

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

**FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE**

PALIVA PRO SPALOVACÍ MOTORY

FUEL FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ VRBICKÝ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JOSEF ŠTĚTINA, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Vrbický

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Paliva pro spalovací motory

v anglickém jazyce:

Fuel for internal combustion engines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Porovnat vlastnosti paliv a jejich směsí z hlediska použití ve spalovacích motorech a to zejména z hlediska vlivu na tepelné oběhy. Do přehledu zahrnout jak konvenční tak i alternativní paliva.

Cíle bakalářské práce:

Práce v rozsahu 15 až 30 stran. Porovnat vlastnosti paliv a jejich směsí z hlediska použití ve spalovacích motorech a to zejména z hlediska vlivu na tepelné oběhy a termickou účinnost.

Seznam odborné literatury:

VLK, F., Paliva a maziva motorových vozidel. Brno, Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2006.

VLK, F., Alternativní pohony motorových vozidel. Brno, Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2004.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 21.10.2008

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá základními vlastnostmi paliv pro spalovací motory. Především jejich vlivem na termickou účinnost. Dále je zde uvedeno rozdělení paliv a jejich porovnání z hlediska ekologického, ekonomického a technologického. Zabývá se palivy konvenčními (benzín, motorová nafta) a palivy alternativními (zemní plyn, propan-butan, vodík, bionafta, bioplyn, metanol, etanol).

ABSTRACT

This thesis is concerned with basic features of fuels for internal consumption engines, especially their influence on thermal efficiency. It also introduces dividing of fuels and their compare in ecologic, economic and technologic side. It is concerned convectional fuels (gasoline, diesel oil) and alternative fuels (nature gas, bottled gas, hydrogen, biodiesel, biogas, methanol and ethanol).

KLÍČOVÁ SLOVA

Palivo, spalovací motor, benzin, nafta, zemní plyn, propan-butan, LPG, stlačený zemní plyn, CNG, zkapalněný zemní plyn, LNG, vodík, bionafta, bioplyn, metanol, etanol, alternativní paliva, termická účinnost

KEYWORDS

Fuel, internal consumption engine, gasoline, diesel oil, natural gas, bottled gas, LPG, compressed natural gas, CNG, liquefied natural gas, LNG, hydrogen, biodiesel, biogas, methanol, ethanol, alternative fuel, thermal efficiency

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VRBICKÝ, Jiří. *Název: paliva pro spalovací motory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 36 s. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Ideální oběhy spalovacích motorů vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

10. dubna 2009

.....

Jiří Vrbický

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Josefu Štětinovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| ÚVOD | 15 |
| 1 KONVENČNÍ PALIVA | 16 |
| 1.1 AUTOMOBILOVÝ BENZÍN | 16 |
| 1.2 MOTOROVÁ NAFTA (DIESEL) | 19 |
| 2 PLYNNÁ PALIVA..... | 23 |
| 2.1 ZEMNÍ PLYN | 23 |
| 2.2 PROPAN-BUTAN (LPG) | 25 |
| 2.3 VODÍK | 26 |
| 3 BIOPALIVA | 29 |
| 3.1 BIONAFTA | 29 |
| 3.2 BIOPLYN | 30 |
| 4 ALKOHOLY | 31 |
| 4.1 METANOL | 31 |
| 4.2 ETANOL | 31 |
| 5 ZÁVĚR..... | 33 |
| SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 35 |
| SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN | 36 |

ÚVOD

První spalovací motory byly plynové spalovací motory, průkopníkem v této oblasti byl německý vynálezce N. Otto, který roku 1864 realizoval princip čtyřtakového spalovacího motoru, který byl také po něm pojmenován. Další významnou osobností ve vývoji spalovacích motorů byl G. Daimler, jenž vytvořil první lehký spalovací motor na benzín, který byl nejdříve používán na bicyklu a byl umístěn na otevřený kočár. První automobil s benzínovým motorem sestrojil K. F. Benz roku 1888. Roku 1908 zahájil H. Ford výrobu svého, pro běžné vrstvy dostupného, Fordu T. První použití motorové nafty je na počátku 20. století, kdy roku 1900 dostal za svůj motor R. Diesel velkou cenu na Pařížské výstavě. První nákladní automobily se vznětovými motory se začaly vyrábět roku 1924 německou továrnou MAN.

