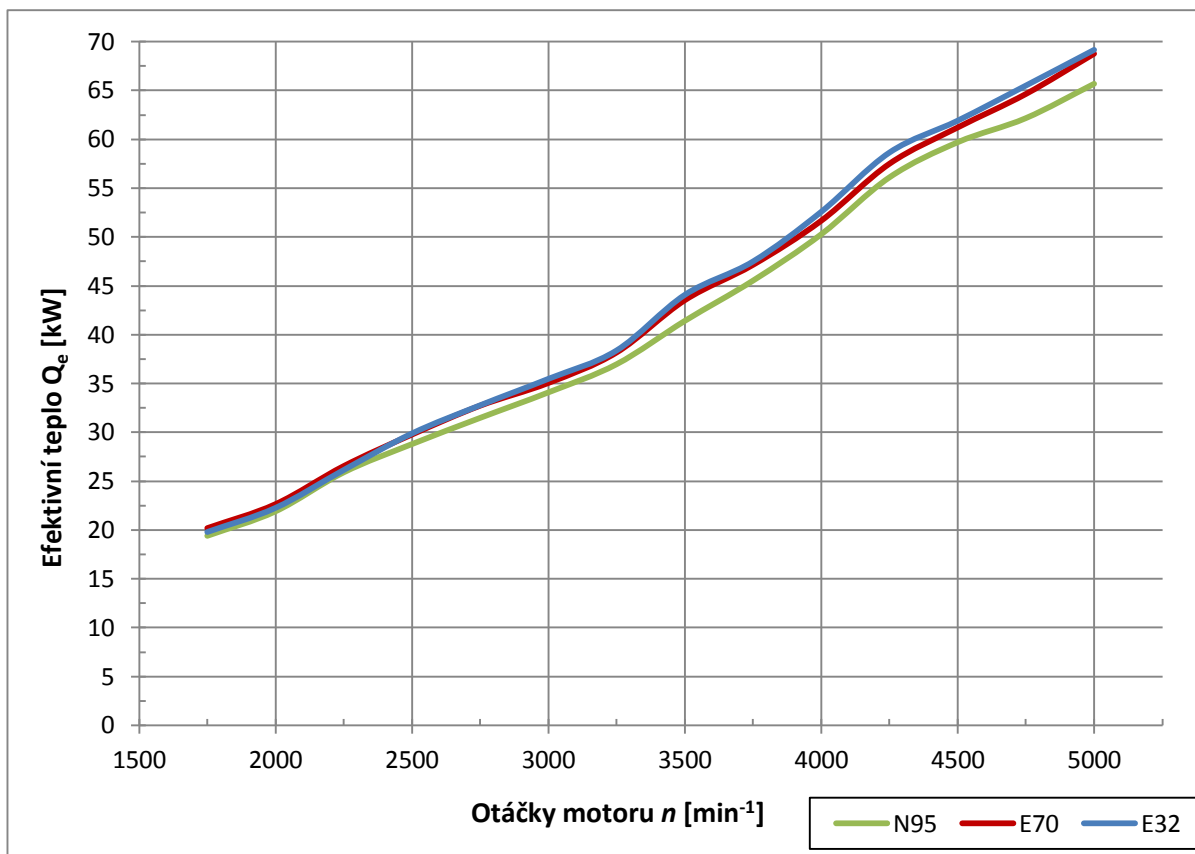
Nejvyšší hodnotu (214,7 kW), dosahuje čistý benzín Natural 95 při maximálních otáčkách (5 000 min<sup>-1</sup>), přičemž při stejných otáčkách palivo s menším procentem etanolu (E32), dosahuje o něco nižší hodnotu (210,1 kW). Ze tří zkoušených paliv zimní směs etanolu (E70) vykazuje nejnižší hodnotu (199,1 kW) při maximálních otáčkách, a to je 15,5 kW rozdíl oproti benzínu. V oblasti nižších otáček je situace podobná. Průměrný rozdíl mezi palivem Natural 95 a palivem E70, v celém rozsahu měřených otáček, vyjádřený v procentech je 8,78 %, což podle mého názoru už je markantní.

### 6.2.2 Efektivní teplo

Jedná se o část tepla přivedeného v palivu za jednotku času, která je ekvivalentem užitečného výkonu změřeného na výstupním hřídeli spalovacího motoru, tj. tato část tepelné energie je využívána na pohon vozidla. V Tab. 9 jsou uvedené vypočtené hodnoty efektivního tepla jednotlivých paliv.

**Tab. 9:** Vypočtené hodnoty efektivního tepla

Otáčky n [1/min]	Palivo N95 Q <sub>e</sub> [kW]	Palivo E70 Q <sub>e</sub> [kW]	Palivo E32 Q <sub>e</sub> [kW]
1750	19,40	20,18	19,82
2000	21,91	22,64	22,29
2250	25,90	26,54	26,16
2500	28,79	29,77	29,90
2750	31,47	32,72	32,78
3000	34,08	35,05	35,49
3250	36,96	38,17	38,39
3500	41,40	43,52	44,08
3750	45,52	47,14	47,49
4000	50,26	51,66	52,57
4250	56,09	57,49	58,64
4500	59,68	61,21	61,90
4750	62,15	64,64	65,49
5000	65,66	68,75	69,14



**Obr. 20:** Grafické znázornění průběhů efektivního tepla

Grafické vyjádření efektivního tepla pro jednotlivá paliva v závislosti na otáčkách motoru je znázorněna na Obr. 20. Z grafu vyplývá, že s rostoucími otáčkami etanolové směsi E32 a E70 postupně vykazují vyšší hodnoty efektivního tepla než Natural 95.

Nejvyšší hodnotu efektivního tepla (69,1 kW) dosahuje palivo E32 při maximálních měřených otáčkách (5 000  $\text{min}^{-1}$ ), ale i palivo E70 dosahuje hodnotu 68,8 kW, což je jenom 0,4 kW rozdíl, který je zanedbatelný. Motor při spalování paliva Natural 95 dosahoval nejnižší hodnotu efektivního tepla (65,7 kW), což je o 3,5 kW nižší oproti paliva E32.

Z grafu je také patrné, že v oblasti nižších otáček průběhy všech paliv dosahují víceméně stejné hodnoty a navzájem se překrývají. Od otáček 2 250  $\text{min}^{-1}$ , se průběh efektivního tepla pro Natural 95 odchýlil od průběhů etanolových směsí, které se dále pohybují na stejné úrovni dosažených hodnot. Vyšší dosažené hodnoty efektivního tepla u etanolových směsí oproti benzínu, se dají vysvětlit tím, že etanol obsahuje ve své molekule víc kyslíku než benzin a proto dochází k efektivnějším hoření.

