

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů



Diplomová práce

Směs benzínu a metanolu jako paliva pro zážehový motor

Bc. Vojtěch Dolejš

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Vojtěch Dolejš

Inženýrství údržby

Název práce

Směs benzínu a metanolu jako paliva pro zážehový motor

Název anglicky

A mixture of gasoline and methanol as a fuel for a petrol engine

Cíle práce

Cílem diplomové práce je porovnat základní parametry zážehového spalovacího motoru při provozu na benzín a jeho směsi s metanolem. Práce se zaměří na porovnání spotřeby paliva a zvolených složek emisí.

Metodika

Úvodní část práce bude řešena formou literárního rozboru a zaměří se na popis základních vlastností paliv. Na základě literárního rozboru budou zvolena testovaná paliva a jejich směsi. Měření bude realizováno na základě zvoleného zatěžovacího cyklu motoru.

Osnova práce:

- 1) Úvod
- 2) Rozbor současného stavu (spalovací motor, paliva pro zážehový spalovací motor, ropná a alternativní paliva)
- 3) Cíl práce
- 4) Metodika práce
- 5) Výsledky (porovnání vlastností zvoleného spalovacího motoru při provozu na benzín a jeho směsi s metanolem)
- 6) Závěr

Doporučený rozsah práce

40-60

Klíčová slova

benzín, metanol, zážehový motor

Doporučené zdroje informací

Agarwal, A.K., Valera, H., Pexa, M., Čedík, J., 2021: Methanol – A Sustainable Transport Fuel for SI Engines . Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2021, ISSN 25228366, ISBN 978-981-16-1223-7.

HROMÁDKO, J. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.

KOTEK, T. – PEXA, M. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. TECHNICKÁ FAKULTA. *Optimalizace nastavení čídicí jednotky z hlediska kvality práce zážehových motorů na palivo E85 : doktorská disertační práce*. Disertační práce. Praha: 2016.

Periodika, předpisy a firmení literatura

SCRAGG, A H. – C.A.B. INTERNATIONAL, ISSUING BODY. *Biofuels : production, application and development*. Wallingford, Oxfordshire, UK: CABI, 2009. ISBN 9781845935924.

Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Elektronicky schváleno dne 7. 1. 2022

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 29. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Směs benzínu a metanolu jako paliva pro zážehový motor vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 31. 3. 2023

Poděkování:

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu prof. Ing. Martinu Pexovi, Ph.D. za trpělivost, cenné připomínky, rady a čas, který mi věnoval při zpracování práce. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří mi pomohli s měřením praktické části diplomové práce a poskytli mi cenné rady a materiály. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za podporu a trpělivost při zpracování práce.

Směs benzínu a metanolu jako paliva pro zážehový motor

Abstrakt: Tato diplomová práce se zabývá oblastí paliv, a to konkrétně směsí benzínu a metanolu jako paliva pro zážehový motor. Zkoumán je vliv směsi paliv na provozní parametry motoru. V první části diplomové práce je popsána stručně historie zážehového spalovacího motoru a je zde také popsáno jeho fungování. Dále jsou v této části popsána některá ropná a alternativní paliva pro zážehový spalovací motor. V praktické části diplomové práce jsou zkoumány konkrétní změny parametrů testovaného motoru závislé na druhu použité směsi paliva. Testované palivo je tvořeno směsí benzínu a metanolu v různých poměrech. V závěru jsou získané parametry z měření mezi sebou porovnány a je zde vyhodnoceno, která směs z testovaných paliv je z pohledu spotřeby paliva a produkce emisí nejvýhodnější pro použití v zážehovém spalovacím motoru.

Klíčová slova: benzín, metanol, zážehový motor

A mixture of gasoline and methanol as a fuel for a petrol engine

Summary: *This diploma thesis deals with the area of fuels, namely a mixture of gasoline and methanol, as a fuel for a petrol engine. The influence of the fuel mixture on the operating parameters of the engine is investigated. In the first part of the diploma thesis, the history of the spark ignition combustion engine is briefly described, and its functioning is also described here. This section also describes some petroleum and alternative fuels for the petrol internal combustion engine. In the practical part of the thesis, specific changes in the parameters of the tested engine depending on the type of fuel mixture used are investigated. The tested fuel consists of a mixture of gasoline and methanol in different proportions. In the end, the parameters obtained from the measurements are compared with each other and it is evaluated which mixture of the tested fuels is the most advantageous for use in a petrol internal combustion engine from the point of view of fuel consumption and emission production.*

Key words: *gasoline, methanol, petrol engine*

Obsah

1	Úvod	1
2	Rozbor současného stavu	2
2.1	Zážehový spalovací motor	2
2.2	Paliva pro zážehový spalovací motor	4
2.2.1	Benzín	4
2.2.2	LPG (Liquefied Petroleum Gas).....	8
2.2.3	Zemní plyn.....	11
2.2.4	Bioplyn.....	19
2.2.5	Vodík	22
2.2.6	Etanol	26
2.2.7	Metanol.....	28
3	Cíl práce	33
4	Metodika práce	34
4.1	Postup měření	34
4.2	Porovnání směsí podle jednotlivých parametrů	35
4.3	Přístroje použité při měření	35
5	Výsledky měření	39
5.1	Směsi paliv.....	39
5.2	Naměřené hodnoty jednotlivých směsí paliv	39
5.3	Spotřeba paliva	41
5.4	Emise oxidu dusíku (NO _x)	42
5.5	Emise oxidu uhelnatého (CO)	44
5.6	Emise oxidu uhličitého (CO ₂).....	45
5.7	Emise formaldehydu.....	46
6	Závěr	48
7	Seznam literatury	50

Seznam obrázků

Obrázek 1: Pracovní cyklus čtyřdobého spalovacího motoru [4]	3
Obrázek 2: Destilace ropy [36]	4
Obrázek 3: Destilační křivka [2].....	6
Obrázek 4: Využití zemního plynu [14].....	11
Obrázek 5: Mapa CNG stanic [19].....	14
Obrázek 6: Schéma rychloplnicí stanice CNG [11].....	16
Obrázek 7: Schéma pomaluplnicí stanice na CNG [11].....	16
Obrázek 8: Mapa bioplynových stanic [21]	20
Obrázek 9: Zdroje výroby vodíku [11].....	23
Obrázek 10: Mobilní generátor ProMax 3500A	36
Obrázek 11: Laboratorní váha Vibra AJ 6200	37
Obrázek 12: FTIR analyzátor Bruker	38

Seznam tabulek

Tabulka 1: Vlastnosti propanu, butanu a benzínu [11]	9
Tabulka 2: Složení směsí v jednotlivých zemích [12]	10
Tabulka 3: Složení zemního plynu dle nalezišť [17]	12
Tabulka 4: Vybrané hodnoty zemního plynu [14], [16]	14
Tabulka 5: Složení bioplynu [22]	20
Tabulka 6: Porovnání vlastností etanolu a ropných paliv [12].....	26
Tabulka 7: Porovnání výhřevnosti a výparného tepla etanolu a benzínů [12].....	27
Tabulka 8: Chemické a fyzikální vlastnosti metanolu [12], [14]	29
Tabulka 9: Vlastnosti metanolu a jeho porovnání s ropnými palivy [12]	30
Tabulka 10: Porovnání výhřevnosti a výparného tepla metanolu a benzínů [12]..	30
Tabulka 11: Elektrické parametry mobilního generátoru [33]	36
Tabulka 12: Parametry spalovacího zážehového motoru mobilního generátoru [33]	36
Tabulka 13: Technické parametry laboratorní váhy [34].....	37
Tabulka 14: Technické parametry FTIR analyzátoru [35]	38
Tabulka 15: Naměřené hodnoty pro benzín	40
Tabulka 16: Naměřené hodnoty pro směs benzínu a metanolu M10	40
Tabulka 17: Naměřené hodnoty pro směs benzínu a metanolu M20	40
Tabulka 18: Naměřené hodnoty pro směs benzínu a metanolu M50	41
Tabulka 19: Relativní změna spotřeby paliva vůči referenčnímu palivu BA95.....	42
Tabulka 20: Relativní změna produkce emisí NO _x vůči referenčnímu palivu BA95	43
Tabulka 21: Relativní změna produkce emisí CO vůči referenčnímu palivu BA95	45
Tabulka 22: Relativní změna produkce emisí CO ₂ vůči referenčnímu palivu BA95	46
Tabulka 23: Relativní změna produkce emisí formaldehydu vůči referenčnímu palivu BA95.....	47

Seznam grafů

Graf 1: Spotřeba paliva v závislosti na použitém palivu pro jednotlivá zatížení motoru	42
Graf 2: Produkce emisí NO _x v závislosti na použitém palivu pro jednotlivá zatížení motoru	43
Graf 3: Produkce emisí CO v závislosti na použitém palivu pro jednotlivá zatížení motoru	44
Graf 4: Produkce emisí CO ₂ v závislosti na použitém palivu pro jednotlivá zatížení motoru	45
Graf 5: Produkce emisí formaldehydu v závislosti na použitém palivu pro jednotlivá zatížení motoru.....	47

1 Úvod

Alternativní paliva, toto slovní spojení je v dnešní době skloňováno ve všech pádech. S nárůstem lidské populace se zvyšuje i počet využívaných automobilů. Není výjimkou, že jedna rodina vlastní dva a více automobilů. S tímto souvisí i nárůst spotřeby fosilních paliv. Tyto fakta mají za následek vyšší produkci emisí, které vozidla vyprodukují. Emise vzniklé spalováním fosilních paliv mají špatný vliv na životní prostředí a na samotné zdraví lidí. Proto jsou čím dál větší snahy upustit od fosilních paliv. Zpřísňují se emisní limity pro spalovací motory a v budoucnu se počítá s jejich úplným zákazem. Tyto kroky budou mít vliv na logistiku a dopravu ve všech odvětvích průmyslu i na používání osobních automobilů. Z tohoto důvodu se zkoumají nová alternativní paliva a s nimi spjaté alternativní pohony.

Alternativními palivy u zážehových motorů se rozumí stlačený zemní plyn (CNG), podmíněně zkapalněný ropný plyn (LPG). Ovšem LPG v pravém slova smyslu nelze považovat za alternativní palivo z důvodu přímé vazby na zpracování fosilních paliv, ale je to lepší alternativa oproti benzínu. Další alternativní paliva jsou ze skupiny biopaliv, do které spadají etanol a metanol. Alternativní paliva nejsou jedinou cestou pro snížení emisí.

Další cestou pro snižování emisí mohou být hybridní automobily, které kombinují spalovací motor a elektromotor s baterií. Hybridní automobily mají menší spotřebu, nižší emise a menší náklady na palivo než u běžného spalovacího motoru.

Tato diplomová práce se bude ovšem zabývat alternativním palivem, a to směsí benzínu a metanolu jako paliva pro zážehový motor. Bude zkoumána spotřeba paliva a produkce škodlivých látek při různých koncentracích metanolu v benzínu a při různých zatíženích motoru. Měření bude probíhat na mobilním generátoru, který bude postupně zatížen elektrickým odporem na 25 %, 50 %, 75 % a na 100 %. Směsi paliv budou složeny z 10 %, 20 % a 50 % metanolu v benzínu. Měření bude provedeno i u samotného benzínu, který bude sloužit jako etalon a budou se s ním jednotlivé směsi benzínu a metanolu porovnávat.

2 Rozbor současného stavu

2.1 Zážehový spalovací motor

Obecně je spalovací motor tepelný stroj, který při spalování paliva získává tepelnou energii. Využitím vhodného plynného média převádí tepelnou energii na mechanickou práci. [1], [2]

Zážehový motor patří se vznětovým motorem mezi dva nejrozšířenější a nejpoužívanější spalovací motory. Zážehový motor se nejvíce využívá v dopravních prostředcích, jako jsou osobní automobily, motocykly nebo i u menších člunů. Tento motor se také využívá například u motorových pil, sekaček na trávu, traktůrků na trávu. [1]

Zážehový spalovací motor se začal hojně využívat od druhé poloviny 19. století. Tento počín má na svědomí německý vynálezce N. A. Otto, když v roce 1877 získal patent na čtyřdobý zážehový motor. Tento rok je tedy uznáván jako rok, kdy vznikl moderní čtyřdobý zážehový motor.

Princip zážehového motoru

Zážehový motor patří do skupiny motorů s vnitřním spalováním. Jedná se o pístové motory kde, jak je z názvu patrné, hlavní částí motoru je píst.

V motoru dochází k přeměně dodané energie (paliva) na mechanickou práci. U spalovacích motorů se jedná o přeměnu chemické energie paliva. Energie paliva je uvolněna spalováním směsi ve spalovacím prostoru, kde se přemění na mechanickou práci a teplo. Tato směs je zapálena elektrickou jiskrou od zapalovací svíčky. Pro zážehové motory se používají paliva, která jsou plynná nebo jsou to paliva kapalná lehce odpařitelná. [1], [3]

Fáze čtyřdobého zážehového motoru

Čtyřdobý zážehový motor, jak je z názvu patrné pracuje ve čtyřech cyklech:

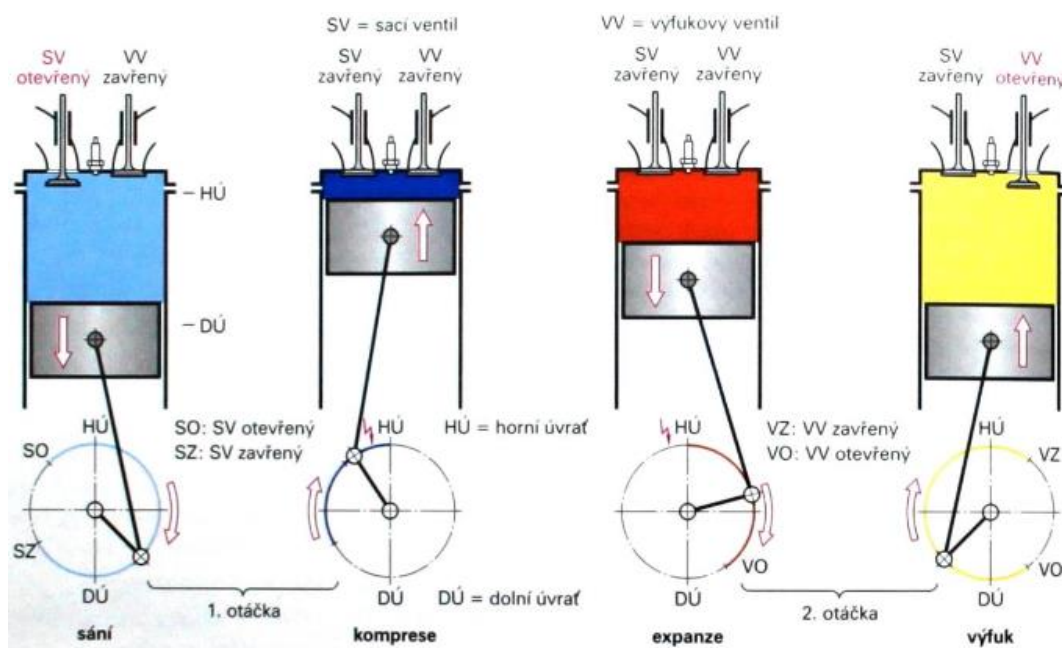
- 1. Fáze – Sání,
- 2. Fáze – Komprese,
- 3. Fáze – Expanze,
- 4. Fáze – Výfuk.

První fáze čtyřdobého zážehového motoru je sání. Při této fázi se otevírá sací ventil a do válce vniká směs paliva se vzduchem. Díky tomu, že píst koná vratný pohyb, se ve válci tvoří podtlak a směs paliva se vzduchem je přivedena do válce.

Druhou fází motorového cyklu je komprese. Jakmile píst překoná dolní úvrať (Obrázek 1), což je bod, kdy je píst co nejdále od hlavy motoru, vrací se píst zpět nahoru. Sací ventil je již zavřený, směs nemá kam uniknout, je stlačována a tím roste její teplota.