V současné době, kdy se potýkáme s možností vyčerpání zásob ropy, se hledají náhrady za konvenční paliva, jako jsou benzín a motorová nafta. Náhrada konvenčních paliv je poměrně složitá, neboť existuje spousta překážek pro nasazení jiných druhů paliv, a to jak ekonomických, tak technologických. Kladen je také důraz na co možná nejnižší emise výfukových plynů, neboť spalovací motory jsou jedním z velkých producentů skleníkových plynů.

Jedním z požadavků, který je na paliva kladen, je co možná nejvyšší termická účinnost. Termická účinnost roste s kompresním poměrem, což je spjato s odolností paliva proti detonačnímu hoření a zápalné teplotě paliva. Další z vlastností, která ovlivňuje tuto účinnost je výhřevnost paliva.

1 KONVENČNÍ PALIVA

1.1 Automobilový benzín

1.1.1 Výroba

Jedním z produktů ropné frakční destilace jsou benzínové frakce, které se destilují v oblasti do 180 °C. Tyto frakce však nemůžeme přímo použít, ale musíme je upravit řadou operací, jako je například odsíření, zvyšování podílu rozvětvených uhlovodíků a aromátů, které zvyšují odolnost proti detonačnímu spalování (tzv. klepání), tj. velmi rychlé spálení paliva a nárůstu tlaku. Dříve se do benzinů přidávali sloučeniny olova, které sloužili jako antidetonátory, avšak výfukové plyny s obsahem olova zamořovali půdu, ovzduší. V dnešní době se přidávají přísady proti tzv. zatloukání sedel motorů, které nemají vliv na oktanové číslo. Do benzinu se dále přidávají kyslíkaté sloučeniny (etanol, aj.) nebo ethery, které do určité koncentrace zlepšují složení výfukových plynů.

1.1.2 Parametry

Oktanové číslo

vyjadřuje míru odolnosti vůči detonačnímu hoření. Na zkušebním motoru spalujeme testovaný benzín a změnou předstihu a kompresního poměru vyvoláme klepání. Porovnáme se směsí izooktanu (oktanové číslo 100) a n-heptanu (oktanové číslo 0), která za stejných podmínek klepe stejně. Pro měření oktanového čísla se používají dvě metody. Výzkumná metoda, kdy má zkušební motor otáčky 600 1/min a motorová metoda, při které má motor otáčky 900 1/min. Oktanové číslo získané výzkumnou metodou (OČVM) bývá větší než oktanové číslo získané motorovou metodou (OČMM). Oktanové číslo můžeme dnes spočítat na základě složení benzinu pomocí plynové chromatografie nebo ze spektrálních dat. Běžně se používají benziny s oktanovým číslem 91 – 95 – 98.

Destilační křivka

Získává se destilační zkouškou. Důležitými body na této křivce je tzv. desetiprocentní bod. Je to teplota, při které se odpaří 10 % benzinu, pohybuje se v rozmezí 45 - 55 °C a ovlivňuje především startování motoru za studena. Dalším důležitým bodem je tzv. padesátiprocentní bod, což je teplota, kdy se odpaří 50 % paliva, neměl by překročit 115 °C. Má vliv na rychlost ohřevu motoru po nastartování a také čím vyšší je tato teplota, o to pomaleji rostou otáčky při akceleraci a vzrůstá spotřeba paliva na větší vzdálenosti. Významným bodem je také teplota, kdy se odpaří 90 % paliva, ta by neměla přesáhnout 180 °C a konec destilace nemá být vyšší než 200 °C.