### 6.2.3 Teplo odvedené chlazením

Tato část tepla se dělí na teplo odvedené chladicí kapalinou a teplo odvedené mazacím olejem. Výsledné hodnoty pro jednotlivá zkušební paliva jsou uvedeny v Tab. 10.

Tab. 10: Vypočtené hodnoty tepla odvedeného chlazením motoru

Otáčky $n$ [1/min]	Palivo N95 $Q_e$ [kW]	Palivo E70 $Q_e$ [kW]	Palivo E32 $Q_e$ [kW]
1750	15,14	11,51	14,92
2000	15,10	17,71	18,08
2250	16,11	14,74	12,75
2500	15,39	21,00	16,30
2750	20,14	17,19	18,04
3000	18,31	19,83	19,90
3250	22,87	20,98	21,22
3500	23,79	22,82	23,72
3750	22,43	24,36	25,47
4000	24,44	26,20	27,67
4250	28,22	27,59	28,84
4500	29,18	28,34	29,59
4750	30,75	30,17	31,16
5000	32,71	32,34	32,03



Obr. 21: Grafické znázornění průběhů tepla odvedeného chlazením

Grafické znázornění tepla odvedeného chlazením v závislosti na otáčkách motoru zobrazuje Obr. 21. Jak je z grafu zřejmé, průběh paliva Natural 95 kolísá v celém rozsahu měřených otáček, avšak průběhy etanolových směsí kolísají jenom v oblasti nižších otáček. K výkyvu jednotlivých průběhů, docházelo kvůli neustálení teplot chladicí kapaliny během měření při některých otáčkách. Tento jev se dá považovat za chybu měření. Když nebereme v úvahu kolísání teplot chladicí kapaliny, tak můžeme konstatovat, že tepelné toky pro všechna paliva rostou téměř stejně.

Z grafu se dá také vyčíst, že chlazením odvedené teplo při maximálních měřených otáčkách ( $5\,000\text{ min}^{-1}$ ) se pohybuje v rozmezí 32 až 33 kW u všech ze zkoušených paliv. Nejvyšší hodnotu (32,7 kW) jsme dosáhli při spalování paliva Natural 95, ale i při spalování etanolových směsí jsme dosáhli přibližně stejné hodnoty (E70 – 32,3 kW, E32 – 32 kW).

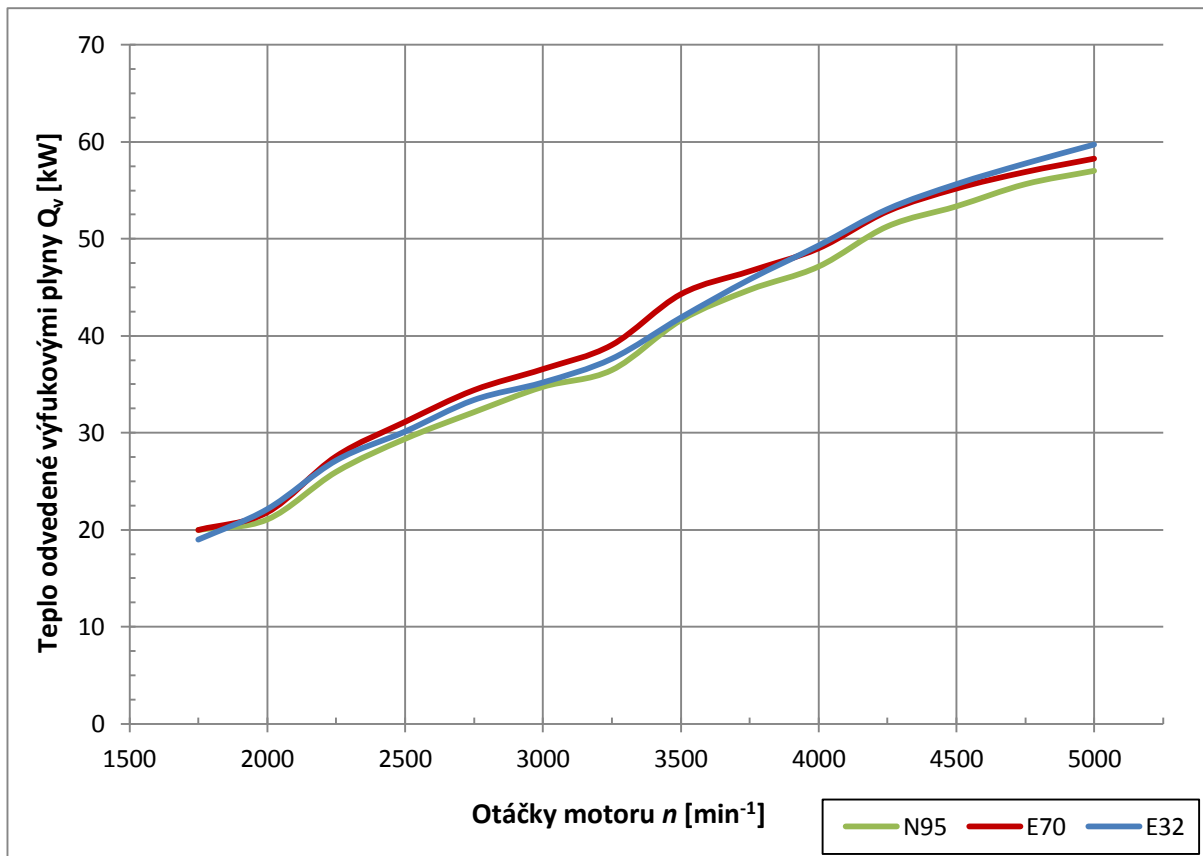
Při nejnižších měřených otáčkách  $1\,750\text{ min}^{-1}$  nejnižší hodnotu 11,5 kW vykazuje palivo E70, pak následuje palivo E32 – 14,9 kW a Natural 95 – 15,1 kW.

#### 6.2.4 Teplo odvedené výfukovými plyny

Největší část tepla je ztracena ve výfukovém traktu motoru. Vypočtené hodnoty tepla odvedeného výfukovými plyny pro jednotlivá zkoušená paliva jsou uvedeny v Tab. 11.

**Tab. 11:** Vypočtené hodnoty tepla odvedeného výfukovými plyny

Otáčky n [1/min]	Palivo N95 $Q_v$ [kW]	Palivo E70 $Q_v$ [kW]	Palivo E32 $Q_v$ [kW]
1750	19,98	19,96	19,01
2000	21,06	21,78	22,15
2250	25,96	27,55	27,17
2500	29,37	31,11	30,15
2750	32,13	34,39	33,41
3000	34,73	36,56	35,22
3250	36,46	39,04	37,66
3500	41,59	44,28	41,89
3750	44,73	46,66	45,84
4000	47,13	49,02	49,33
4250	51,27	52,84	53,08
4500	53,34	55,19	55,67
4750	55,62	56,89	57,79
5000	57,01	58,27	59,75



**Obr. 22:** Grafické znázornění průběhů tepla odvedeného výfukovými plyny

Pro porovnání na Obr. 22 jsou vyneseny závislosti tepla odvedeného výfukovými plyny na otáčkách motoru při spalování jednotlivých zkoušených paliv.