Třetí fází je expanze. Při dostatečném stlačení směsi zažehne svíčka jiskru a směs začne velmi rychle hořet. Oba ventily jsou v této chvíli uzavřené. Prudce se rozpínající plyny působí proti pístu a jakmile píst překoná horní úvrať koná zpětný pohyb směrem k dolní úvratí. Plyny se v tuto chvíli rozpínají a přispívají k rychlejšímu pohybu pístu k dolní úvratí.

Poslední, tedy čtvrtou fází cyklu je výfuk. Práce je již vykonána, plyny shořely, píst se z dolní úvratě vrací zpět do úvratí horní a vytlačuje spaliny směrem k horní úvratí. Při tomto pohybu se otevírají výfukové ventily, kterými plyn uniká ven z prostoru válce. V poslední fázi tohoto cyklu, když je píst v horní úvratí (Obrázek 1) a plyny jsou odvedeny je pracovní cyklus u konce a začíná nový pracovní cyklus od první fáze. [1], [2], [3]



Obrázek 1: Pracovní cyklus čtyřdobého spalovacího motoru [4]

2.2 Paliva pro zážehový spalovací motor

Paliva pro zážehový spalovací motor lze rozdělit podle skupenství na plynná a kapalná. Hlavním zástupcem kapalných paliv pro zážehové motory je benzín.

2.2.1 Benzín

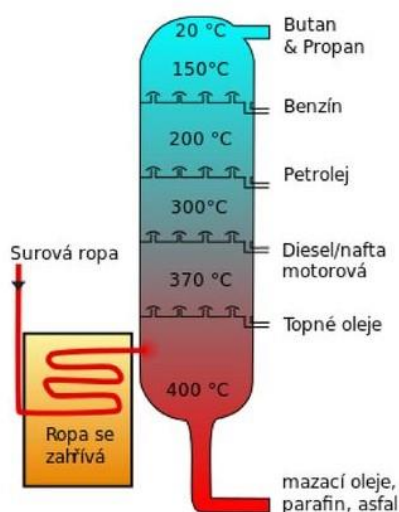
V této kapitole budou popsány základní vlastnosti benzínu a jeho výroba.

2.2.1.1 Výroba benzínu

Výroba benzínu se skládá z tradiční frakční destilace ropy. Touto metodou se z ropy získává palivo od samého počátku. Tato metoda funguje na principu, kdy se destilací z ropy získávají jednotlivé uhlíkové substance podle jejich bodu varu. První složkou, která se získává z ropy je právě benzinová frakce, a to v oblasti destilace do 180 °C. Takto zpracované benzinové frakce se nemohou v tomto stavu rovnou používat jako palivo, ale musí se dále zpracovat řadou dalších operací. Tyto benzinové frakce se odsiřují, zvyšují se u nich podíly rozvětvených uhlovodíků a aromátů. To má pozitivní vliv na vlastnosti benzínu, zvyšuje se tím odolnost proti klepání motoru neboli detonačnímu spalování.

Klepání motoru se rozumí samovolné nárazové zapálení směsi benzínu a vzduchu před samotným čelem plamenu. Kdyby tento stav trval delší dobu, tak by to mělo destruktivní důsledky a motor by přestal vykonávat svoji činnost.

Dalšími složkami destilace surové ropy je kerosin a petrolej, to nad 180 °C. Nafta se získává při destilaci ropy nad 220 °C, poté i další složky, jako naftalen a těžké frakce ropy viz (Obrázek 2). [3], [4], [5], [6]



Obrázek 2: Destilace ropy [36]

2.2.1.2 Základní požadavky na vlastnosti benzínu

Základní požadavky na vlastnosti benzínu jsou:

- benzín by měl mít dobrou odpařivost i za nízkých teplot pro schopnost dobré startovatelnosti motoru,
- nesmí obsahovat těžší frakční podíly z důvodu, aby nedocházelo ke smývání olejového filmu na stěně válce a ředění oleje,
- co nejmenší obsah síry, která snižuje oktanové číslo, zvyšuje emise výfukových plynů a v neposlední řadě způsobuje korozi palivového systému,
- žádný obsah pryskyřice, která zanáší trysky a usazuje se na sacím ventilu a v sacím potrubím,
- stabilita při skladování, zabezpečující malé ztráty benzínu. [2], [5]

2.2.1.3 Základní parametry benzínu

V této podkapitole jsou popsány základní parametry benzínu, jako je oktanové číslo, destilační křivka, stechiometrická směs.

Oktanové číslo

Oktanové číslo paliva vyjadřuje objemový podíl látek, a to přesně mezi izooktanem (oktanové číslo 100) a n-heptanem, ten má v čistém stavu definicí určeno oktanové číslo 0. Benzíny, které se získávají destilací ropy mají vzhledem k požadavkům dnešních motorů nedostatečné oktanové číslo, proto se oktanové číslo dodatečně zvyšuje. Současné motory vyžadují oktanové číslo minimálně na hodnotě 90. [2], [6], [5]

Metoda, která se používá ke zvýšení oktanového čísla v benzínu, je izomerace lehkých benzínů a reformování těžkých benzínů. Oktanové číslo upraveného benzínu může dosahovat i vyšší hodnoty, než je 100. To vyjadřuje fakt, že dané palivo je ještě odolnější proti samozápalu než čistý izooktan. [2], [5]

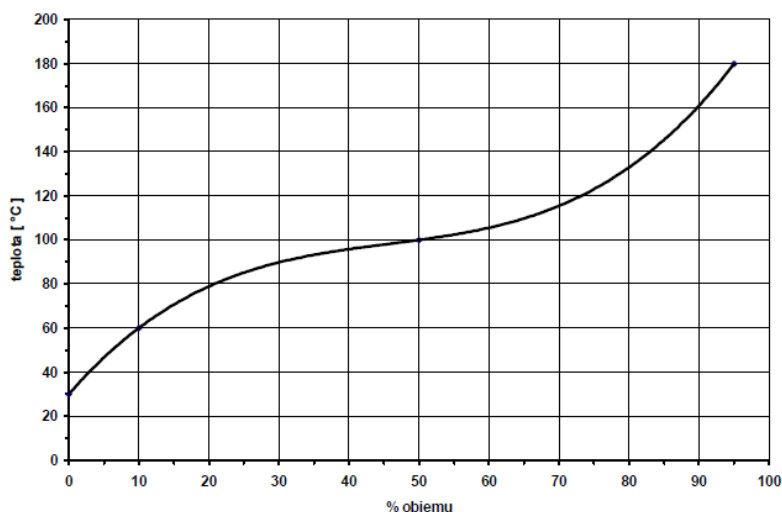
Jednou ze dvou metod, při kterém se stanovuje velikost oktanového čísla, se nazývá motorová metoda a popisuje ji norma ČSN EN ISO 5163. Toto měření probíhá při 900 otáčkách za minutu. Tato metoda spíše popisuje chování motoru při provozu ve vyšších rychlostech, jako je dálniční rychlost. Oktanové číslo zjištěné motorovou metodou je typicky o cca 10 bodů nižší než ve skutečnosti. [7]

Druhá metoda sloužící pro stanovení oktanového čísla se nazývá metoda výzkumná a zabývá se jí norma ČSN EN ISO 5164. Tato metoda se provádí při 600 otáčkách za minutu. Je koncipována spíše pro popis při městského provozu při malých rychlostech a s častou akcelerací. V praxi se téměř všude uvádí pouze oktanové číslo získané touto metodou. [8]

Princip měření na jednoválcovém zkušebním motoru umožňuje postupnou změnu kompresního poměru. Motor běží na zkoušené palivo a je plynule zvyšován kompresní poměr, dokud nenastane detonační spalování. Ve druhém kroku je ponechán kompresní poměr, který byl na konci měření se zkoušeným palivem. Motor se spustí na tento kompresní poměr a je použita směs izooktanu a n-heptanu. Poměr směsi se mění, dokud nenastane detonační spalování. Poté se ze směsi o známém poměru izooktanu a n-heptanu určí oktanové číslo. [5], [7], [8]

Destilační křivka

Destilační křivka slouží ke zjištění požadovaného frakčního složení směsi benzínu a vzduchu. Směs musí obsahovat lehce odpařitelné frakce, tak aby došlo k snadnému nastartování motoru. Směs nesmí obsahovat frakce s bodem varu nad 200 °C. Tyto frakce by se neodpařily a docházelo by k ředění olejové náplně motoru. To by mohlo mít za následek až zadření samotného motoru. Proto se provádí destilační zkouška, kde na destilační křivce (Obrázek 3) zjistí frakční složení. [1], [2]



Obrázek 3: Destilační křivka [2]

Nejnižší teplota na destilační křivce je určena požadavkem na minimální ztráty odparem při skladování a z hlediska požární bezpečnosti. V severských zemích bývá tato teplota 20 °C, v tropických 40 až 45 °C a v našich podmínkách je stanovena na 30 až 35 °C. Navýšení startovacího množství paliva představuje 10 až 20 násobek množství benzínu, které potřebuje prohřátý motor. Z toho vyplývá, že u studeného motoru se musí odpařit minimálně 10 % přiváděného benzínu, aby bylo tuto směs možno zažehnout. [2]

Stechiometrická směs (směs benzínu a kyslíku)

Pro správné odhoření paliva, v tomto případě benzínu, je zapotřebí mít správnou směs paliva a kyslíku. Dostatečné množství kyslíku zajistí prohoření celého množství paliva ve válci. Na druhou stranu nesmí být ve válci kyslíku moc nebo málo, protože by nebyl využit celý kompresní poměr motoru. [9], [10]

Teoretické objemové množství vzduchu potřebné pro spálení paliva je u benzínu a nafty kolem 14,5 až 15 kg na kg paliva. Z toho lze velmi zhruba odvodit, že na 1000 J výhřevnosti se do válce musí přivést cca 0,25 m³ vzduchu. [5], [6]

Právě toto je stechiometrická směs. Je to tedy směs, kde podle stechiometrických rovnic je takové množství vzduchu ve směsi, kdy dojde ke správnému shoření směsi paliva a kyslíku. Ovšem se stechiometrickou směsí se nepočítá a nevyužívá se většinou ani směšovací poměr hmotnost vzduchu / hmotnost paliva. V praxi se používá součinitel přebytku vzduchu a značí se Lambda λ [-]. Kdy součinitel přebytku vzduchu je dán vztahem (2.1).

$$\lambda = \frac{M_1}{M_{10}} \quad [-] \quad (2.1)$$

Součinitel přebytku vzduchu [-] – λ [-], Množství přiváděného vzduchu [kilogram] – M_1 [kg], Teoretická spotřeba vzduchu [kilogram] – M_{10} [kg]

Pro součinitele přebytku vzduchu se rozeznávají tyto stavy:

- $\lambda = 1$ – Skutečná přivedená hmotnost vzduchu je odpovídající teoretické potřebě,
- $\lambda < 1$ – Bohatá směs (nedostatek vzduchu). Tento stav nastává, když je $\lambda = 0,85–0,95$. Při této směsi má zážehový motor největší výkon,
- $\lambda > 1$ – Chudá směs (přebytek vzduchu). Nastává, když je hodnota $\lambda = 1,05–1,3$. Motor na tuto směs má snížený výkon, ale snižuje se mu i spotřeba,
- $\lambda > 1,3$ – Směs není schopna zapálení, nepravidelný chod motoru.

Z ekonomického hlediska je nejvíce výhodné používat chudou směs. Palivo se v tomto poměru daří velmi dobře spálit. To je ale jediná pozitivní věc. Nevýhodou této směsi je malý výkon motoru. Dochází k většímu opotřebení motoru a produkuje se velké množství spalin, které s sebou odnášejí nevyužité teplo. Proto se v zážehových motorech používá především mírně bohatší směs. [4], [5], [6]

2.2.2 LPG (Liquefied Petroleum Gas)

LPG z angličtiny Liquefied Petroleum Gas neboli česky zkapalněný ropný plyn je směs zkapalněných uhlíkových plynů. Vzniká při procesu zpracování ropy. Získává se také jako vedlejší produkt při těžbě zemního plynu a ropy. Samotné LPG se skládá ze dvou plynů, a to z propanu a butanu. Oba tyto plyny jsou v plynném stavu těžší než vzduch. Tento zkapalněný plyn obsahuje velmi malé množství síry, žádné olovo a benzenové uhlovodíky. Jedná se o homogenní směs vzduchu a paliva. Tato směs je potom dobře rozdělitelná mezi válce. To má značnou výhodu pro spalování motoru. [11], [12]

Automobily s pohonem na LPG si uchovávají své jízdní vlastnosti a mají téměř stejný výkon jako automobily na benzín. Naopak v nižších otáčkách motor na LPG má pružnější odezvu na plynový pedál. Tankování LPG je jednoduché a je na podobné bázi jako tankování benzínu. Na tankování se nemusí vytyčít větší časové okno, jako to je u dnes populárních elektromobilů. [12]

Při porovnání benzínu a LPG má LPG lepší antidetonační vlastnosti, ale oproti benzínu je jeho objemová výhřevnost nižší (Tabulka 1). To má za následek, že při

stejném kompresním poměru má LPG větší spotřebu cca o 20–30 %. I přes tuto vyšší spotřebu je LPG cenově výhodnější než benzín. [11], [12]

Tabulka 1: Vlastnosti propanu, butanu a benzínu [11]

Parametr	Propan	Butan	Benzín
Hustota při 15 °C [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	0,508	0,584	0,730–0,780
Tlak par při 37 °C [kPa]	1210	260	50–90
Teplota varu [°C]	–42,6	–0,6	30–225
Oktanové číslo [-]	97	89	85–87
Výhřevnost hmotnostní [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$]	46,37	45,78	44,03
Výhřevnost objemová [$\text{MJ}\cdot\text{l}^{-1}$]	23,28	26,51	32,30

Samotné plyny jako pohonné látky se pro pístové spalovací motory používají v různých podobách už od vynalezení pístových motorů. Ovšem LPG se jako palivo do pístových spalovacích motorů začalo využívat hojněji až ve druhé polovině 80. let minulého století. Jak již bylo řečeno, LPG má oproti benzínu lepší antidetonační vlastnosti a lepší výhřevnost. Hlavní předností LPG je předpoklad dosažení nižších emisí výfukových plynů. Ovšem samotné použití LPG jako paliva do spalovacího motoru nemusí zaručeně zlepšit ekologické vlastnosti motoru. Jedna z dalších kladných vlastností LPG je, že v 1 kg paliva je menší podíl uhlíku. U LPG tato hodnota činí cca 0,825 kg C v 1 kilogramu paliva. Běžná kapalná paliva, jako je benzín a nafta, mají v 1 kg paliva cca 0,86–0,87 kg C. To znamená, že v optimálním provedení má zážehový motor na LPG nižší produkci CO. [12]

Jak již bylo zmíněno LPG je směsí plynů, těmi hlavními složkami jsou propan a butan. Směsné poměry těchto plynů u LPG se mohou lišit nejen v jednotlivých zemích, ale také se toto složení směsi může lišit na základě ročního období a polohy samotného státu (Tabulka 2). [12]

Tabulka 2: Složení směsí v jednotlivých zemích [12]

Země	Složení plynu Propanu / Butanu	
	Letní	Zimní
Austrálie	Propan	Propan
Belgie	30/70	50/50
Německo	Převaha propanu	Převaha propanu
Finsko	Propan	Propan
Holandsko	30/70	70/30
Norsko	Propan	Propan
Rakousko	20/80	80/20
Švédsko, Švýcarsko	Propan	Propan

2.2.2.1 Výhody a nevýhody LPG

Výhody LPG

- menší provozní náklady oproti benzínu,
- větší životnost motoru, nedochází k velké tvorbě karbonových úsad,
- delší životnost oleje,
- možnost přepínání mezi režimy pro jízdu na LPG či benzín,
- větší dojezdová vzdálenost,
- snížená hlučnost motoru, kultivovanější chod. [11], [12]