Tvorba směs

- **Vnitřní tvorba směsi:** Směs vzniká přímo ve válci- motory s přímým vstřikováním.
- **Vnější tvorba směsi:** Vzduch se s palivem mísí již v sacím potrubí (dříve u motorů s karburátorem nebo motory s nepřímým vstřikováním).

Směs

Poměr množství benzínu a vzduchu ve směsi vyjadřuje stechiometrický poměr, který je u zážehových motorů roven 1:14,8, což znamená, že na dokonalé spálení 1 kg benzínu potřebujeme 14,8 kg vzduchu. Rozdíl mezi touto hodnotou a skutečným poměrem se vyjadřuje součinitelem přebytku vzduchu λ (lambda):

$$\text{součinitel přebytku vzduchu } \lambda = \frac{\text{množství přiváděného vzduchu v kg}}{\text{teoretická potřeba vzduchu v kg}} \quad (1)$$

Tabulka 1 Vliv λ

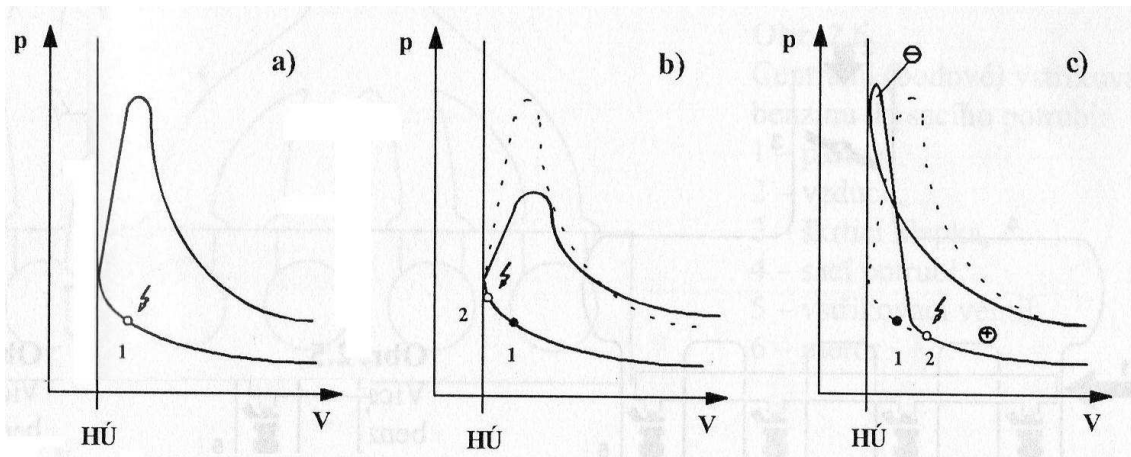
| | |
|---------------------|---|
| $\lambda=1$ | Přivedené množství vzduchu odpovídá skutečné potřebě |
| $\lambda < 1$ | Bohatá směs, tj. přebytek paliva. Nejvyšší výkon v rozmezí $\lambda = 0,85$ až $0,95$ |
| $1 < \lambda < 1,3$ | Chudá směs, tj. nedostatek paliva. Snižující se spotřeba, ale i výkon při $\lambda = 1,05$ až $1,3$ |
| $\lambda > 1,3$ | Směs není schopna zapálení. |

Spalování

Benzín se spaluje v zážehových motorech, kde se homogenní směs benzínu a vzduch při stlačování zahřívá až na teplotu mezi 400- 500°C, což ovšem nestačí k samovznícení paliva a palivo tudíž musí být zažehnuto vnějším zdrojem- jiskrou svíčky.