Z grafu je patrné, že k nejmenším ztrátám tepla dochází při spalování paliva Natural 95 a to v celém rozsahu měřených otáček. Nejvyšší hodnotu (57 kW) dosáhl při maximálních naměřených otáčkách (5 000 min<sup>-1</sup>). Při spalování paliva E32 dochází jenom o něco vyšším ztrátám tepla, než při paliva Natural 95, až do otáček 3 750 min<sup>-1</sup>. Po dosažení těchto otáček se však jeho křivka výrazněji odchýlí od křivky paliva Natural 95 a při maximálních měřených otáčkách (5 000 min<sup>-1</sup>) už dosahuje hodnotu 59,8 kW, což je větší než maximální dosažená hodnota paliva E70 (58,3 kW). V porovnání s benzínem a palivem E32, k největším ztrátám tepla, odvedeného výfukovými plyny dochází v rozmezí otáček 2 250 – 4 000 min<sup>-1</sup> při spalování paliva E70.

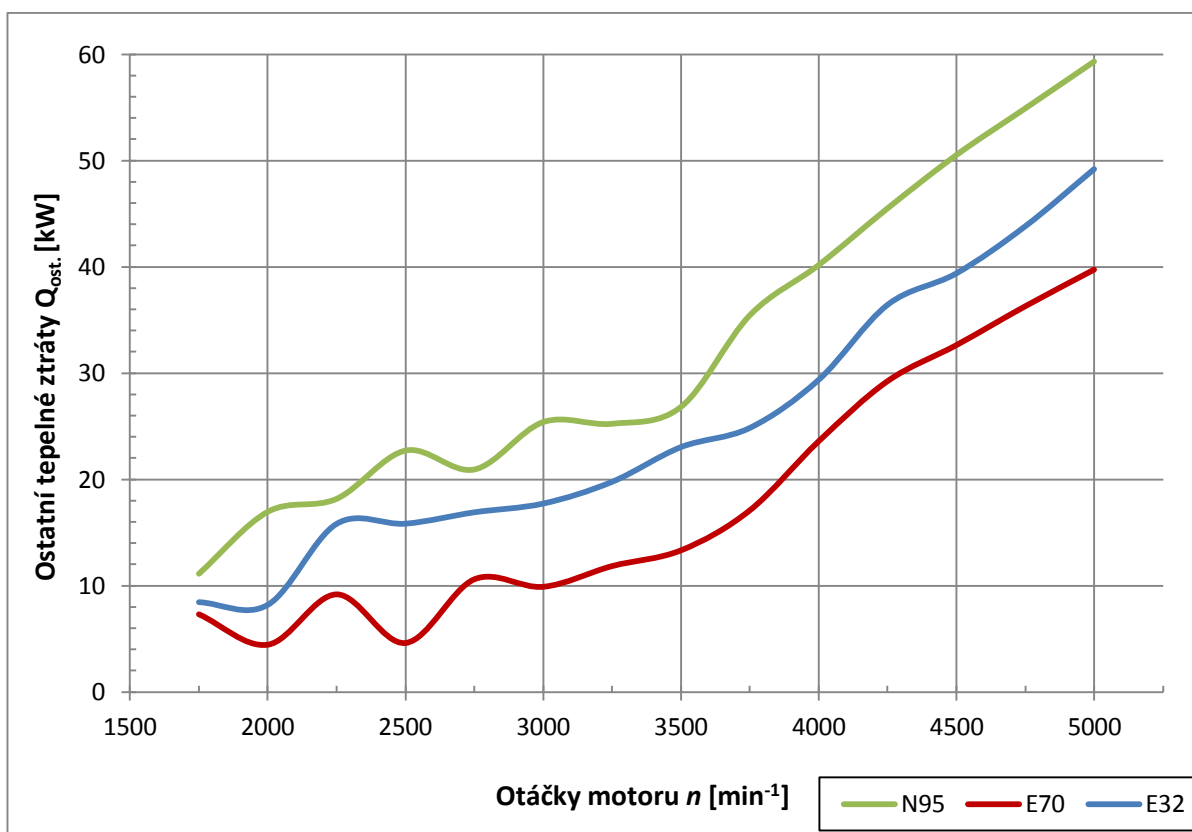
V oblasti nejnižších otáček průběhy etanolových směsí vykazují přibližně stejné hodnoty a navzájem se překrývají. Výraznější odchýlení křivky paliva E70 můžeme pozorovat od otáček 2 250 min<sup>-1</sup> až do 3 750 min<sup>-1</sup>. Po dosažení těchto otáček všechny křivky etanolových směsí zase vykazují přibližně stejné hodnoty.

## 6.2.5 Ostatní tepelné ztráty

Mezi ostatní tepelné ztráty zahrnujeme všechny ztráty tepla, které nevyjadřuje žádný z předchozích uvedených členů. Takové ztráty jsou např.: teplo odvedené sáláním, mechanické ztráty, ztráty důsledkem nedokonalého spálení paliva atd. V Tab. 12. jsou uvedeny vypočtené hodnoty ostatních tepelných ztrát pro jednotlivá paliva.

**Tab. 12:** Vypočtené hodnoty ostatních tepelných ztrát

Otáčky n [1/min]	Palivo N95 Q <sub>ost.</sub> [kW]	Palivo E70 Q <sub>ost.</sub> [kW]	Palivo E32 Q <sub>ost.</sub> [kW]
1750	11,10	7,31	8,42
2000	16,93	4,45	8,17
2250	18,15	9,19	15,80
2500	22,69	4,61	15,81
2750	20,91	10,61	16,88
3000	25,37	9,90	17,70
3250	25,21	11,85	19,75
3500	26,80	13,33	23,02
3750	35,42	17,10	24,82
4000	40,14	23,61	29,35
4250	45,48	29,27	36,41
4500	50,50	32,66	39,37
4750	54,88	36,32	43,81
5000	59,29	39,77	49,19



**Obr. 23:** Grafické znázornění průběhů ostatních tepelných ztrát

Grafické porovnání ostatních tepelných ztrát při spalování jednotlivých zkoušených paliv v závislosti na otáčkách motoru je znázorněno na Obr. 23. Jak můžeme vidět na grafu, tady jsou již větší rozdíly mezi jednotlivými palivy v celém rozsahu měřených otáček. Tyto rozdíly ovlivňuje více faktorů, jako např. teplota spalování, mazací vlastnosti paliva atd.