Nevýhody LPG

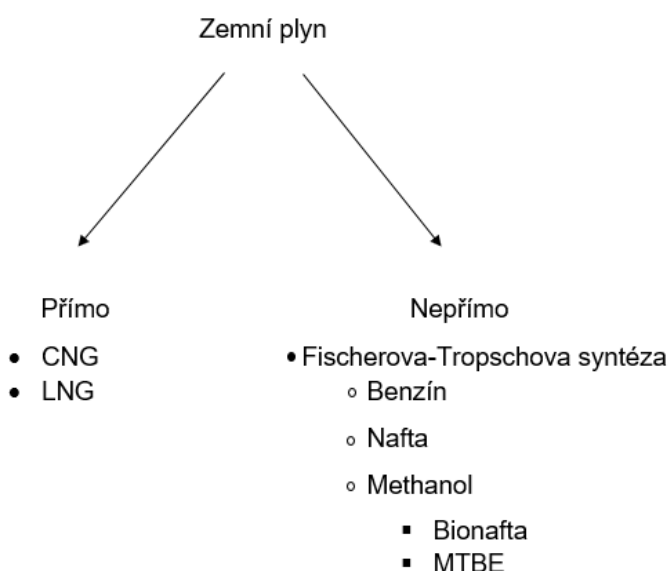
- počáteční investice přestavby z motoru na benzínový pohon na motor s LPG,
- zvýšení spotřeby paliva,
- snížení výkonu motoru cca o 5 %,
- revize plynového systému, a to každý rok,
- není dovoleno parkovat v podzemních garážích,
- zmenšení zavazadlového prostoru – nádrž na LPG se dává většinou místo rezervního kola. [11], [12], [13]

2.2.3 Zemní plyn

Zemní plyn je přirozeně se vyskytující forma fosilní energie. Jedná se tedy o neobnovitelný zdroj energie. Před druhou světovou válkou se zemní plyn jako palivo do spalovacích motorů téměř nepoužíval. Koncem 60. let dvacátého století se zemní plyn začal využívat více, protože se prokázalo, že může přispět ke snížení emisních látek, které se nacházejí v ovzduší. [14]

Zemní plyn nevyžaduje složité zpracování nebo rafinaci jako ropná kapalná paliva. Jde o přírodní uhlovodíkovou energii, která vzniká v zemské kůře miliony let biologického působení na organickou hmotu. Vyskytuje se spolu s ropou hluboko v zemské kůře. Odtud se těží pomocí vrtů pod velmi vysokým tlakem. Zemní plyn se může použít jako palivo v elektrárnách s kombinovaným cyklem. Zemní plyn produkuje méně než polovinu emisí CO₂ na jednotku vyrobené elektřiny ve srovnání s konvenčními palivy. [14], [15]

Zemní plyn v porovnání s benzínem má menší počet škodlivin ve výfukových plynech. V této době se rozšiřuje využití zemního plynu nejen u osobních automobilů, ale také již u autobusů. Zemní plyn lze využít pro dopravu nebo automobilové účely dvěma způsoby, a to přímou nebo nepřímou aplikací (Obrázek 4). [11] [14]



Obrázek 4: Využití zemního plynu [14]

2.2.3.1 Vlastnosti zemního plynu

Zemní plyn obsahuje 85 % metanu, obsahuje také stopové množství i jiné HC sloučeniny (např. propan, butany a pentany) viz (Tabulka 3).

Metan chemickým vzorcem CH_4 je jednoduchý uhlovodík, bezbarvý plyn, který je bez jakéhokoliv zápachu. Jedná se o hořlavý plyn, který se vzduchem vytváří výbušnou směs. Další složky zemního plynu tvoří z 10 % dusík a posledních 5 % tvoří vyšší uhlovodíky. Zemní plyn také obsahuje aktivní sloučeniny, jako je síra a inertní sloučeniny, jako je dusík a CO_2 . Přebytkové množství vyšších uhlovodíků musí být odstraněno, aby nedocházelo při přepravě k jejich kondenzaci. Kondenzace vzniká vlivem vysokého tlaku, který se nachází v přepravní síti plynu. [12], [14]

Zemní plyn se dělí do čtyř skupin podle složení:

1. Zemní plyn suchý (chudý): Obsahuje vysoký podíl metanu 95–98 % a nepatrné množství vyšších uhlovodíků.
2. Zemní plyn vlhký (bohatý): Obsahuje kromě metanu větší množství vyšších uhlovodíků.
3. Zemní plyn kyselý: Obsahuje velké množství sulfanu, které je nutné před dodáním do distribuční soustavy odstranit.
4. Zemní plyn s vyšším obsahem inertních plynů: Obsahuje oxid uhličitý a oxid dusný. [16]

Tabulka 3: Složení zemního plynu dle nalezišť [17]

Složky zemního plynu	Tranzitní zemní plyn [%]	Norský zemní plyn [%]	Alžírský zemní plyn [%]	Jihomoravský zemní plyn [%]	Holandský zemní plyn [%]
Metan	98,39	85,80	86,90	97,70	81,31
Ětan	0,44	8,49	9,00	1,20	2,85
Propan	0,16	2,30	2,60	0,50	0,37
Butan	0,07	0,70	1,20	-	0,14
Pentan	0,03	0,25	-	-	0,09
Dusík	0,84	0,96	0,30	0,60	14,35
Oxid uhličitý	0,07	1,50	-	-	0,89

Oktanové číslo

Zemní plyn je vysokooktanové palivo. Oktanové číslo zemního plynu měřené výzkumnou metodou se přibližně pohybuje okolo hodnoty 125, což značí vysokou odolnost vůči klepání. Zemní plyn jako palivo je vhodný pro zážehové motory nebo speciálně navržené plynové motory s vyššími kompresními poměry. Přepřítované motory, které využívají jako palivo zemní plyn, poskytují vyšší výkon a lepší emisní charakteristiky. [14], [18]

Hořlavost

Zemní plyn má velmi vysokou teplotu samovznícení, vyšší než benzín a nafta. Jedna z vlastností zemního plynu je také to, že má širší rozsah hořlavosti. To umožňuje motoru chodit i na chudé směsi. To ovšem způsobuje nepatrné snížení výkonu motoru, protože plyn vstupuje do motoru přes sací potrubí, které snižuje objemovou účinnost motoru. Kromě toho je spalování metanu ve své podstatě velmi pomalé, a proto způsobuje zhoršení výkonu v důsledku zvýšení tepelných ztrát. [14], [18]

Výhřevnost

Zemní plyn poskytuje výhřevnost přibližně o 10 % vyšší než konvenční paliva. Ovšem když se srovná výhřevnost na základě objemu spáleného paliva, tak jsou na tom lépe kapalná paliva. Výhřevnost plynu klesá s rostoucími sloučeninami inertního plynu. Stechiometrický poměr plynu se pohybuje od 14 do 17 v závislosti na složení plynu. Zemní plyn obsahuje ze 75 % hmotnosti uhlík, zatímco benzín nebo nafta obsahují 86–88 % uhlíku. Z toho vyplývá, že zemní plyn oproti benzínu nebo naftě vypouští do ovzduší méně CO. To platí i v případě, když je směs paliva bohatší. Vzhledem k tomu, že spalovací reakce je u zemního plynu pomalá, snižují se také emise NO. [14], [18]

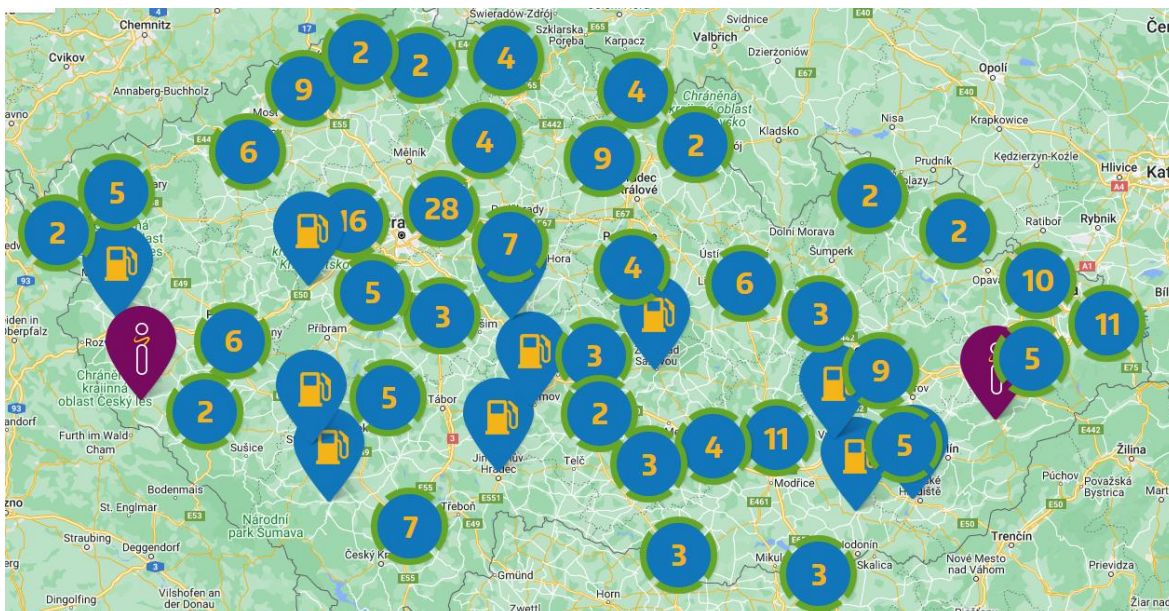
Vybrané hodnoty zemního plynu dodávané do České republiky jsou shrnuty v (Tabulka 4).

Tabulka 4: Vybrané hodnoty zemního plynu [14], [16]

Veličina	Hodnota
Oktanové číslo	125,00 [-]
Výhřevnost	34,00 [MJ/m ³]
Hustota	0,69 [kg/m ³]
Spálené teplo	37,80 [MJ/m ³]
Objem spalovacího vzduchu	9,56 [m ³]

2.2.3.2 CNG (Compressed Natural Gas)

CNG z angličtiny Compressed Natural Gas neboli česky stlačený zemní plyn. CNG je druhé nejrozšířenější alternativní palivo hned po LPG. V zásobníku vozidla bývá CNG stlačeno až na tlak 200 bar. Plnicích stanic na CNG je v současné době sice stále méně než například pro auta s LPG, ale jejich počet každým rokem znatelně roste. V České republice je v současnosti 224 CNG stanic (Obrázek 5). Výhledově se uvažuje o 250 CNG stanicích. Vozů na CNG se v České republice aktuálně provozuje více než 25 300. [11], [12], [14], [19]



Obrázek 5: Mapa CNG stanic [19]

Skladování CNG

Pro skladování CNG se využívají válcové zásobníky. Palivové nádrže CNG na vozidlech jsou především preferovány ty, které se přizpůsobí tvaru vozu. Vysokopevnostní tlakové nádoby však vyžadují rovnoměrná vnitřní pnutí. Nízká energetická hustota CNG také způsobuje problémy se skladováním na palubě vozidel spolu s problémem těžkých tlakových zásobníků nutných pro skladování plynného paliva. Válce jsou vyrobeny z oceli, vysokopevnostního hliníku, hliníku vinutého skelným vláknem nebo pryskyřičných kompozitu skelných nebo uhlíkových vláken. [11], [12], [14]

Plnicí stanice CNG

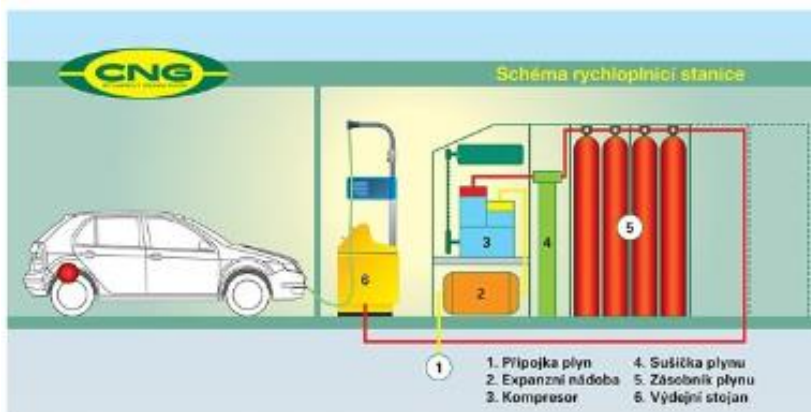
Plnicí stanice na CNG se rozdělují podle provedení plnicího procesu. Dělí se na:

- stanice pro rychlé plnění,
- stanice pro pomalé plnění.

Stanice pro rychlé plnění CNG (Obrázek 6) se vyrovná v době plnění nádrže kapalným palivům. Kdy doba čerpání je 3–5 minut. Plnicí stanice pomocí kompresoru odebírá zemní plyn z plynovodní přípojky. Po odstranění kondenzátu a nečistot se zemní plyn stlačuje v několika kompresních stupních až na tlak 30 MPa. Tento stlačený zemní plyn se skladuje ve vysokotlakých zásobnících. Tyto zásobníky bývají rozděleny na tři sekce:

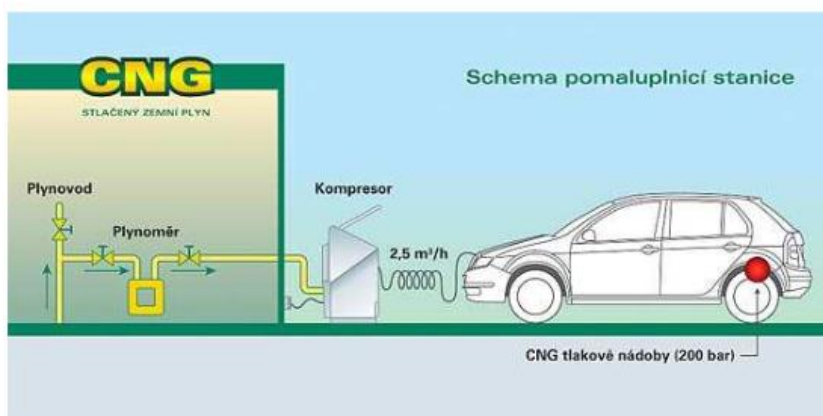
- vysokotlaká,
- středotlaká,
- nízkotlaká.

Toto rozdělení slouží k lepšímu využití zásobníků pro samotné plnění vozidel. Plnění vozidel probíhá připojením za pomoci rychloupínacího systému plnicího konektoru neboli „pistole“ k plnicímu ventilu vozidla. Po zapojení je stlačený zemní plyn přepouštěn do nádrže vozidla. Výdejní stojany jsou vybaveny senzory, které měří průtok plynu, teploty a tlaku. Elektronické řízení zajišťuje plnění tlakových nádrží ve vozidle na provozním tlaku 20–22 MPa. [11], [14], [19]



Obrázek 6: Schéma rychloplnicí stanice CNG [11]

U pomaluplnicích stanic (Obrázek 7) se plnění vozidel zemním plynem provádí přímo kompresorem. To má výhodu v tom, že se dá plnit více vozidel najednou. Na druhou stranu plnění je velice pomalé, trvá až několik hodin. Proto se provádí plnění většinou přes noc, kdy jsou vozidla mimo provoz. Oficiální mezinárodní název pro pomalé plnění je zkratka VRA, Vehicle Refuelling Appliance. Přeloženo do češtiny jako zařízení pro plnění vozidel. Pomaluplnicí zařízení popisuje norma jako přístroj, u které je hlavní součástí kompresor, který neobsahuje zásobník na zemní plyn. Zařízení disponuje maximálním výkonem 20 m³/hod s maximálním plnicím tlakem 26 MPa a maximální kapacitou zásobníku 0,5 m³ plynu. [11], [14], [19]



Obrázek 7: Schéma pomaluplnicí stanice na CNG [11]

Výhody CNG

Jednu z největších výhod CNG jako paliva je ekologická výhoda. Tato výhoda se dá rozdělit do několika bodů:

- snížení emisních škodlivin: CNG produkuje nižší množství škodlivých látek, jako jsou oxid uhelnatý a sirovodík, oproti benzínu a naftě,
- nižší emise skleníkových plynů v porovnání s benzínem a naftou,
- snižování závislosti na fosilních palivech.

Celkově lze říci, že CNG přispívá k ochraně životního prostředí a podpoře udržitelného rozvoje.

Další z výhod CNG je ekonomická výhodnost. Používání CNG jako paliva závisí na několika faktorech, jako jsou cena zemního plynu, náklady na úpravu vozidla na používání CNG a cena benzínu a nafty. Obecně platí, že CNG je levnější než benzín a nafta, což může vést k úsporám v nákladech na palivo. Navíc výroba CNG je často méně nákladná a šetrnější k životnímu prostředí než výroba benzínu a nafty. Tyto faktory mohou také přispět k dlouhodobé ekonomické výhodnosti používání CNG jako paliva. [11], [12], [14]

Jednu z dalších výhod CNG je bezpečnost. CNG je lehčí než vzduch oproti benzínu, naftě a LPG. To má za následek, že se rychle rozšiřuje do prostoru a má nižší riziko výbuchu. Další výhodou v bezpečnosti oproti benzínu je to, že CNG má dvojnásobnou zápalnou teplotu než benzín. Jednou z bezpečnostních výhod CNG jsou tlakové nádrže z oceli či kompozitu, které jsou bezpečnější než benzínové nádrže. [12]

Nevýhody CNG

CNG nemá jen výhody, ale má také řadu nevýhod. Jednou z nevýhod je nedostatečná infrastruktura. V některých oblastech může být nedostatek čerpacích stanic na CNG, což pro některé potenciální uživatele může být odrazující. Ovšem tato situace se zlepšuje a počet čerpacích stanic na CNG se zvyšuje, jak bylo zmíněno v úvodní kapitole o CNG. Další nevýhody jsou vyšší náklady na přestavbu vozidla na CNG a vyšší náklady na plnicí stanice. Ovšem se zvyšujícím se počtem uživatelů vozů na CNG se tyto náklady do budoucna budou snižovat. Jedna z nevýhod je také zhoršení stávajícího komfortu, a to zmenšením zavazadlového prostoru v případě, kdy je umístěna tlaková nádrž do tohoto prostoru. [12]

2.2.3.3 LNG (Liquified Natural Gas)

LNG z angličtiny Liquefied Natural Gas neboli česky zkapalněný zemní plyn. LNG je čirá, bezbarvá a netoxická kapalina. LNG vzniká při ochlazení zemního plynu na teplotu $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zkapalněný zemní plyn má cca 600krát menší objem než plynný zemní plyn. Lze ho použít jako palivo pro nákladní automobily a přepravu. Na zkapalněný zemní plyn jezdí na světě několik tisíc vozidel, a to především v USA. Ovšem počítá se s nárůstem využívání LNG v nejbližších letech především v Asii a v Evropě v některých zemích, jako je Anglie, Německo či Španělsko. V České republice podle statistik Českého plynárenského svazu bylo v naší republice v roce 2020 v provozu 36 vozidel na LNG. Na konci roku 2021 už po našich silnicích jezdilo 106 vozidel. Koncem roku 2022 jezdilo v tuzemsku okolo 135 registrovaných nákladních vozů na LNG. K dispozici mají 7 čerpacích stanic na LNG a toto číslo se pomalu zvyšuje. [11], [20]

Plnicí stanice a skladování LNG

Plnicí stanice na LNG jsou podobné plnicím stanicím na LPG. Rozdíl je ovšem v tom, že zkapalněný zemní plyn je přepravován a skladován v kryogenních komorách. Tyto komory jsou chlazeny na teploty mezi -160 až $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$. K chlazení samotných zásobníků na zkapalněný zemní plyn se používá kapalný dusík. [11], [12], [14]

Výhody LNG

LNG má řadu výhod, které ho činí atraktivním palivem pro dopravu:

- vyšší dojezd vozidel na LPG, který se dá srovnat s dojezdem vozidel na klasické pohonné hmoty,
- vysoce čisté palivo s minimem škodlivých látek,
- vysoká hustota energie,
- lehká palivová nádrž,
- větší prostor v úložném prostoru oproti CNG (palivové nádrže u LNG jsou menší),
- doba plnění je srovnatelná s klasickými palivy,
- bezpečnější provoz. LNG je bezpečné skladovat a používat, protože jeho tekutý stav zabraňuje vzniku výbuchů a hoření. [11], [13], [14]

Nevýhody LNG

LNG nemá jen výhody, ale má také řadu nevýhod:

- uchovávání za velmi nízkých teplot,
- při delší odstávce vozidla nastává odpar z nádrže,
- při srovnání se stlačeným zemním plynem má kapalný zemní plyn složitější a nákladnější technologie,
- jiná plnicí technologie vozidel a s nimi spjatá rizika při tankování,
- horší infrastruktura plnicích stanic.

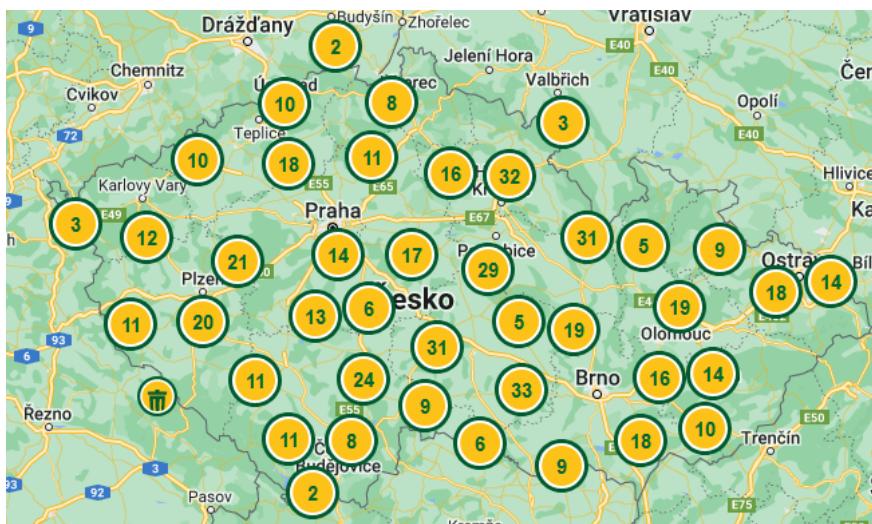
2.2.4 Bioplyn

Bioplyn je druh obnovitelného paliva vyrobeného z organických materiálů pomocí biologického rozkladu. Může být využit jako palivo pro generování elektřiny a tepla nebo jako náhrada za benzín a naftu v dopravě. [12], [11]

2.2.4.1 Výroba bioplynu

Bioplyn se vyrábí metanogenním kvašením organických látek. Bioplyn se používá pro pohon stabilních motorů, které se používají pro výrobu elektrické energie s plným využitím odpadního tepla. [12], [11]

Samotná výroba bioplynu probíhá v bioplynových stanicích pomocí procesu anaerobního (bez kyslíku) rozkladu organických materiálů, jako jsou rostlinné a živočišné odpady, krmiva pro zvířata, zemědělské plodiny atd. Tento proces vede k produkci biometanu a plynné směsi, která se následně upravuje a čistí před použitím jako palivo. Pro výrobu bioplynu je nutné zajistit vhodné teplotní, vlhkostní a kyselostní podmínky pro rozklad bakterií a také dostatečný přísun kyslíku pro efektivní produkci biometanu. V České republice je okolo 574 bioplynových stanic (Obrázek 8). [21]



Obrázek 8: Mapa bioplynových stanic [21]

2.2.4.2 Vlastnosti bioplynu

Bioplyn je tvořen směsí plynů a to z 55–75 % metanem, 25–40 % oxidem uhličitým zbytek bioplynu a to 1–3 % tvoří další plyny, jako jsou vodík, dusík a sirovodík viz (Tabulka 5). [12], [22]

Tabulka 5: Složení bioplynu [22]

Složka bioplynu	Obsah plynů
Metan	55–75 %
Oxid uhličitý	25–40 %
Vodík	0–3 %
Sirovodík	0,1–1 %
Dusík	1–3 %
Amoniak	stopové množství

Výhřevnost bioplynu, který má obsah 55–70 % metanu, leží v oblasti okolo hodnot mezi 18–26 MJ/m³ čili 5–7,2 kWh/m³. Výhřevnost bioplynu se může lišit v závislosti na kvalitě a složení suroviny, která se používá k výrobě, a na konkrétních podmínkách při výrobě a zpracování bioplynu. Bioplyn, který má být využit jako palivo pro pohon motorových vozidel, se musí ještě upravit. Tato úprava spočívá v odstranění přebytku nežádoucích příměsí. Po úpravě má bioplyn podobné vlastnosti jako zemní plyn, a to obsah metanu nad 95 %. To má za následek, že

výhřevnost je také srovnatelná jako u zemního plynu. Čistota bioplynu má velký vliv na životnost motoru. Pokud bude bioplyn špatně vyčištěn, životnost motoru prudce klesá. [11], [12], [23]

Pro rychlé čerpání se bioplyn stlačuje na tlak v rozmezí 250–300 barů. V samotných nádržích má bioplyn tlak okolo 50–100 barů. [12]

2.2.4.3 Výhody bioplynu

Jednou z hlavních výhod bioplynu je, že se jedná o obnovitelný zdroj energie. Bioplyn je vyroben z organických surovin, jako jsou rostlinné a živočišné odpady, a má tak šetrný vliv na životní prostředí a přispívá ke snížení závislosti na fosilních palivech.

Další výhodou bioplynu je, že snižuje emise. Oproti benzínu asi o 30 %. Výroba bioplynu a jeho následné využití jako paliva mohou pomoci snižovat emise skleníkových plynů, jako je oxid uhličitý, a tím zlepšit kvalitu ovzduší.

Bioplyn má také výhodu ekonomickou. Bioplyn může být vyráběn a využíván místně. To snižuje náklady na dopravu a podporuje místní ekonomiku. Navíc jeho využití může přinést úspory nákladů na energie a zlepšit energetickou efektivitu v této lokalitě.

Výhoda bioplynu spočívá také v tom, že může být vyráběn z odpadu, který by jinak skončil na skládkách, a tím pomáhá řešit problémy s odpadovým hospodářstvím.

Bioplyn má také bohaté uplatnění, protože může být využíván jako palivo pro výrobu tepla a elektřiny v různých odvětvích, jako jsou zemědělství, průmysl a může být použit také jako palivo do vozidel. [11], [12], [22], [24]

2.2.4.4 Nevýhody bioplynu

Bioplyn nemá jenom výhody, ale objevuje se také řada nevýhod.

Jedna z prvních nevýhod jsou vysoké náklady na výstavbu bioplynových stanic. Bioplynové stanice mohou být nákladné na výstavbu a instalaci, což může bránit jejich šíření.

Bioplynové stanice jsou závislé na dodávání surovin. Výroba bioplynu je závislá na dostupnosti a kvalitě surovin, jako jsou rostlinné a živočišné odpady, což může být v určitých oblastech omezující faktor.

Některé bioplynové stanice mohou produkovat vysoké množství škodlivých látek, jako jsou amoniak a sirovodík, které mohou mít negativní vliv na životní prostředí a zdraví lidí.

Je třeba zvážit výhody a nevýhody bioplynu a posoudit, zda je to pro danou situaci vhodný zdroj energie. Je nutné přihlídnout na ekonomické, environmentální a technologické faktory. [11], [12], [22], [24]

2.2.5 Vodík

Vodík je nelehčí a nejhojnější prvek na Zemi. Má vysoký energetický obsah a jeho hoření produkuje jen vodu, což z něj činí čisté palivo. Vodík je velmi perspektivní alternativní palivo. Vodíkové motory se mohou používat v automobilovém průmyslu, jako alternativa ke konvenčním benzínovým a naftovým motorům. Tyto motory jsou také využívány v letectví a kosmonautice, kde je nutný vysoký výkon a nízké emise. [11], [14]

V posledních letech se mu dostává větší pozornosti po celém světě. Výzkumné a vývojové aktivity jsou prováděny především s cílem zhodnotit vhodnost vodíku jako motorového paliva. Bohatá dostupnost ropných produktů však potlačuje komercializaci vodíku jako paliva pro vozidla. Vodík má řadu využití, například v palivových článcích. Zde se přeměňuje na elektrickou energii nebo jako surovina pro výrobu amoniaku a jiných chemikálií. [14]

Vodík se dříve jevil jako jediná náhrada za uhlovodíková paliva pro pístové spalovací motory. I přes své výhody však jeho široké použití jako paliva v současnosti čelí výzvám, jako jsou vysoké náklady na výrobu a nedostatečná infrastruktura pro distribuci a skladování vodíku ve vozidlech. [11], [14]

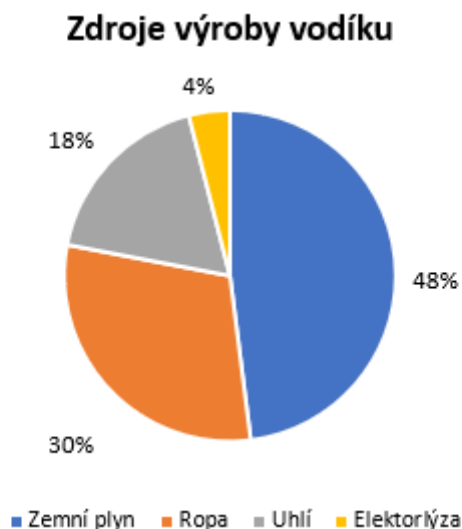
2.2.5.1 Vlastnosti vodíku

Vodík je zdaleka nejrozšířenějším prvkem ve vesmíru. Na Zemi se vodík výhradně vyskytuje v chemických sloučeninách, na rozdíl od volného molekulárního vodíku, který se v přírodě prakticky nevyskytuje. [14]

Vodík je nelehčí prvek, má jeden proton a jeden elektron. S atomovým číslem 1 je prvním prvkem v periodické tabulce prvků. Jedná se o plyn, který je bezbarvý, bez zápachu a chuti. Vodík je asi 14krát lehčí než vzduch. Při teplotě -253 °C vodík kondenzuje na kapalinu. Při teplotě -259 °C se stává látkou pevnou. [11], [14]

2.2.5.2 Výroba vodíku

Vodík lze vyrábět jak z obnovitelných zdrojů, tak i ze zdrojů neobnovitelných. Většina vodíku, která se ve světě vyrobí, pochází z fosilních paliv. Z tohoto důvodu vodík neplní požadavky na využívání obnovitelných zdrojů energie. Vodík lze ovšem vyrábět i z obnovitelných zdrojů. Tento podíl výroby je zatím jen v nepatrném poměru vůči výrobě z fosilních paliv. Zdroje výroby vodíku jsou znázorněny na (Obrázek 9). [11], [14]



Obrázek 9: Zdroje výroby vodíku [11]

Výroba vodíku se dělí na výrobu z fosilních paliv, výrobu vodíku elektrolýzou, výrobu z biomasy a na výrobu z alternativních zdrojů energie. [11], [25]

Výroba vodíku z fosilních paliv

Vodík může být vyroben z fosilních paliv, jako je ropa a zemní plyn, pomocí procesu zvaného reformování. Reformování spočívá v přeměně uhlovodíků na vodík a uhlík. Za pomoci vysokých teplot a tlaků v kombinaci s katalyzátorem. Tyto reakce produkují vodík a oxid uhličitý, který může být poté dále zpracován nebo využit. [11], [25]