Největší tepelné ztráty vykazuje palivo Natural 95. Jeho křivka v oblasti nižších otáček (mezi 1 750 – 3 500 min<sup>-1</sup>) sice kolísá, ale roste jenom mírně. V oblasti vyšších otáček (od 3 750 až do 5 000 min<sup>-1</sup>) už narůstá strměji, ale lineárně. Při maximálních měřených otáčkách dosahuje hodnoty až 59,3 kW.

Směsné palivo, s větším procentem benzínu (E32), vykazuje výrazně nižší tepelné ztráty než Natural 95. V rozmezí otáček 2 000 – 2 250 min<sup>-1</sup> vidíme větší odchýlení křivky, pak už postupně roste až do její nejvyšší dosažené hodnoty, což je 49,2 kW. Oproti palivu Natural 95 je to 10,1 kW rozdíl.

Motor ztratil nejméně tepla v tomto případě při spalování zimní směsi etanolu E70. Sice v oblasti nižších otáček křivka kolísá, ale roste ještě mírněji než při spalování paliva Natural 95 ve stejné oblasti otáček. Od otáček 3 500 min<sup>-1</sup> křivka už narůstá strměji. Její nejvyšší dosažená hodnota je 39,8 kW, což je 19,5 kW rozdíl od maximální hodnoty benzínu.

Ke kolísání jednotlivých křivek, docházelo kvůli neustálení teploty provozních médií během měření při některých otáčkách.

### 6.2.1 Výsledná tepelná bilance

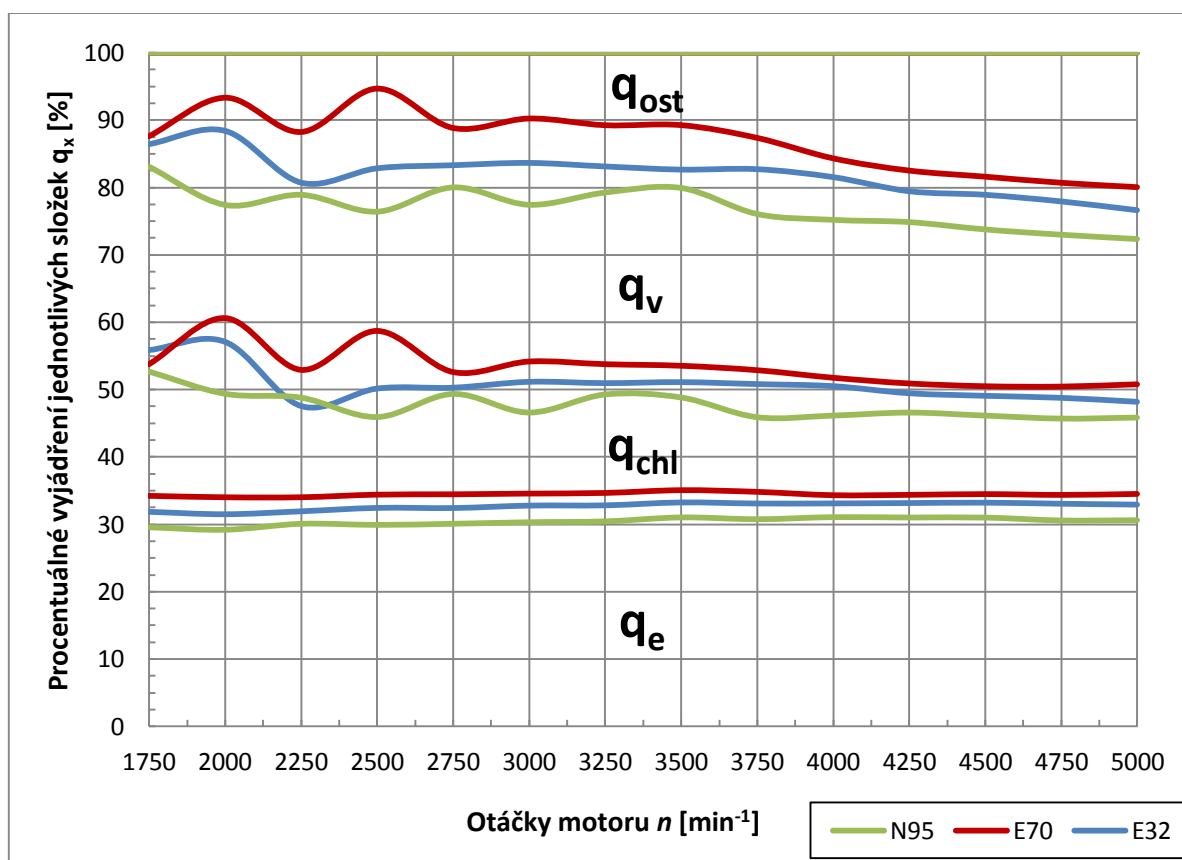
Pro sestavení výsledné tepelné bilance, byly jednotlivé složky vyjádřeny v procentech. Aby byly výsledky co nejvíce porovnatelné mezi sebou, jsou sestaveny do jednoho grafu v závislosti na měřených otáčkách, viz Obr. 24. Na tomto grafu teplo přivedené do motoru palivem představuje 100 % a další složky jsou rozděleny podle toho.

Na grafu můžeme vidět 4 úrovně, resp. 4 plochy, které představují procentuálně vyjádřené velikosti jednotlivých složek tepelné bilance. První plocha od 0 % až do 35 % znázorňuje velikost efektivního tepla při spalování jednotlivých paliv. Z grafu můžeme vyčíst, že při spalování paliva E70 dochází k největšímu využívání tepla pro pohon motoru. Jeho hodnoty se pohybují kolem 34 %. Oproti palivu E70, při spalování benzínu dochází k nejmenšímu využití efektivního tepla. Tady se hodnoty pohybují kolem 31 %. Při spalování nízkoprocentní etanolové směsi E32 se hodnoty pohybují kolem 33 %.

Druhá plocha mezi 35 % až 60 % vyjadřuje teplo odvedené chlazením. V této části grafu můžeme pozorovat značné vlnění jednotlivých křivek. Jak již bylo zmíněno v kap. 6.2.3, k vlnění docházelo kvůli kolísání teplot chladicí kapaliny během měření. Nicméně i navzdory tomu jednotlivá paliva vykazují přibližně stejné hodnoty. V průměru nejvíce tepla je odvedeno chlazením při spalování paliva E70. Hodnoty se pohybují kolem 19 %. Při spalování paliva E32 jsou hodnoty jenom o něco menší, pohybují se kolem 18 %. Nejméně tepla je odvedeno chlazením při spalování paliva Natural 95, kde se hodnoty pohybují kolem 17 %.