Parní reformování zemního plynu

Parní reformování zemního plynu je v dnešní době hlavní technologie pro výrobu vodíku z fosilních paliv. Touto metodou je výroba vodíku nejméně nákladná. Metody výroby vodíku, jako jsou parciální oxidace uhlovodíků nebo zplyňování uhlí, jsou o 36–38 % nákladnější než metoda parního reformování. [11], [14]

Tento proces spočívá v použití páry vodíku a zemního plynu jako vstupu, který reaguje s katalyzátorem za vysokých teplot a tlaků. Výsledkem reakce je tvorba vodíku a oxidu uhličitého. Tento vodík může být poté použit jako palivo nebo pro další zpracování. Parní reformování zemního plynu je široce používáno, protože zemní plyn je cenově dostupný a je snadný zdroj uhlíku. Nicméně, parní reformování zemního plynu vyžaduje vysoké teploty a tlaky a také produkuje emise skleníkových plynů, což je hlavní nevýhoda této technologie. [11], [14], [25]

Parciální oxidace uhlovodíků

Tato metoda výroby vodíku je druhá nejrozšířenější na světě. Jako surovinu v této metodě výroby lze použít jak plynné, tak i tuhé suroviny z primárního i sekundárního zpracování ropy. Při teplotách okolo 1300–1430 °C se surovina za pomoci kyslíku a vodní páry zplyňuje. Výhodou této metody je, že při takto vysokých teplotách a za nepřítomnosti katalyzátoru je možno použít suroviny, jako jsou ropné frakce, mazuty, vakuové zbytky, propanové asfalty. [11], [25]

Nicméně, parciální oxidace uhlovodíků má několik nevýhod. Jedna z nich je nutnost vysokých teplot a tlaků a produkce škodlivých emisí, jako je oxid uhelnatý a sirovodík. Tyto faktory snižují atraktivitu této metody jako alternativního zdroje pro výrobu vodíku. [11], [25]

Zplyňování uhlí

Tato metoda je podobná metodě parciální oxidaci ropných prvků. Tato technologie funguje na principu, že se v prvním kroku uhlí rozemele na drobné částičky a smíchá se s kyslíkem a párou vodíku, které pomáhají při rozkladu uhlí. Z této směsi se zplyněním ve zplyňovacím generátoru vyrobí syntézní plyn. Používají se čtyři druhy zplyňovacích generátorů, a to generátor s pevným, pohyblivým, fluidním a unášeným ložem pevné fáze. Nejvhodnější generátor pro výrobu vodíku je generátor s unášeným ložem pevné fáze. Pracuje se při teplotách okolo 1300 °C, což způsobuje reakci mezi uhlím a kyslíkem. Tyto reakce způsobují rozpad uhlí na jednoduché plynné sloučeniny, jako je vodík, metan a uhelný plyn. Tyto plynné sloučeniny se poté oddělí a čistí, aby se odstranily škodlivé látky, jako jsou těžké kovy a prach. [11], [14], [25]

Při této metodě je výrobní cena vodíku vyšší, než když se vodík vyrábí metodou parního reformování zemního plynu. To je způsobeno tím, že pro dosažení teploty okolo 1300 °C je zapotřebí spálit velké množství uhlí i kyslíku. [11]

Výroba vodíku elektrolýzou vody

Elektrolýza vody je metoda, u které dochází k disociaci vody účinkem stejnosměrného elektrického proudu. Voda se elektricky rozdělí na kyslík a vodík pomocí elektrolýzy, kdy se elektrický proud použije k rozdělení molekul vody. Kyslík se vytváří na katodě (negativně nabitě elektrodě), zatímco vodík se uvolňuje na anodě (pozitivně nabitě elektrodě). [11], [25]

Elektrolýza vody je ekologičtější zdroj pro výrobu vodíku. Nevznikají při ní emise škodlivých látek. Je však nákladná, a proto se hledají zdroje elektřiny pro elektrolýzu, které jsou obnovitelné a ekologické, jako jsou solární, vodní nebo větrné zdroje. [11]

2.2.5.3 Výhody vodíku

Spalování vodíku v motoru vytváří pouze vodní páru a dusík. To dělá z vodíku ekologičtější palivo než paliva fosilní. Vodík také poskytuje vysoký energetický obsah, což zajišťuje vysoký výkon a dlouhou dobu jízdy. To souvisí s další výhodou a to, že vodík umožňuje ve spalovacím motoru spalovat velmi chudé směsi paliva, což výrazně snižuje spotřebu paliva. Další výhodou je, že vodík lze vyrábět ze širokého spektra zdrojů, jako jsou fosilní paliva, biomasa a elektrolýza vody. [11], [14]

2.2.5.4 Nevýhody vodíku

Vodík nemá jen samé výhody, ale vyskytují se u něj i nevýhody. Jako jsou náklady na výrobu. Výroba vodíku je stále nákladná a závisí na cenách fosilních paliv, ze kterých se z velké většiny vyrábí. Jednou z nevýhod jsou také vysokotlaké nádrže, ve kterých se skladuje vodík. Jejich výroba je velice nákladná, protože tyto nádrže musí vydržet tlaky až okolo 700 barů a musí být naprosto těsné. Jelikož vodík je lehký prvek a může uniknout i velmi malými trhlinami. Další nevýhoda vodíku je špatná infrastruktura. Je nutné vybudovat širokou síť infrastruktury pro distribuci a využití vodíku, což je náročné a nákladné. S tímto problémem souvisí nedostatečný počet vodíkových stanic pro plnění automobilů na vodíkový pohon. V České republice jsou pouze 2 takovéto plnicí stanice. [11], [12], [14], [26]

2.2.6 Etanol

Etanol je organická sloučenina, která má dlouhou historii jako nápoj a léčivý přípravek. Jedná se o jednoduchý alkohol, který se často používá jako rozpouštědlo, lékařský přípravek či palivo. Jeho využití jako paliva se datuje až do 19. století, kdy byl vynalezen spalovací motor. První automobily však používaly jako palivo benzín, s časem však lidstvo začalo hledat paliva alternativní s menšími emisními škodlivinami a vyšším bezpečnostním profilem. Etanol se jako palivo do spalovacích motorů začalo používat v 70. a 80. letech 20. století v Brazílii a v USA. V dnešní době se etanol používá jako směs s benzínem v mnoha zemích po celém světě a jeho výroba se rozšiřuje, aby se zlepšila energetická bezpečnost a snížila závislost na fosilních palivech. [12], [14]

Etanol se často vyrábí z cukrové třtiny, řepky a dalších rostlinných zdrojů prostřednictvím procesu zvaného fermentace, kde kvasinky konzumují cukr a produkují etanol a oxid uhličitý. Etanol se také může vyrábět synteticky z ethenu. Etanol jako palivo má nižší energetickou hodnotu než benzín. Jeho výhoda tkví v tom, že má nižší emise škodlivin a může být vyráběn z obnovitelných zdrojů, což mu dává určitou výhodu jako alternativní palivo. [12]

2.2.6.1 Vlastnosti etanolu

Etanol je bílá kapalina s charakteristickým alkoholickým zápachem. Etanol má nízký bod varu 78,3 °C a vysokou tekutost. Etanol má vyšší oktanové číslo než benzín. To má vliv na kompresní tlak v motoru, který se snižuje a zároveň se tím snižuje riziko detonace. Vlastnosti etanolu a jeho porovnání s ropnými palivy jsou znázorněny viz (Tabulka 6). [12], [14]

Tabulka 6: Porovnání vlastností etanolu a ropných paliv [12]

	Etanol	Benzin	Nafta
Výhřevnost [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$]	26,9	43,7	45,5
Bod varu [$^{\circ}\text{C}$]	78,3	99,2	150,0
Oktanové číslo [-]	106,0	79–98	-

Etanol má v porovnání s ropnými palivy menší výhřevnost (Tabulka 7). Avšak ke spálení potřebuje menší množství vzduchu. [12]

Tabulka 7: Porovnání výhřevnosti a výparného tepla etanolu a benzínů [12]

Palivo	Výhřevnost [kJ/kg]	Výhřevnost [kJ/l]	Směs paliva se vzduchem [kJ/m ³]	Výparné teplo [kJ/kg]
Benzín	43680	32340	3360	315
Benzol	40320	35700	3520	395
Etanol	26880	21420	3320	856

2.2.6.2 Výroba etanolu

Etanol se vyrábí z různých druhů surovin, jako je cukrová třtina, řepka, kukuřice, obilí, brambory, ovoce, sladovnické pivo nebo odpadní biomasa. Nejčastějším zdrojem suroviny pro výrobu etanolu je však cukrová třtina. [12]

Výroba etanolu začíná přípravou suroviny, kdy se surovina nejprve rozemele na malé části a přidá se k ní voda a kvasné enzymy, aby se zahájil proces fermentace. Fermentace je proces, kde se kvasné enzymy použijí k rozkladu cukru na alkohol a oxid uhličitý. Tyto cukry mohou být vyrobeny i ze zeleniny a celulózy (dřeva). Tato reakce probíhá za přítomnosti specifických kvasinek. Po fermentaci následuje destilace. Směs se destiluje, aby se oddělil etanol od zbytku směsi. Proces destilace se opakuje několikrát, aby se dosáhlo požadovaného stupně čistoty etanolu. Poslední fází výroby etanolu je dehydratace. Etanol se dehydratuje na vysoké teplotě a tlaku, aby se získal čistý technický ethanol. [12], [14], [27]

Výrobní proces může být doplněn o další kroky, jako je například čištění a kondenzace, aby se zlepšila kvalita výsledného produktu. Tyto kroky mohou být odlišné podle toho, jaká se použije surovina a který výrobní postup bude zvolen. [12], [14], [27]

2.2.6.3 Výhody etanolu

Etanol jako palivo do spalovacích motorů má řadu výhod. Etanol má vyšší oktanové číslo než benzín. To znamená, že má vyšší hořlavost a zaručuje vyšší výkon a otáčky motoru. Spalovací motory, které jsou provozovány na etanol, mají dokonalejší spalování a přispívají k ochraně životního prostředí. Etanol má nižší emise škodlivých látek, jako je oxid uhličitý než benzín. Jednou z výhod etanolu je také snadná dostupnost. Může se vyrábět z lokálních zdrojů, jako je obilí, cukrová třtina, dřevo a z dalších surovin. Další jeho výhodou navazuje na předešlou. Etanol

se vyrábí z obnovitelných zdrojů energie. Tím přispívá ke snížení závislosti na dovozu ropy. Etanol má také ekonomické výhody. V některých zemích je cena etanolu nižší než cena benzínu, což může pomoci snižovat náklady na paliva pro spotřebitele. Hlavní výhodou je ovšem to, že se dá etanol smíchat s benzínem a vytvořit směs. Jako jsou směsi paliv E10 nebo E85, což může zlepšit ekonomiku jízdy a snížit emise. [12], [14], [27]

2.2.6.4 Nevýhody etanolu

Etanol má také řadu nevýhod. Jedna z nich je problém s korozí. Etanol způsobuje rychlejší korozi kovových materiálů. Také má detergentní účinky. To znamená, že odstraňuje olej a leptá plastické hmoty. Výpary etanolu také mohou mít negativní účinky na lidský organismus. Pokud se člověk těchto výparů nadýchá, může dojít k ovlivnění a snížení řidičských schopností řidiče. Etanol má nižší výhřevnost než benzín, což znamená, že motor potřebuje více paliva k dosažení stejného výkonu. Toto souvisí i s dojezdem vozidla, které je poháněno na etanol. Kvůli nižší energetické hodnotě etanolu mohou vozidla na ethanol spálit více paliva a dosahovat nižších dojezdů než vozidla na benzín. Nevýhoda etanolu je také v zimě při nízkých teplotách. Z důvodu toho, že etanol má vyšší zápalné teploty okolo 425 °C (benzín má 200 °C), může dojít k horší startovatelnosti motoru. [12], [14]

2.2.7 Metanol

Metanol znali již staří Egypťané, kdy používali dřevěný líh vyrobený destilací dřeva. Používali jej jako jednu z látek na balzamování mumií. V moderní době jej vyrobil v čisté formě Robert Boyle destilací dřeva zimostrázu, to se psal rok 1661. Metanol ovšem nenalezl využití, proto zapadl v zapomnění. Jeho znovu objevení nastalo počátkem 19. století. Během 2. světové války se začal používat pro nedostatek benzínu pro pohon civilních vozidel. Také ho v této době používala německá armáda jako palivo pro vojenské rakety. Metanol byl také široce používán ve vysoce výkonných vozidlech, jako jsou závodní auta a monster trucky. Od roku 1964 se začal používat čistý metanol jako náhrada za benzín v sérii závodů indy car, které jsou v Americe populární dodnes. [28], [29], [30]

Metanol je čirá kapalná chemikálie používaná v tisících každodenních produktů včetně plastů, barev, kosmetiky a paliv. Metanol může také sloužit jako energetický zdroj. Používá se v námořním, automobilovém a elektrickém sektoru. V současnosti

se metanol používá jako alternativní palivo k benzínu a naftě ve směsi s kapalnými palivy a také jako zdroj energie pro palivové články. Metanol se může také používat jako náhrada za fosilní paliva, což může pomoci snižovat emise skleníkových plynů a chránit životní prostředí. [12], [14], [29], [31]

2.2.7.1 Vlastnosti metanolu

Metanol dříve známý a nazývaný jako dřevěný líh je ve vodě rozpustný a snadno biologicky odbouratelný prvek. Obsahuje čtyři díly vodíku, jeden díl kyslíku a jeden díl uhlíku, to z něj dělá nejjednoduššího zástupce skupiny organických chemikálií nazývaných alkoholy. Metanol je čistě hořící, biologicky odbouratelné palivo. [14], [31], [30]

Další vlastností metanolu je toxicita. V těle člověka může vyvolat řadu zdravotních problémů, jako jsou závratě a bolest hlavy, může způsobit poškození zraku, dokonce i slepotu. Po požití metanol narušuje trávicí trakt a může vyvolat zvracení či průjem. Při velkém požitém množství mohou nastat poruchy vědomí, kóma a dokonce i smrt. Proto je v případě požití metanolu nutné okamžitě vyhledat lékařskou pomoc. [12], [14], [28], [31]

Podrobné fyzikální a chemické vlastnosti jsou uvedeny v (Tabulka 8).

Tabulka 8: Chemické a fyzikální vlastnosti metanolu [12], [14]

Název	Metanol
Chemický vzorec	CH ₃ OH
Molární hmotnost [g/mol]	32
Cetanové číslo [-]	5
Oktanové číslo [-]	105
Bod varu [°C]	64,5
Teplota samovznícení [°C]	316
Výhřevnost [MJ·kg ⁻¹]	19,7
Hustota při 20 °C [kg·m ⁻³]	791

Vlastnosti metanolu a jeho porovnání s ropnými palivy je znázorněno viz (Tabulka 9).

Tabulka 9: Vlastnosti metanolu a jeho porovnání s ropnými palivy [12]

	Metanol	Benzin	Nafta
Výhřevnost [MJ·kg ⁻¹]	21,3	43,7	45,5
Bod varu [°C]	64,5	99,2	150,0
Oktanové číslo [-]	105	79–98	-

Metanol, stejně jako etanol, má v porovnání s ropnými palivy menší výhřevnost (Tabulka 10). Avšak ke spálení potřebuje menší množství vzduchu. [12]

Tabulka 10: Porovnání výhřevnosti a výparného tepla metanolu a benzínů [12]

Palivo	Výhřevnost [kJ/kg]	Výhřevnost [kJ/l]	Směs paliva se vzduchem [kJ/m ³]	Výparné teplo [kJ/kg]
Benzín	43680	32340	3360	315
Benzol	40320	35700	3520	395
Metanol	18730	15540	3150	1090

2.2.7.2 Výroba metanolu

Metanol se dlouhou dobu vyráběl ze dřeva, ale to většinou jen jako vedlejší produkt při výrobě dřevěného uhlí. Tato situace se již změnila a metanol je pro motorová vozidla důležitým palivem. Nejvíce metanolu se vyrábí v Brazílii, USA a Švédsku. [12]

Obvykle se metanol vyrábí ze zemního plynu nebo z uhlí. Ovšem s rostoucím zájmem o udržitelnost se metanol ukázal jako všestranný ve svých výrobních cestách. Stále více se pro výrobu metanolu využívají obnovitelné suroviny, jako je zemědělský odpad, komunální pevný odpad, odpadní vody, obnovitelná elektřina a zachycený CO₂. Nevýhoda výroby metanolu z biomasy je ovšem vysoká cena, a to někdy i dvojnásobná oproti výrobě syntetického metanolu vyrobeného ze zemního plynu. [12], [29], [31], [32]

Výroba metanolu ze zemního plynu

Nejpoužívanější metodou výroby metanolu je katalytická oxidace zemního plynu. Tento proces výroby spočívá v přeměně zemního plynu na syntézní plyn, což je směs oxidu uhelnatého a vodní páry, a následně v oxidaci syntézního plynu za přítomnosti katalyzátoru na metanol. Tento proces se skládá z několika kroků. Nejprve se zemní plyn smísí s párou a přivádí se do reaktoru, kde se přeměňuje na syntézní plyn, který obsahuje oxid uhelnatý a vodní páru. Tento plyn se následně směšuje s oxidem dusnatým a vstříkují se do reaktoru s katalyzátorem, kde probíhá oxidace na metanol. Vyroběný metanol se poté odděluje od vedlejších produktů a nečistot. [12], [29], [31], [32]

Tato metoda je výhodná pro vysokou účinnost a flexibilitu výroby, jelikož zemní plyn lze snadno získat z různých zdrojů a syntézní plyn lze využít k výrobě dalších chemikálií. Naopak, jako u všech průmyslových procesů, výroba metanolu může mít negativní dopad na životní prostředí, zejména kvůli emisím oxidu uhličitého a jiných skleníkových plynů. [12], [31], [32]

Výroba metanolu z uhlí

Výroba metanolu z uhlí se provádí pomocí procesu známého jako plynová fáze oxidace nebo také jako syntéza plynu. Tento proces spočívá v přeměně uhlí na oxid uhelnatý a vodík v reakční komoře za pomoci vysokých teplot a tlaků. Tento proces výroby se v průmyslu používá poměrně často, jelikož uhlí je relativně levné a snadno dostupné palivo. Z těchto důvodů je výroba metanolu touto metodou výhodná především pro výrobu velkých objemů metanolu. Nicméně, výroba metanolu z uhlí má také negativní stránku a tou je negativní dopad na životní prostředí. Tento proces výroby produkuje velké množství skleníkových plynů a znečišťuje ovzduší. [12], [29]

Výroba metanolu z biomasy

Výroba metanolu z biomasy je proces využívající organickou hmotu z rostlin, lesních zbytků, zemědělských odpadů a jiných biologických materiálů. Tento proces výroby se nazývá biomethanolizace. [14], [29]

Biomethanolizace se dělí na dva druhy výroby, a to termický a katalytický proces. V termickém procesu se biomasa zahřívá na vysokou teplotu, přičemž se uvolňuje metanol a další plyny. Tyto plyny se pak oddělují a metanol se získává destilací.

V katalytickém procesu se biomasa nejprve zpracuje na pyrolýzu, což je proces rozkladu organických látek při vysokých teplotách v odsávací peci. Vznikající plyny se pak směšují s katalyzátorem, který urychluje chemickou reakci a umožňuje získání metanolu. Tento způsob výroby je šetrnější k životnímu prostředí. Má nižší emise skleníkových plynů než výroba z fosilních paliv. [14], [29], [31]

2.2.7.3 Výhody metanolu

Výhoda metanolu spočívá v jeho výkonových parametrech. Vyšší oktanové číslo umožňuje vyšší kompresi a následnou lepší účinnost motoru. Metanol má také vyšší okamžitou výbušnost v porovnání s benzínem. To znamená, že motor může být výkonnější a mít rychlejší reakci na plynový pedál. Další z výhod je technologie výroby metanolu. Tyto technologie výroby jsou spolehlivé a hojně používané (výroba alkoholu). Důležitou výhodou metanolu, jako paliva je vyšší energetický obsah na objem než u jiných alternativních paliv, jako je stlačený zemní plyn nebo LPG. Další velkou výhodou jsou minimální potřebné změny v distribučních sítích paliv. Metanol může výrazně snížit emise škodlivých plynů. Může být použit přímo jako náhrada benzínu a ve směsích může být použit i s naftou. Jeho výhodou je také bezpečnost, je méně prchavý a při případném požáru se dá uhasit pouze vodou. [12], [14], [29]

2.2.7.4 Nevýhody metanolu

Hlavní nevýhodou metanolu je toxicita, nejen při vdechnutí, ale i při kontaktu s kůží. Další značnou nevýhodou je, že metanol, tak jako etanol, způsobuje rychlou korozi kovových materiálů. Má detergentní účinky, negativně ovlivňuje také plasty, které naleptává. Těmto nevýhodám lze zabránit použitím více odolných materiálů. Další z nevýhod metanolu je, že má neviditelný plamen, tomu se dá zamezit tím, že s příměsí 15 % benzínu se plamen stane viditelným. Nevýhoda metanolu je také výrobní cena, která je pomalu dvojnásobná oproti benzínu. [12], [14], [29]

3 Cíl práce

Cílem praktické části diplomové práce je určit a porovnat vlivy měřených směsí paliv na provozních podmínkách zážehového spalovacího motoru. Tohoto globálního cíle práce bude dosaženo prostřednictvím dílčích cílů:

- měření a vyhodnocení spotřeby paliva a produkce emisních složek jednotlivých směsí paliv,
- porovnat vlivy jednotlivých směsí paliv na spotřebu paliva,
- porovnat vlivy jednotlivých směsí paliv na produkci emisních složek.

4 Metodika práce

V této kapitole je popsán postup měření a jednotlivá zařízení, na kterých bylo provedeno měření za účelem získání jednotlivých parametrů směsí paliv. V první kapitole je popsán postup, kterým se měřené hodnoty získaly, aby se s nimi mohlo dále pracovat. Dále následuje druhá část, kde jsou představeny a popsány jednotlivé směsi paliv. Jsou zde také určeny sledované parametry, které jsou nutné ke splněním cílů diplomové práce. V poslední části metodiky práce, tedy ve třetí kapitole jsou popsána jednotlivá zařízení, pomocí nichž byla praktická část práce provedena.

4.1 Postup měření

Praktická část diplomové práce byla provedena v laboratoři Katedry jakosti a spolehlivosti strojů, která sídlí na technické fakultě České zemědělské univerzity v Praze. Měření se provádělo na mobilním generátoru ProMax 3500A (Obrázek 10). Parametry mobilního generátoru jsou vyneseny v (Tabulka 11, Tabulka 12). Spalovací motor generátoru pracuje při rychlosti otáčení 3000 min^{-1} , elektrická výstupní frekvence je 50 Hz. V těchto otáčkách byl motor postupně zatěžován elektrickým odporem na výkon, který měl hodnotu cca 660, 1320, 1950 a 2560 W. Tato výkonová zatížení odpovídají 25, 50, 75 a 100 % jmenovitému výkonu generátoru. Ztráty, které mohou vzniknout převodem či změnou viskozity motorového oleje, se neberou v úvahu. Měření se provádí při provozní teplotě, která je od $90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ do $110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ teploty motorového oleje. Před samotným měřením muselo být v externí nádrži vždy dostatečné množství testovaného paliva. Z důvodu vyčištění palivového systému probíhalo zahřívání mobilního generátoru již na provozní teplotu na testovanou směs paliva. Tento krok při měření byl nezbytný, aby nedošlo ke kontaminaci s předešlým palivem. Pokud by tento krok nebyl proveden došlo by ke zkreslení měření a samotných výstupních dat. Po pečlivém propláchnutí palivového systému a zahřátí mobilního generátoru na provozní teplotu mohlo být měření zahájeno.

Při zatěžování spalovacího motoru se měřila frekvence, elektrický proud a napětí na výstupu generátoru pomocí elektroměru ZPA ED310 vybaveného RS 485 s přesností 0,05 %. Dále se současně s těmito parametry měřil hmotnostní průtok paliva pomocí laboratorní váhy Vibra AJ 6200, která má přesnost 0,1 g. Pro tento

účel byla použita externí nádrž, aby bylo možno měřit úbytek paliva. Z tohoto parametru byla následně stanovena spotřeba testovaného paliva. Jako testovací zařízení pro měření emisí byl použit FTIR analyzátor Bruker. Tento analyzátor byl připojen k výfukovému potrubí. Všechna tato data byla ukládána na disk počítačové sestavy pomocí rozhraní RS482 až RS232. Pro tento účel zápisu byla vyvinuta softwarová aplikace LabView.

4.2 Porovnání směsí podle jednotlivých parametrů

U jednotlivých směsí paliv, která byla použita pro pohon zážehového spalovacího motoru, byly sledovány tyto parametry:

- spotřeba paliva,
- emise CO, CO₂, NO_x, formaldehydu.

Tyto parametry byly porovnávány s referenčním palivem, a to byl čistý benzín. Ten sloužil jako etalon pro porovnávání.

4.3 Přístroje použité při měření

Přístroje, které byly použity na měření jsou:

- mobilní generátor,
- laboratorní váha,
- FTIR analyzátor.

Mobilní generátor

Samotné měření probíhalo na mobilním generátoru ProMax 3500A (Obrázek 10). Jedná se o mobilní generátor vyráběný společností Briggs and Stratton. Mobilní generátor je vybaven čtyřtákním zážehovým motorem, který je chlazen vzduchem. Jeho základní specifikace jsou uvedeny v (Tabulka 11, Tabulka 12).

Tabulka 11: Elektrické parametry mobilního generátoru [33]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Jmenovitý výkon	2700	[W]
Maximální výkon	3400	[kVA]
Vstupní napětí	220	[V]
Vstupní frekvence	50	[Hz]
Výstupní proud	11,2	[A]

Tabulka 12: Parametry spalovacího zážehového motoru mobilního generátoru [33]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Typ Vanguard	6,5	[HP]
Jmenovitý výkon	4,8	[kW]
Jmenovité otáčky	3600	[min ⁻¹]
Maximální točivý moment	13,3	[Nm]
Zdvihový objem	205	[cm ³]
Ventily	2	[-]
Kompresní poměr	8,3 : 1	[-]



Obrázek 10: Mobilní generátor ProMax 3500A

Laboratorní váha

Laboratorní váha Vibra AJ 6200 byla použita na měření spotřeby paliva. Laboratorní váha je vyobrazena na (Obrázek 11). Její technické parametry jsou uvedeny v (Tabulka 13).

Tabulka 13: Technické parametry laboratorní váhy [34]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Maximální váživost	6200	[g]
Přesnost	0,1	[g]
Ověřitelný dílek	0,01	[g]
Přípustná teplota prostředí	0–35	[°C]
Rozměr	180 x 160	[mm]
Váha	2,8	[kg]



Obrázek 11: Laboratorní váha Vibra AJ 6200

FTIR analyzátor Bruker

FTIR analyzátor značky Bruker byl použit pro hodnocení spektra výfukových plynů u testovaných paliv. Jedná se o analyzátor, který má rychlost skenování až 32 spekter. Funguje na rozhraní ethernetu na spektroskopickém softwaru OPUS. Jeho operační systém je Windows XP či Windows 7. Technické parametry analyzátoru jsou znázorněny v (Tabulka 14). FTIR analyzátor je vyobrazen na (Obrázek 12).

Tabulka 14: Technické parametry FTIR analyzátoru [35]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Spektrální rozlišení	1,0	[cm^{-1}]
Přesnost vlnového čísla	0,01	[cm^{-1}]
A/D převodník	24	[bit]
Výkon ohříváče plynu	220	[W]
Rozsah provozních teplot	0–40	[°C]



Obrázek 12: FTIR analyzátor Bruker

5 Výsledky měření

V této části diplomové práce jsou prezentovány výsledky měření, které byly změřeny na mobilním generátoru. Jedná se o parametry spotřeby paliva a o produkci emisí. Zpočátku jsou vyhodnoceny jednotlivé parametry paliv pro každé palivo zvlášť. Poté jsou tyto parametry jednotlivých směsí paliv mezi sebou porovnány.

5.1 Směsi paliv

Pro měření byla vybrána paliva, která by mohla potenciálně snížit emise produkované ve spalovacím zážehovém motoru, snížit náklady či snížit závislost na fosilních palivech. Jako paliva byly použity směsi benzínu a metanol v různých poměrech. Tyto směsi byly porovnávány s čistým benzínem.

Přehled paliv použitých při měření:

- čistý benzín,
- směs 90 obj. % benzínu, 10 obj. % metanolu,
- směs 80 obj. % benzínu, 20 obj. % metanolu,
- směs 50 obj. % benzínu, 50 obj. % metanolu.

5.2 Naměřené hodnoty jednotlivých směsí paliv

V této podkapitole jsou uvedeny naměřené hodnoty jednotlivých směsí paliv. Jako jsou spotřeba paliva, emise oxidu dusíku (NO_x), emise oxidu uhelnatého (CO), emise oxidu uhličitého (CO_2) a emise formaldehydu.

Benzín

Benzín byl prvním testovaným palivem a slouží jako etalon, se kterým budou další směsi paliv porovnávány. V (Tabulka 15) jsou uvedeny naměřené hodnoty.

Tabulka 15: Naměřené hodnoty pro benzín

Otáčky motoru [min ⁻¹]	Výkon motoru [W]	Spotřeba paliva [kg·h ⁻¹]	NO _x [%hm]	CO [%hm]	CO ₂ [%hm]	Formaldehyd [%hm]
3138,14	702,74	0,65	0,08	2,63	19,06	0,00487
3104,84	1337,47	0,81	0,10	3,49	18,82	0,00394
3079,56	1944,05	1,00	0,15	2,85	18,99	0,00358
3022,25	2550,95	1,15	0,20	2,75	19,57	0,00335

Směs benzínu a metanolu M10

Pro směs benzínu a metanolu M10 jsou hodnoty uvedeny v (Tabulka 16).

Tabulka 16: Naměřené hodnoty pro směs benzínu a metanolu M10

Otáčky motoru [min ⁻¹]	Výkon motoru [W]	Spotřeba paliva [kg·h ⁻¹]	NO _x [%hm]	CO [%hm]	CO ₂ [%hm]	Formaldehyd [%hm]
3154,45	682,49	0,62	0,09	3,35	19,95	0,00311
3114,00	1317,89	0,81	0,12	2,45	20,03	0,00297
3080,73	1923,40	0,95	0,17	1,93	19,52	0,00295
3003,33	2550,31	1,27	0,14	4,36	17,76	0,00266

Směs benzínu a metanolu M20

Hodnoty pro směs benzínu a metanolu M20 jsou uvedeny v (Tabulka 17).