Třetí plocha mezi 60 % až 95 % vyjadřuje teplo odvedené výfukovými plyny. Jelikož pro sestavení grafu jsou hodnoty přičtené k předchozím, proto jsou tvary křivek dost podobné. Hodnoty tepla odvedeného výfukovými plyny pro palivo E70 – kolem 34 %; palivo E32 – kolem 31 % a palivo Natural 95 – kolem 29 %.

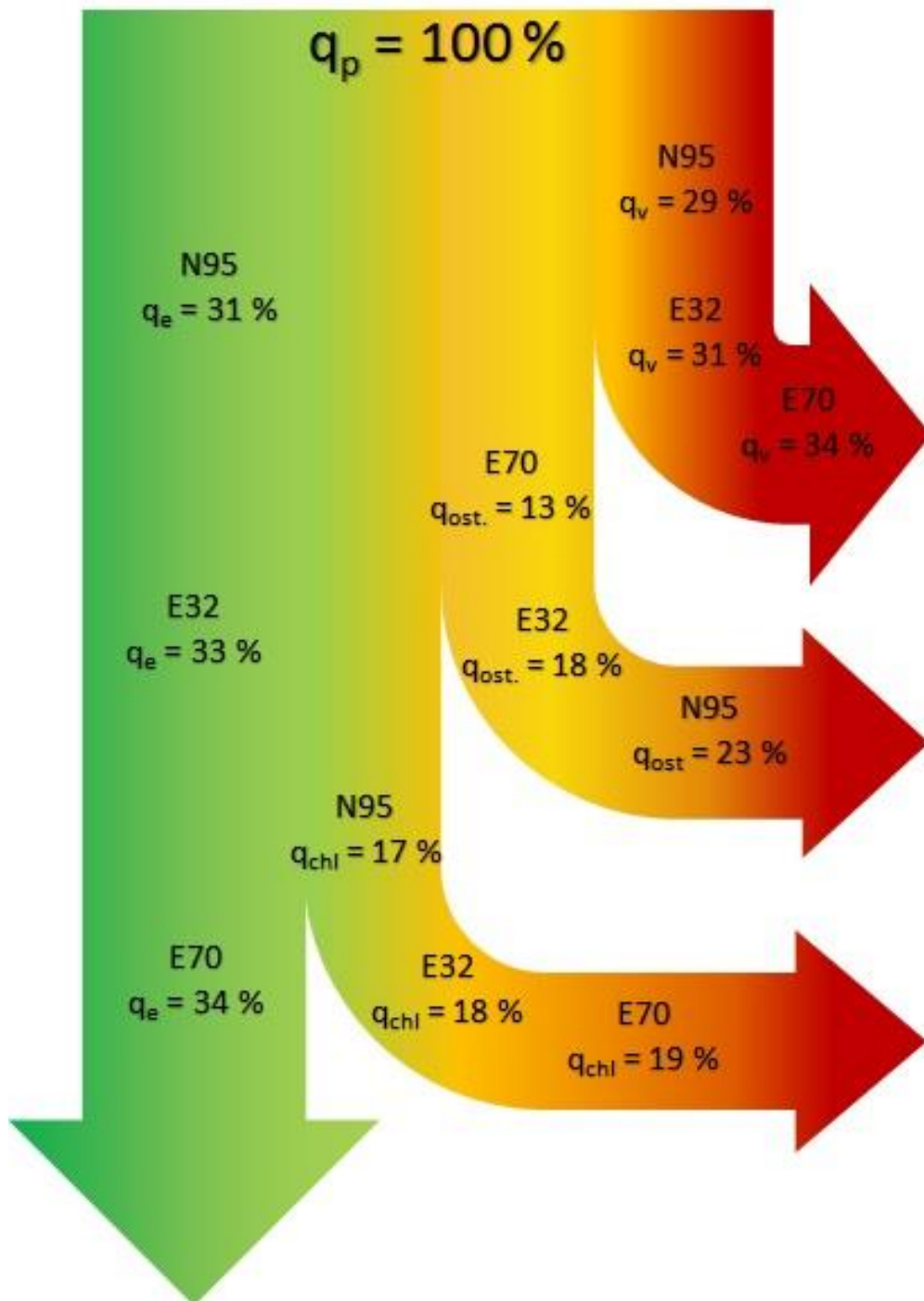
Čtvrtá plocha (zbytek do 100 %) vyjadřuje ostatní tepelné ztráty, kde jednotlivá paliva vykazují tyto hodnoty: palivo E70 – kolem 13 %; palivo E32 – kolem 18 % a palivo Natural 95 – kolem 23 %.



Obr. 24: Tepelná bilance zážehového motoru při spalování různých paliv



Tepelná bilance se nejčastěji vyjadřuje pomocí Sankeyova digramu, který můžeme vidět na Obr. 25.



Obr. 25: Tepelná bilance vynesená do Sankeyova digramu

## 7 DISKUSE A ZÁVER

Tepelná bilance spalovacího motoru slouží k určení velikosti složek tepla, na které se rozdělí celkové teplo přivedené do motoru palivem. Teoretické vyjádření těchto složek nelze provést s dostatečnou přesností, proto tepelnou bilanci sestavujeme na základě výsledků naměřených přímo na motoru v laboratorních podmínkách, na speciálně vybaveném stanovišti. Podle potřeby tepelná bilance se zjišťuje v závislosti na různých veličinách, jako jsou otáčky, zatížení, složení směsi atd.

Hlavním cílem této práce bylo navrhnout a provést měření tepelné bilance zážehového motoru, provozovaného na palivo obsahující etanol. Dostupná odborná literatura tepelnou bilanci spalovacích motorů bohužel se věnuje jenom částečně a konkrétní studie, kde se zabývají přímo s vlivem etanolu na tepelnou bilanci, se mi nepovedlo ani po obsáhlém hledání najít. Avšak v současné době etanol, jako alternativní palivo se těší stále větší oblibě, proto se domnívám, že moje práce, i když malou mírou, přispěje k lepšímu pochopení této náročné a obsáhlé problematiky.

Pro ověření správnosti vyhodnocených dat, jsem výsledky porovnával s dostupnou odbornou literaturou, kde autoři uvádějí mezní hodnoty jednotlivých složek tepelné bilance. Tyto mezní hodnoty nejsou jednotné, ale výrazně se neodlišují. Odlišnost pravděpodobně vychází z náročnosti vyjádření těchto hodnot a rozdílnosti podmínek, při kterých byly zjišťovány.