Tabulka 17: Naměřené hodnoty pro směs benzínu a metanolu M20

Otáčky motoru [min ⁻¹]	Výkon motoru [W]	Spotřeba paliva [kg·h ⁻¹]	NO _x [%hm]	CO [%hm]	CO ₂ [%hm]	Formaldehyd [%hm]
3134,39	703,80	0,72	0,07	2,82	18,74	0,00346
3115,59	1337,41	0,90	0,10	3,25	18,61	0,00315
3077,33	1944,83	1,09	0,13	2,98	18,92	0,00311
3003,72	2550,20	1,28	0,14	2,67	20,06	0,00339

Směs benzínu a metanolu M50

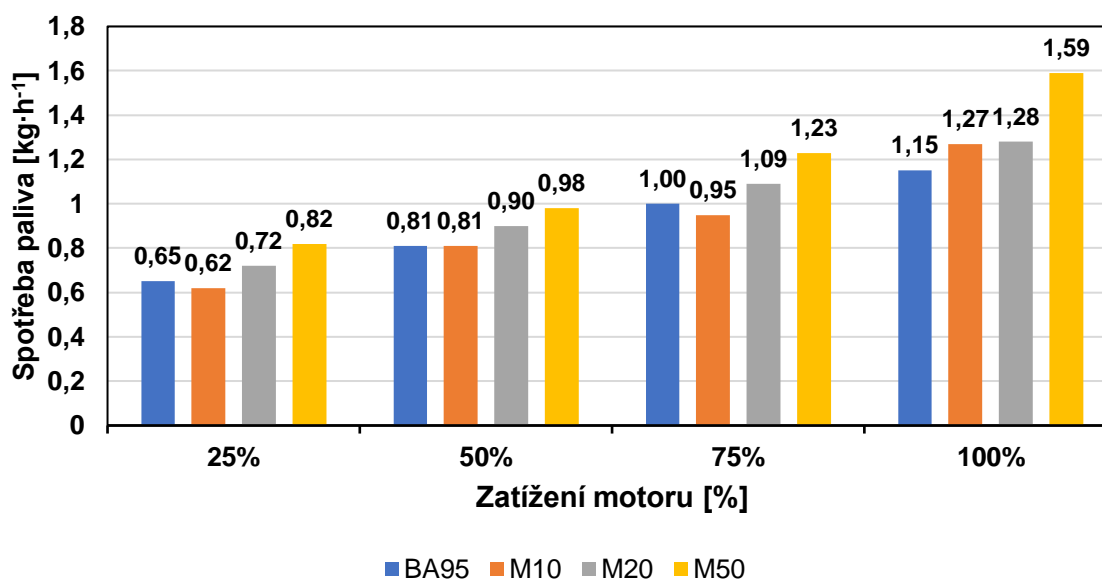
Pro poslední směs benzínu a metanolu M50 jsou hodnoty uvedeny v (Tabulka 18)

Tabulka 18: Naměřené hodnoty pro směs benzínu a metanolu M50

Otáčky motoru [min ⁻¹]	Výkon motoru [W]	Spotřeba paliva [kg·h ⁻¹]	NO _x [%hm]	CO [%hm]	CO ₂ [%hm]	Formaldehyd [%hm]
3136,10	702,91	0,82	0,07	3,21	18,76	0,00535
3099,09	1335,07	0,98	0,09	2,57	19,63	0,00514
3069,93	1941,56	1,23	0,14	2,26	19,36	0,00530
2872,85	2527,01	1,59	0,14	2,92	17,80	0,00531

5.3 Spotřeba paliva

Spotřeba zkoušených paliv při daných zatíženích motoru je znázorněna na (Graf 1). S nárůstem zatížení motoru je zřetelné, že spotřeba paliva se zvětšuje. Paliva s příměsí metanolu mají při porovnání s čistým benzínem vyšší spotřebu paliva. Nejvyšší spotřebu paliva má konkrétně palivo M50. Toto palivo má průměrný nárůst spotřeby paliva oproti benzínu 27,10 %. U paliva M20 tento průměrný nárůst činí 10,55 %. Nejlépe z tohoto měření vyšlo palivo M10, kdy dokonce při 25% zatížení motoru byla spotřeba paliva o 4,62 % nižší než u čistého benzínu. Ovšem v celkovém součtu průměrných hodnot byla spotřeba vyšší, a to o 2,71 %. Podrobný přehled relativních změn směsí paliv oproti výchozímu palivu je znázorněn v (Tabulka 19).



Graf 1: Spotřeba paliva v závislosti na použitém palivu pro jednotlivá zatížení motoru

Z těchto výsledků vyplývá, že příměs metanolu v palivové směsi má negativní vliv na spotřebu paliva v celém spektru zatížení motoru. Pouze ve dvou případech, a to konkrétně u paliva M10 při zatížení motoru na 25 % a na 75 % měl benzín vyšší spotřebu. Na tento výsledek má vliv menší výhřevnost metanolu oproti benzínu.

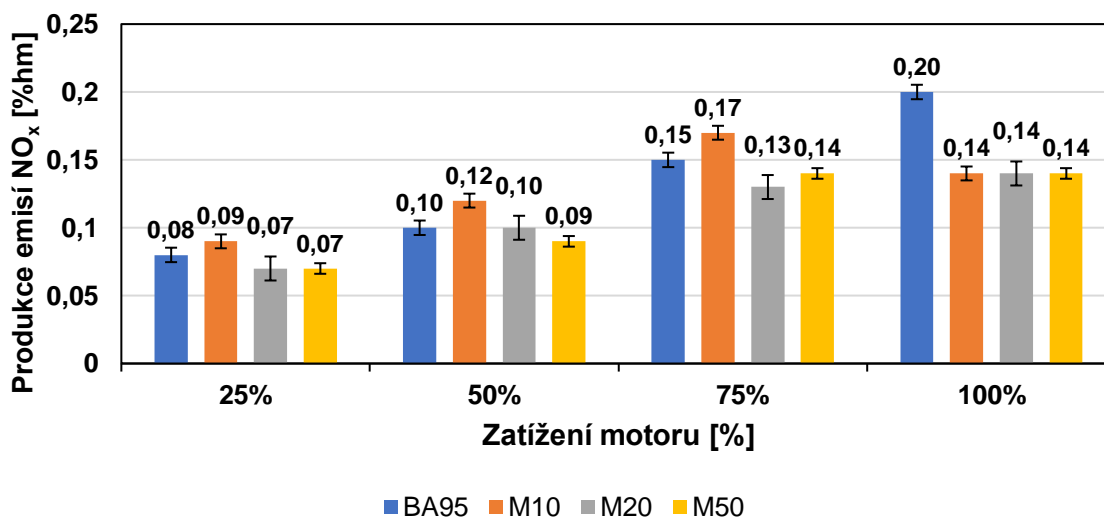
Tabulka 19: Relativní změna spotřeby paliva vůči referenčnímu palivu BA95

Zatížení motoru	Δm_{pe}		
	M10	M20	M50
25 %	-4,62 %	10,77 %	26,15 %
50 %	0,00 %	11,11 %	20,99 %
75 %	5,00 %	9,00 %	23,00 %
100 %	10,44 %	11,30 %	38,26 %

5.4 Emise oxidu dusíku (NO_x)

Skupina oxidu dusíku (NO_x) je tvořena oxidem dusnatým (NO), oxidem dusičitým (NO₂) a oxidem dusným (N₂O). Výsledky měření emisí oxidu dusíku jsou znázorněny na (Graf 2). Z grafu lze vypočítat, že se produkce NO_x relativně stabilně zvyšuje do 50 % zatížení motoru. Poté se produkce NO_x zvyšuje razantněji především u čistého benzínu. Palivo M10 produkuje průměrně nejvíce

oxidu dusíku oproti referenčnímu palivu, konkrétně o 3,96 %. Poté naopak při plném zatížení motoru palivo M10 produkuje NO_x méně, konkrétně o 30 %. Palivo M20 produkuje průměrně o 13,96 % méně NO_x než čistý benzín. Nejlépe z tohoto měření ovšem vyšlo palivo M50, které při všech zatíženích mělo nižší produkci NO_x než čistý benzín. Tato průměrná hodnota je 14,79 %. Konkrétní hodnoty jednotlivých relativních změn produkce NO_x jsou znázorněny v (Tabulka 20).



Graf 2: Produkce emisí NO_x v závislosti na použitém palivu pro jednotlivá zatížení motoru

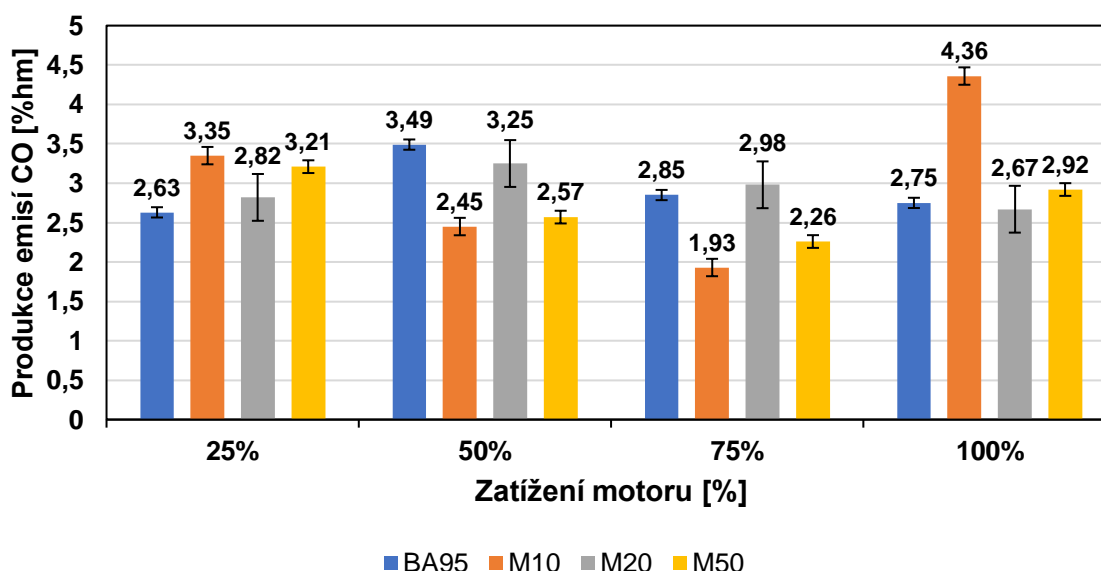
Z naměřených výsledků vyplývá, že metanol pozitivně ovlivňuje produkci NO_x především při vyšších zatíženích motoru, jak je patrné z (Graf 2). Měření také odhalilo, že palivo M10 má do zatížení motoru na 75 % větší produkci NO_x než čistý benzín. Při plném zatížení motoru měly všechny zkoušené směsi benzínu a metanolu stejnou produkci NO_x.

Tabulka 20: Relativní změna produkce emisí NO_x vůči referenčnímu palivu BA95

Zatížení motoru	ΔNO_x		
	M10	M20	M50
25 %	12,50 %	-12,50 %	-12,50 %
50 %	20,00 %	0,00 %	-10,00 %
75 %	13,33 %	-13,33 %	-6,67 %
100 %	-30,00 %	-30,00 %	-30,00 %

5.5 Emise oxidu uhelnatého (CO)

Naměřené hodnoty emisí oxidu uhelnatého jsou znázorněny na (Graf 3). Na grafu lze pozorovat, že emise CO kolísají. Při zatížení motoru na 25 % a 50 % emise CO u benzínu stoupají, naopak u směsí benzínu s metanolem klesají vyjma paliva M20. Tento klesající trend u těchto směsí pokračuje až do zatížení na 75 %. Při plném zatížení tyto hodnoty stoupají na rozdíl od referenčního benzínu. Největší průměrná produkce CO oproti benzínu byla u paliva M10 s hodnotou 23,85 %. Tento velký rozdíl oproti referenčnímu palivu je způsoben abnormálně vysokou produkcí CO při plném zatížení motoru. Palivo M50 produkuje průměrně o 8,47 % více CO než benzín. Nejblíže se průměrnými hodnotami k benzínu přiblížilo palivo M20, které průměrně produkuje o 1,99 % více CO. Jednotlivé relativní změny produkce CO jsou uvedeny v (Tabulka 21).



Graf 3: Produkce emisí CO v závislosti na použitém palivu pro jednotlivá zatížení motoru

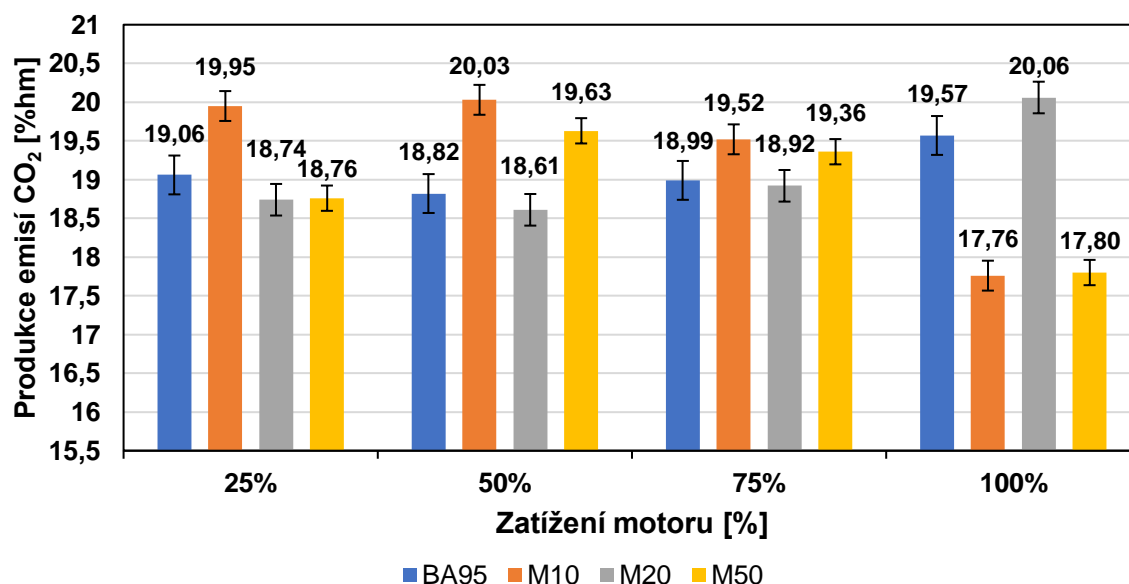
Výsledky měření ukazují, že příměs metanolu do benzínu má pozitivní vliv na produkci emisí CO, a to především při zatížení motoru na 50 % a 75 %. Naopak při zatížení motoru na 25 % má tato směs negativní účinek a emise jsou vyšší. Tak je tomu i při zatížení na 100 % s jednou výjimkou, a to u paliva M20, kdy je produkce CO nižší o 2,91 % než u referenčního benzínu viz (Tabulka 21). Množství produkce emisí CO mohlo ovlivnit neúplné spálení směsi benzínu a metanolu kvůli nedostatku kyslíku či nedostatečnému smíchání paliva se vzduchem.

Tabulka 21: Relativní změna produkce emisí CO vůči referenčnímu palivu BA95

Zatížení motoru	ΔCO		
	M10	M20	M50
25 %	27,38 %	7,22 %	22,05 %
50 %	-29,80 %	-6,88 %	26,36 %
75 %	-32,28 %	4,56 %	-20,70 %
100 %	58,55 %	-2,91 %	6,18 %

5.6 Emise oxidu uhličitého (CO₂)

Na (Graf 4) je znázorněna závislost produkce emisí CO₂ na zatížení motoru a použité palivové směsi. U benzínu a u paliva M20 je vidět do zatížení motoru na 50 % klesající trend emisí CO₂ a u zbylých paliv je tento trend opačný. Naopak při zatížení motoru na 75 % a 100 % emise CO₂ u benzínu a u M20 stoupají. U paliv M10 a M50, jak je vidět z (Graf 4), že emise CO₂ ztelně klesají. Největší průměrnou produkci CO₂ oproti referenčnímu palivu má palivo M10, a to o 4,63 %. Palivo M20 má průměrnou produkci o 0,67 % vyšší než referenční palivo. Nejlépe v tomto měření vyšlo palivo M50, kdy mělo průměrnou produkci CO₂ o 4,36 % nižší než benzín. Jednotlivé relativní změny produkcí emisí CO₂ jsou znázorněny v (Tabulka 22).