Například Hlavňa V. et al. (2000) ve své publikaci „*Dopravný prostriedok – jeho motor*“ udává hodnoty, které jsou uvedeny v Tab. 13.

**Tab. 13:** Hodnoty tepelné bilance podle Hlavňa et al. (2000) [12]

$q_e$ [%]	$q_{chl.}$ [%]	$q_v$ [%]	$q_{ns}$ [%]	$q_{ost.}$ [%]
21 – 28	21 – 28	30 – 55	0 – 4	3 – 10

Z tabulky je patrné, že autoři počítají i se složkou  $q_{ns}$ , která vyjadřuje tepelný tok ztracené nedokonalým spálením paliva. Jelikož k určení této složky jsou zapotřebí náročné a těžko měřitelné údaje, jako např. procento nedokonale spáleného spalitelného prvku v emisích apod., proto tuto část ztráty v této práci označuji jako ostatní tepelné toky.

Hromádko J. et al. (2011) v knize „*Spalovací motor*“ však udávají větší rozsah pro jednotlivé složky tepelné bilance. Hodnoty jsou uvedeny v Tab. 14.

**Tab. 14:** Hodnoty tepelné bilance podle Hromádka et al. (2011) [13]

$q_e$ [%]	$q_{chl.}$ [%]	$q_v$ [%]	$q_{ns}$ [%]	$q_s$ [%]	$q_m$ [%]
25 – 35	12 – 30	30 – 55	0 – 10	0 – 5	5 – 10

V této publikaci autoři ostatní tepelné toky ( $q_{ost.}$ ) rozebírají na tepelný tok odvedené sáláním ( $q_s$ ), na tepelný tok představující mechanické ztráty ( $q_m$ ) a na tepelný tok ztracené nedokonalým spálením paliva ( $q_{ns}$ ). Pro velikost těchto složek autoři udávají zvlášť konkrétní rozsah. Této hodnoty jsem zařadil do složky ostatní tepelné toky.

Maďarský autor Bihari P. (2012) ve své publikaci „*Energetikai alapismeretek*“ (Základy energetiky) zase uvádí menší rozsah, blížíci se k hodnotám které uvádí Hlavňa et al. Hodnoty tepelné bilance dle Bihari P. jsou uvedené v Tab. 15.

**Tab. 15:** Hodnoty tepelné bilance podle Bihari P. (2012) [9]

$q_e$ [%]	$q_{chl.}$ [%]	$q_v$ [%]	$q_{ns}$ [%]	$q_{ost.}$ [%]
20 – 26	20 – 33	25 – 35	0 – 15	10 – 25

Autor zde stejně zařazuje dílčí ztráty mezi ostatní tepelné toky ( $q_{ost.}$ ), nicméně rozsah udává mnohem větší než Hlavňa et al.

Po porovnání mých naměřených výsledků tepelné bilance spalovacího motoru, provozovaného na palivo obsahující etanol, s hodnotami jednotlivých autorů, je patrné, že každé z měřených tepelných toků je v udávaném rozmezí, jak při spalování benzínu tak při spalování etanolových směsí. Tato skutečnost potvrzuje správnost dosažených výsledků a zvolené metodiky používané k měření a vyhodnocení tepelné bilance v této práci. Obecně lze konstatovat, že etanol má příznivý vliv na tepelnou bilanci zážehového motoru, protože teplo palivem přivedeného, se více využívá na jeho pohon než při spalování klasického benzínu. Tepelný tok odvedené výfukovými plyny a chlazením je při spalování etanolové směsi větší, ale ostatní tepelné ztráty vykazují mnohem menší hodnotu. Když vycházíme z těchto faktů, můžeme říct, že etanolové palivo mírně zvyšuje účinnost motoru. Závěrem můžeme konstatovat, že etanol má perspektivu jako plnohodnotné palivo zážehových motorů v době klesajících zdrojů fosilních paliv, protože se dá poměrně jednoduše vyrobit z obnovitelných zdrojů a proto se právem domnívám, že v nedaleké budoucnosti dojde k navýšení jeho poptávky na světovém trhu. Také je nesmírně důležité být technicky připraven na tuto změnu, abychom na ni mohli včas a správně reagovat.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] AUTO.CZ. *Volvo FlexiFuel System*. [online]. [cit. 2015-02-11], Dostupné z: [http://img.auto.cz/news/img/galleries/2007-30/voff05\\_46a8409633506.jpg](http://img.auto.cz/news/img/galleries/2007-30/voff05_46a8409633506.jpg)
- [2] AUTOLEXIKON.NET. *Biodiesel (Bionafta)*. [online]. [cit. 2015-02-09], Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/biodiesel-bionafta/>
- [3] AUTOLEXIKON.NET. *Bioetanol*. [online]. [cit. 2015-02-11], Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/bioetanol/>
- [4] AUTOLEXIKON.NET. *CNG (Compressed Natural Gas)*. [online]. [cit. 2015-02-04], Dostupné z: [http://cs.autolexicon.net/obr\\_clanky/cs\\_cng\\_002.jpg](http://cs.autolexicon.net/obr_clanky/cs_cng_002.jpg)
- [5] AUTOLEXIKON.NET. *HTFC (High Temperature Fuel Cell)*. [online]. [cit. 2015-02-11], Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/htfc-high-temperature-fuel-cell/>
- [6] AUTOLEXIKON.NET. *LPG (Liquefied Petroleum Gas)*. [online]. [cit. 2015-02-03], Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/lpg-liquefied-petroleum-gas/>
- [7] AUTOLEXIKON.NET. *Přehled limitů jednotlivých emisních norem EURO*. [online]. [cit. 2015-01-24], Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro/>
- [8] AUTOPRESS.CZ. *Praktická dílna – Alternativní paliva*. (07-08/2003), [online]. [cit. 2015-02-03], Dostupné z: [http://www.dufi.net/black/BOOKS\\_cz/\\_AUTO%20PRIRUCKY/P%C5%99%C3%ADru%C4%8Dky/Prakticka%20dilna%20a%20ucebnice%20AUTOMOBILY/Prakticka%20dilna/Practick%C3%A1%20d%C3%ADlna/Alternativn%C3%AD%20paliva.pdf](http://www.dufi.net/black/BOOKS_cz/_AUTO%20PRIRUCKY/P%C5%99%C3%ADru%C4%8Dky/Prakticka%20dilna%20a%20ucebnice%20AUTOMOBILY/Prakticka%20dilna/Practick%C3%A1%20d%C3%ADlna/Alternativn%C3%AD%20paliva.pdf)
- [9] BIHARI, Péter. *Energetikai alapismeretek*. Publikace, In: EGRT BME Budapest, [online]. Budapest: BME Budapest, 2012, 229 s. [cit. 2015-04-06]. Dostupné z: [ftp://www.energia.bme.hu/pub/energetikai\\_alapismeretek/Energetikai\\_alapismeretek\\_je\\_gyzet.pdf](ftp://www.energia.bme.hu/pub/energetikai_alapismeretek/Energetikai_alapismeretek_je_gyzet.pdf)