Graf 4: Produkce emisí CO₂ v závislosti na použitém palivu pro jednotlivá zatížení motoru

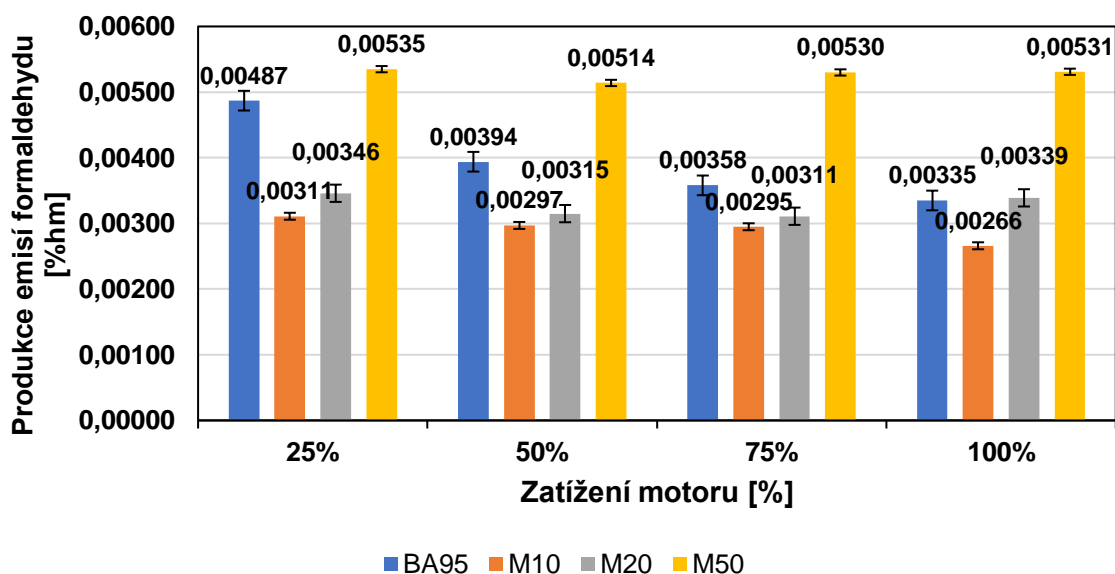
Z měření lze konstatovat, že čím vyšší podíl metanolu v benzínu je, tím klesá množství CO₂ ve spalínách motoru. U paliva M50, které je tvořeno 50 % metanolu je průměrná produkce emisí CO₂ dokonce nižší než u čistého benzínu.

Tabulka 22: Relativní změna produkce emisí CO₂ vůči referenčnímu palivu BA95

Zatížení motoru	ΔCO_2		
	M10	M20	M50
25 %	4,67 %	1,68 %	-1,57 %
50 %	6,42 %	-1,12 %	4,30 %
75 %	2,79 %	-0,37 %	1,95 %
100 %	-9,25 %	2,50 %	-9,04 %

5.7 Emise formaldehydu

Jednotlivé emise formaldehydu jsou znázorněné na (Graf 5). Z grafu vyplývá, že s větší zátěží motoru se snižuje množství emisí formaldehydu. Pouze u paliva M50 je produkce emisí nepatrně vyšší, a to jen při zatížení motoru na 75 % a 100 %. U paliva M20 je toto navýšení produkce emisí formaldehydu jen při plném zatížení motoru. Palivo M50 má oproti referenčnímu palivu nejvyšší průměrnou hodnotu emisí formaldehydu, a to přesně o 36,72 %. Naopak již palivo M20 má průměrnou produkci emisí formaldehydu o 15,23 nižší než referenční palivo. Nejlépe z tohoto měření vychází palivo s příměsí 10 % metanolu. Toto palivo má o 24,74 % menší průměrnou produkci emisí formaldehydu než benzín. Jednotlivé relativní změny produkcí emisí formaldehydu jsou uvedeny v (Tabulka 23).



Graf 5: Produkce emisí formaldehydu v závislosti na použitém palivu pro jednotlivá zatížení motoru

Z měření vyplývá, že s větší zátěží motoru emise formaldehydu klesají. Nejvyšší úbytek emisí formaldehydu je u paliva M10, kde je 10 % metanolu. Naopak u paliva M50 je množství emisních hodnot formaldehydu prakticky konstantní. To mohlo být způsobeno nízkou teplotou spalování, špatným směšovacím poměrem paliva a vzduchu či samotným nedostatkem kyslíku.

Tabulka 23: Relativní změna produkce emisí formaldehydu vůči referenčnímu palivu BA95

Zatížení motoru	Δ Formaldehydu		
	M10	M20	M50
25 %	-36,14 %	-28,95 %	9,86 %
50 %	-24,62 %	-20,05 %	30,46 %
75 %	-17,60 %	-13,13 %	48,05 %
100 %	-20,60 %	1,19 %	58,51 %

6 Závěr

V diplomové práci se zkoumal vliv směsi benzínu a metanolu na spotřebu paliva a produkci emisních složek. V teoretické části byl popsán základní princip chodu zážehového motoru. Dále zde byla popsána paliva používaná pro zážehový spalovací motor.

V praktické části bylo provedeno měření jednotlivých směsí benzínu a metanolu. Byly měřeny čtyři druhy paliv. První z nich byl čistý benzín (BA95), který sloužil jako etalon pro porovnávání s dalšími palivy. Tato paliva byla tvořena, jak již bylo řečeno směsí benzínu a metanolu. Konkrétně s poměrem metanolu 10 %, 20 % a 50 % zbytek směsi tvořil benzín. U prvních dvou směsí se jednalo o paliva s většinovým obsahem benzínu. U třetího paliva byl poměr benzínu a metanolu 1 : 1. Tato paliva jsou značena podle obsahu metanolu, a to M10, M20 a M50. Měření probíhalo na mobilním generátoru, který byl zatěžován elektrickým odporem postupně na 25 %, 50 %, 75 % a na 100 % svého výkonu. Toto měření probíhalo v laboratorní hale Katedry jakosti a spolehlivosti strojů v prostorách České zemědělské univerzity v Praze.

Z výše popsaného měření byla získána data a ta následně vyhodnocena. Byly porovnány vlivy jednotlivých palivových směsí na spotřebu paliva a produkci NO_x , CO, CO_2 a formaldehydu.

Vyhodnocením dat spotřeby paliva jednotlivých směsí bylo zjištěno, že spotřeba paliva u paliv M10, M20 a M50 byla vyšší oproti referenčnímu palivu. Největší navýšení spotřeby paliva bylo u paliva M50, a to v průměru o 27,10 % více než u referenčního paliva. Nejlépe na tom bylo palivo M10, které mělo vyšší průměrnou spotřebu jen o 4,62 %. Z toho vyplývá, že čím větší procento metanolu palivo obsahuje, tím je větší spotřeba. To je způsobeno menší výhřevností metanolu oproti benzínu.

Z vyhodnocených dat u produkce NO_x bylo zjištěno, že příměs metanolu do paliva má pozitivní vliv na produkci NO_x a to u všech směsí. Nejlépe ovšem vyšlo palivo M50. Kdy toto palivo mělo průměrně o 14,79 % menší produkci NO_x než referenční benzín. Z tohoto měření vyplývá, že čím je větší koncentrace metanolu ve směsi, tím se více snižuje produkce NO_x . Vyhodnocením produkce CO se zjistilo, že metanol má spíše negativní vliv na produkci CO. Nejbližší se referenčnímu palivu

přiblížilo palivo M20, které mělo průměrnou hodnotu o 1,99 % vyšší než benzín. Další měřenou emisní složkou byl CO₂. Zde bylo zjištěno, že při maximálním zatížení mají paliva M20 a M50 nižší emise CO₂ než benzín. Poslední měřenou emisní složkou byl formaldehyd. Tímto měřením bylo zjištěno, že paliva s menším obsahem metanolu konkrétně paliva M10 a M20 mají menší produkci formaldehydu. Zato palivo M50 má tuto produkci vyšší, a to průměrně o 36,72 % než referenční palivo. To potvrdilo teoretické tvrzení, že paliva s vyšším obsahem metanolu mají vyšší produkci formaldehydu.

Vyhodnocením výsledků měření v praktické části diplomové práce bylo zjištěno, že paliva M10, M20 a M50 vykazují vyšší spotřebu paliva než čistý benzín. Naopak výsledkem měření emisí bylo ve dvou případech zjištěno, že produkce emisí je nižší než u benzínu. Směsi s metanolem produkovali méně NO_x. U emisí CO₂ bylo zjištěno, že u paliv M20 a M50 při vyšším zatížení motoru byly emise CO₂ nižší než u čistého benzínu. Měření prokázalo, že se v metanolu skrývá jistý potenciál a může se řadit do skupiny alternativních paliv, a to především s ohledem na nižší produkci emisních plynů.

7 Seznam literatury

- [1] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [2] RAUSCHER, Jaroslav. *Spalovací motory: studijní opory*. Vysoké učení technické v Brně, 2005.
- [3] PECHOUT, Martin. *Spalovací motory: základní přehled*. Praha, 2019. ISBN 978-80-213-2984-3.
- [4] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. Praha: Sobotáles, 2001. ISBN 80-859-2076-X.
- [5] VLK, František. *Paliva a maziva motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6461-5.
- [6] HÖNIG, Vladimír. *Cvičení z paliv a maziv*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2013. ISBN 978-80-213-2384-1.
- [7] INSTITUT, Český normalizační. *ČSN EN ISO 5163 Ropné výrobky: stanovení detonačních charakteristik motorových a leteckých paliv. Motorová metoda = Petroleum products - Determination of knock characteristics of motor and aviation fuels - Motor method: stanovení detonačních charakteristik motorových a leteckých paliv. Motorová metoda = Petroleum products - Determination of knock characteristics of motor and aviation fuels - Motor method*. Dostupné také z: <https://go.exlibris.link/w7TrJB82>
- [8] INSTITUT, Český normalizační. *ČSN EN ISO 5164 Ropné výrobky: stanovení detonačních charakteristik motorových paliv. Výzkumná metoda = Petroleum products - Determination of knock characteristics of motor fuels - Research method: stanovení detonačních charakteristik motorových paliv. Výzkumná metoda = Petroleum products - Determination of knock characteristics of*

motor fuels - Research method. Dostupné také z:
<https://go.exlibris.link/nBxS58y9>

- [9] MACEK, Jan a Bohuslav SUK. *Spalovací motory 1.* Dotisk 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1994, . Dostupné také z:
<https://go.exlibris.link/254gbldn>
- [10] Stechiometrická směs. In: *Portál řidiče* [online]. [cit. 2022-12-10]. Dostupné z:
<https://www.portalridice.cz/clanek/stechiometricka-smes-aby-to-dobre-horelo>
- [11] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol.* Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [12] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel.* Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
- [13] CHEN, Sining, Yinquan DUO a Lijun WEI. *The Application of the Safety Assessment of Liquefied Petroleum Gas and Liquefied Natural Gas in The Safety Management* [online]. [cit. 2023-03-01]. Dostupné z:
<https://www.webofscience.com>
- [14] RAMADHAS, Arumugam S., ed. *Alternative fuels for transportation.* CRC Press, 2011. ISBN 978-1-4398-1957-9.
- [15] FARZANEH-GORD, Mahmood a Hamid RAHBARI. *DEVELOPING NOVEL CORRELATIONS FOR CALCULATING NATURAL GAS THERMODYNAMIC PROPERTIES* [online]. [cit. 2023-03-01]. Dostupné z:
<https://www.webofscience.com>
- [16] Zemní plyn - těžba, vlastnosti a rozdělení. In: *Oenergetice.cz* [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/zemni-plyn-tezba-vlastnosti-a-rozdeleni>
- [17] Zemní plyn - fyzikální vlastnosti. In: *Tzbinfo* [online]. [cit. 2023-01-10]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/1921-zakladni-fyzikalni-vlastnosti-zp-i>

- [18] TRNAVSKÝ, Jiří. Automobilové palivo: zemní plyn. In: *Energie 21* [online]. [cit. 2023-01-10]. Dostupné z: <https://energie21.cz/automobilove-palivo-zemni-plyn/>
- [19] CNG [online]. In: . [cit. 2023-01-16]. Dostupné z: <https://www.cng.cz/>
- [20] *Eurowag: Eurowag otevřel 2 nové LNG stanice, v Česku je jich nyní celkem 7* [online]. In: . [cit. 2023-01-16]. Dostupné z: <https://www.eurowag.com/cs/spolecnost/tiskove-zpravy/eurowag-otevrel-2-nove-lng-stanice-v-cesku-je-jich-nyni-celkem-7>
- [21] *Národní česká platforma pro bioplyn* [online]. In: . [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.czba.cz/>
- [22] JELÍNEK, Antonín. *Hospodaření a manipulace s odpady ze zemědělství a venkovských sídel*. Praha: Agrospoj, 2001. Semafor. ISBN 80-239-4234-4.
- [23] Bioplyn a bioplynové stanice v ČR. In: *Oenergetice* [online]. [cit. 2023-01-25]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/bioplyn-a-bioplynove-stanice-v-cr>
- [24] RAJAK, A., H. SHARMA, A. RANGARI, A. PANDEY, A. SEN a R. & MISHRA. *Biogas as an Alternate Vehicle Fuel* [online]. [cit. 2023-03-4]. ISSN 18761100. Dostupné z: www.scopus.com
- [25] HADRAVA, Jan. *Porovnání kvality vodíku z různých technologií výroby* [online]. [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/286936228_Porovnani_kvality_vodik_u_z_ruznych_technologii_vyroby
- [26] Hydrogen refuelling stations worldwide. In: *H2stations* [online]. [cit. 2023-01-26]. Dostupné z: <https://www.h2stations.org/>
- [27] GUPTA, A., O. JAIN a R. & RAJAK. *Study of Effect of Ethanol Blending on Performance & Fuel Economy of Naturally Aspirated Gasoline Engine and Engine Hardware Optimization Potential* [online]. [cit. 2023-03-6]. Dostupné z: www.scopus.com

- [28] HŘIVNA, Luděk a Tomáš GREGOR. *Bezpečná výroba a distribuce lihu* [online]. In: . Mendlova univerzita v Brně [cit. 2023-01-31]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/11/11-prezentace_hrivna_2.10.2012.pdf
- [29] AGARWAL, Avinash, Hardikk VALERA a Martin PEXA, Jakub ČEDÍK, ed. *Methanol: A Sustainable Transport Fuel for SI Engines*. 1. Springer, 2021. ISBN 978-981-16-1223-7.
- [30] OXENHAM, L. a Y. WANG. *A study of the impact of methanol, ethanol and the miller cycle on a gasoline engine*. [online]. [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: www.scopus.com
- [31] *Methanol institute* [online]. [cit. 2023-01-31]. Dostupné z: <https://www.methanol.org/>
- [32] BASF vyvinula nový proces výroby metanolu šetrného ke klimatu. In: *Svaz chemického průmyslu ČR* [online]. [cit. 2023-02-12]. Dostupné z: <https://www.schp.cz/info/basf-vyvinula-novy-proces-vyroby-metanolu-setrneho-ke-klimatu>
- [33] *Briggs-Stratton: Elektrocentrála PROMAX 3500A* [online]. In: . [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://obchod.briggs-stratton.cz/elektrocentrala-promax-3500a/?fbclid=IwAR2TD5b1DP93JrPQhkVe5F7B0-EO943DwDjjKxnwWUry7Kn6dW37x5fE-GM>
- [34] *Ambra: Laboratorní váha VIBRA AJ-6200* [online]. In: . [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://katalog.ambra.cz/laboratorni-vaha-vibra-aj-6200cen-d82313.htm?fbclid=IwAR1MJbi-Osb2KX2UN-uuTQy7WkZC4iXL547yrcuBYOOi78ilK8IzVhQ9R0A&cook=set>
- [35] *Bruker* [online]. In: . [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.bruker.com/en.html>
- [36] *Základní zdroje uhlovodíků* [online]. In: . [cit. 2022-12-10].