- [10] BILÍK, Michal. *Motory na alternativní paliva*. Bakalářská práce, In FSI VUT v Brně, [online]. Brno: VUT v Brně, 2010, 60 s. [cit. 2015-02-03], Dostupné z: [https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/16197/2010\\_BP\\_Bilik\\_Michal\\_100944.pdf?sequence=1](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/16197/2010_BP_Bilik_Michal_100944.pdf?sequence=1)
- [11] BLOKOVÝ GRANT.CZ. *Stručný souhrn vlivů emisí z dopravy na životní prostředí a lidské zdraví: Ekologický právní servis 2008*. [online]. [cit. 2015-01-24], Dostupné z: <http://www.blokovygrant.cz/download.php?id=830&typ=m>
- [12] HLAVŇA, Vladimír. et al. *Dopravní prostředek - jeho motor*. 1. vyd. Žilina: EDIS, 2000, 442 s. ISBN 80-7100-665-3
- [13] HROMÁDKO, Jan. et al. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [14] KAMEŠ, Josef. *Alternativní pohony automobilů*. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2004, 231 s. ISBN 80-7300-127-6
- [15] KOLÁČEK, Stanislav a Michal ČERNÝ. *Senzory ve vozidlech a měření jejich signálů*. In. MENDELNET 2011: Mezinárodní konference posluchačů doktorského studia, Brno 23. listopadu 2011: sborník příspěvků konference [online]. Brno: Mendelu v Brně, 2011, 862 – 872 s. [cit. 2015-03-14]. Dostupné z: [https://mnet.mendelu.cz/mendelnet2011/articles/29\\_kolacek\\_543.pdf](https://mnet.mendelu.cz/mendelnet2011/articles/29_kolacek_543.pdf)
- [16] KŘEPELKA, Václav. *Využití bioetanolu jako paliva v zemědělství (studijní zpráva)*. 1. vyd. Praha: ÚZPI, 1997, 37 s. ISBN 80-86153-34-7
- [17] MATĚJOVSKÝ, Vladimír. *Automobilová paliva*. 1. vyd. Praha: Grada, 2005, 224 s. ISBN 80-247-0350-5
- [18] MIKULÁŠEK, Jan. *Emise vozidlových motorů*. Diplomová práce, In: AF Mendelu v Brně, [online]. Brno: Mendelu v Brně, 2011, 64 s. [cit. 2015-01-24]. Dostupné z: [http://is.mendelu.cz/zp/portal\\_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti\\_zp=26372;%20z\\_p=26372;download\\_prace=1;lang=cz](http://is.mendelu.cz/zp/portal_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti_zp=26372;%20z_p=26372;download_prace=1;lang=cz)

- [19] MIŠELNICKÝ, Lukáš. *Motory na alternativní paliva*. Bakalářská práce, In FSI VUT v Brně, [online]. Brno: VUT v Brně, 2010, 41 s. [cit. 2015-02-09], Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=29968](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29968)
- [20] MOTIVEMAG.COM. *BMW Hydrogen 7*. [online]. [cit. 2015-02-12], Dostupné z: [http://www.motivemag.com/Content/uploads/1/hy4\\_center\\_1.jpg](http://www.motivemag.com/Content/uploads/1/hy4_center_1.jpg)
- [21] NEVTÍPIL, Jakub. *Emisní limity*. Bakalářská práce, In FSI VUT v Brně, [online]. Brno: VUT v Brně, 2013, 35 s. [cit. 2015-01-24]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=64901](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64901)
- [22] NOVÁK, Jaroslav. *Dynamometr na vířivé proudy a jeho regulace*. In: Elektro (odborný časopis). 6/2002, [online]. [cit. 2015-02-03], Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/dynamometr-na-virive-proudy-a-jeho-regulace--14869>
- [23] PASEKA, Petr. *Tepelná bilance motoru*. Diplomová práce, In: AF MZLU v Brně, [online]. Brno: MZLU v Brně, 2009, 81 s. [cit. 2015-01-16]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/auth/lide/clovek.pl?zalozka=7;id=24310;studium=30963;zp=17742;download\\_prace=1;lang=cz](https://is.mendelu.cz/auth/lide/clovek.pl?zalozka=7;id=24310;studium=30963;zp=17742;download_prace=1;lang=cz)
- [24] SLOVNÍK ONLINE.COM. *Bioplyn*. [online]. [cit. 2015-02-09], Dostupné z: <http://slovníkonline.com/img/104o-schema-bioplyn-stance-cz-300dp.jpg>
- [25] SNÁŠEL, Pavel. *Alternativní paliva pro spalovací motory pro komerční automobily*. Bakalářská práce, In FSI VUT v Brně, [online]. Brno: VUT v Brně, 2008, 52 s. [cit. 2015-02-03], Dostupné z: [http://ottp.fme.vutbr.cz/pdf/2008\\_BP\\_Snasel\\_Pavel\\_76079.pdf](http://ottp.fme.vutbr.cz/pdf/2008_BP_Snasel_Pavel_76079.pdf)
- [26] ŠEBOR, Gustav et al. *Technicko – ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě*. 1. část, In: FTOP VŠCHT v Praze, [online]. Praha: VŠCHT v Praze, 2006, 200 s. [cit. 2015-01-24], Dostupné z: [http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/F2EF24EF-5E59-42C7-B6C7-A5508CE8F820/0/Technickoekonomicka\\_analyza\\_vhodnych\\_alternativnich\\_paliv\\_v\\_dopravecast\\_1.pdf](http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/F2EF24EF-5E59-42C7-B6C7-A5508CE8F820/0/Technickoekonomicka_analyza_vhodnych_alternativnich_paliv_v_dopravecast_1.pdf)
- [27] TECHMAGAZÍN.CZ. *Alternativní pohony a jejich perspektivy*. (07/2013), [online]. [cit. 2015-02-03], Dostupné z: [http://www.techmagazin.cz/ke\\_stazeni/archiv/072013.pdf](http://www.techmagazin.cz/ke_stazeni/archiv/072013.pdf)

- [28] VÍTEJTE NA ZEMI.CZ. *Alternativní paliva*. [online]. [cit. 2015-02-03], Dostupné z:  
[http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=alternativni\\_paliva&site=doprava](http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=alternativni_paliva&site=doprava)
- [29] VÍTEJTE NA ZEMI.CZ. *Bioetanol*. [online]. [cit. 2015-02-11], Dostupné z:  
<http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=bioetanol&site=doprava>
- [30] VÍTEJTE NA ZEMI.CZ. *Bionafta*. [online]. [cit. 2015-02-09], Dostupné z:  
<http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=bionafta&site=doprava>
- [32] VÍTEJTE NA ZEMI.CZ. *Zemní plyn (CNG, LNG)*. [online]. [cit. 2015-02-04],  
Dostupné z:  
[http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=zemni\\_plyn\\_\(cng,\\_lng\)&site=doprava](http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=zemni_plyn_(cng,_lng)&site=doprava)
- [33] VÍTEJTE NA ZEMI.CZ. *Změna emisí jednotlivých škodlivin při použití paliva E85 a E5*. [online]. [cit. 2015-02-11], Dostupné z:  
[http://vitejtenazemi.cz/cenia/sites/images/vzdel\\_modul/obecne-prirodovedny\\_pohled/paliva\\_v\\_doprave/bioetanol\\_71.jpg](http://vitejtenazemi.cz/cenia/sites/images/vzdel_modul/obecne-prirodovedny_pohled/paliva_v_doprave/bioetanol_71.jpg)
- [34] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: VLK, 2004, 234 s. ISBN 80-239-1602-5
- [35] VLK, František. *Koncepce motorových vozidel: koncepce vozidel: alternativní pohony: komfortní systémy: řízení dynamiky: informační systémy*. 1. vyd. Brno: VLK, 2000, 367 s. ISBN 80-238-5276-0.
- [36] ZMEK, Martin. *Snižování emisí ve výfukových plynech vznětových a zážehových motorů*. Bakalářská práce, In: DFJP UPCE v Pardubicích, [online]. Pardubice: UPCE v Pardubicích, 2012, 55 s. [cit. 2015-01-24]. Dostupné z:  
[http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/49022/2/ZmekM\\_SnizovaniEmisi\\_PJ\\_2012 .pdf](http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/49022/2/ZmekM_SnizovaniEmisi_PJ_2012.pdf)
- [37] ŽÁK, Marek. *Optimalizace parametrů vozidlového motoru*. Disertační práce, In: AF Mendelu v Brně, [online]. Brno: Mendelu v Brně, 2014, 115 s. [cit. 2015-03-14].  
Dostupné z:  
[https://is.mendelu.cz/auth/lide/clovek.pl?zalozka=7;id=36998;studium=47231;zp=25239;download\\_prace=1;lang=cz](https://is.mendelu.cz/auth/lide/clovek.pl?zalozka=7;id=36998;studium=47231;zp=25239;download_prace=1;lang=cz)

## 9 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: <i>Přehled limitů jednotlivých emisních norem EURO pro osobní automobily [7]</i> .....	10
Tab. 2: <i>Technické parametry řídicí jednotky [37]</i> .....	26
Tab. 3: <i>Technické parametry dynamometru [37]</i> .....	29
Tab. 4: <i>Technické parametry motoru [37]</i> .....	30
Tab. 5: <i>Zprůměrované hodnoty naměřených dat pro palivo Natural 95</i> .....	37
Tab. 6: <i>Zprůměrované hodnoty naměřených dat pro palivo E70</i> .....	38
Tab. 7: <i>Zprůměrované hodnoty naměřených dat pro palivo E32</i> .....	39
Tab. 8: <i>Vypočtené hodnoty tepla přivedeného do oběhu pomocí jednotlivých paliv</i> .....	40
Tab. 9: <i>Vypočtené hodnoty efektivního tepla</i> .....	41
Tab. 10: <i>Vypočtené hodnoty tepla odvedeného chlazením motoru</i> .....	43
Tab. 11: <i>Vypočtené hodnoty tepla odvedeného výfukovými plyny</i> .....	44
Tab. 12: <i>Vypočtené hodnoty ostatních tepelných ztrát</i> .....	46
Tab. 13: <i>Hodnoty tepelné bilance podle Hlavňa et al. (2000) [12]</i> .....	50
Tab. 14: <i>Hodnoty tepelné bilance podle Hromádka et al. (2011) [13]</i> .....	51
Tab. 15: <i>Hodnoty tepelné bilance podle Bihari P. (2012) [9]</i> .....	51



## 10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Schéma zástavby sériově vyráběného osobního automobilu na zemní plyn [4] .....	13
Obr. 2: Výrobní proces bioplynu [24] .....	14
Obr. 3: Systém FFV Volvo C30 1.8F [1] .....	16
Obr. 4: Změna emisí jednotlivých škodlivin při použití paliva E85 a E5 [33].....	17
Obr. 5: Využití metanolu jako petrochemickou surovinu [26] .....	18
Obr. 6: Nejčastější uspořádání hnacího ústrojí pro elektromobily [10].....	19
Obr. 7: BMW Hydrogen 7 - konstrukční řešení vodíkového pohonu [20] .....	20
Obr. 8: Sestava palivového článku [5].....	21
Obr. 9: Brzdové stanoviště motorové zkušebny Mendelovy univerzity [vlastní].....	23
Obr. 10: Nádrže jednotlivých paliv v místnosti palivového hospodářství [vlastní] .....	24
Obr. 11: Zařízení pro kondice olejové náplně (vlevo) a pro kondice chladicí kapaliny (vpravo) .....	25
Obr. 12: Programovatelná řídicí jednotka Magneti Marelli SRA-E [vlastní].....	25
Obr. 13: Vnitřní prostor velínu s přímým pohledem na motorovou zkušebnu [vlastní] .....	26
Obr. 14: Pohled na monitory 2, 3, 4, 5 [vlastní] .....	27
Obr. 15: Pohled na vnitřní prostor motorové zkušebny [15] .....	28
Obr. 16: Elektrický vířivý dynamometr AVL DynoPerform 240 (Mendelu Brno) [vlastní].....	30
Obr. 17: Zkoušený motor připojený na dynamometr [vlastní] .....	31
Obr. 18: Ukázka palivové mapy .....	32
Obr. 19: Grafické znázornění tepla přivedeného do motoru pomocí jednotlivých paliv .....	40
Obr. 20: Grafické znázornění průběhů efektivního tepla .....	42
Obr. 21: Grafické znázornění průběhů tepla odvedeného chlazením .....	43
Obr. 22: Grafické znázornění průběhů tepla odvedeného výfukovými plyny .....	45
Obr. 23: Grafické znázornění průběhů ostatních tepelných ztrát .....	46
Obr. 24: Tepelná bilance zážehového motoru při spalování různých paliv .....	48
Obr. 25: Tepelná bilance vynesena do Sankeyova diagramu .....	49