Zažehnutí paliva ve válci zapalovací svíčkou je možný pouze tehdy, pokud je v okolí zapalovací elektrody dostatečně bohatá směs palivových par a vzduchu, což je při startování studeného motoru obtížné. Proto musí benziny obsahovat frakce lehce odpařitelné, a nesmí obsahovat frakce s bodem varu vyšším než 200°C, které by se nevypařili a mohli by ředit olej v motoru. Po nastartování motoru napomáhá odpařování benzínu styk kapiček s teplými částmi motoru. Odpařování frakcí s teplotou varu kolem 200 °C pomáhá chladit stěny válce a dno pístu. Po zapálení směsi se plamenová zóna šíří od svíčky polokruhově, kde je rychlost šíření celkem malá a maxima dosahuje až po dosažení takové špičky (3 – 4 MPa) a teplotní špičky (2000 – 2500 °C). Po přiblížení chladnějším stěnám válce opět zpomaluje. Celková průměrná rychlost

šíření plamene je při normálním průběhu 10 – 25 m/sec. Rychlost šíření je ovlivňována především palivem, provozními podmínkami a konstrukcí motoru. V případě detonačního spalování může narůst rychlost až na 3000 m/sec, čímž vzroste tlak, celý motor se rozkmitá a začne klepat. Motory s elektronickým řízením udržují pracovní režim těsně pod hranicí klepání, a to regulací úhlu předstihu zážehu, díky čemuž lze použít benzin s libovolným oktanovým číslem.



Obrázek 1 Předstih zážehu a) optimální b) pozdní c) předčasný [1]

1.2 Motorová nafta (Diesel)

1.2.1 Výroba

Vyrábí se míšením petroleje s plynovým olejem, těžším destilačním produktem.

1.2.2 Spalování

Na rozdíl od zážehového motoru se směs nezapaluje pomocí elektrické jiskry, ale motor nasává čistý vzduch, který stlačí, při velkém kompresním poměru, čímž se vzduch zahřeje na teplotu 600 – 900 °C. do tohoto vzduchu se vstříkne motorová nafta, která se zapálí. Palivo musí hořet co nejrychleji, aby celé množství nevzplálo naráz, což by vedlo k tzv. tvrdému chodu motoru. Tento chod je srovnatelný s detonačním spalováním u zážehových motorů.

1.2.3 Dělení vznětových motorů

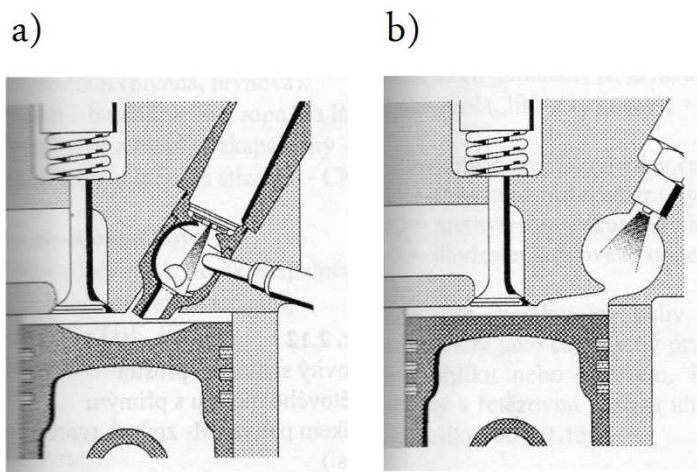
podle počtu otáček

- Volnoběžné, které mají otáčky do 2000 min⁻¹.
- Rychloběžné, které mají otáčky nad 2000 min⁻¹.

Pro oba typy motorů se příliš neprojevují požadavky na zkrácení prodlevy vznětu. Jiná situace nastává u miniaturních motorů určených pro modelářství, které dosahují otáček 15 000 – 18000 min⁻¹, výjimečně až 32 000 min⁻¹, kde se již musí do paliva přidávat aditiva. Motory vybaveny turbodmychadlem nevyžadují žádné zvláštní vlastnosti ani jiné cetanové číslo.

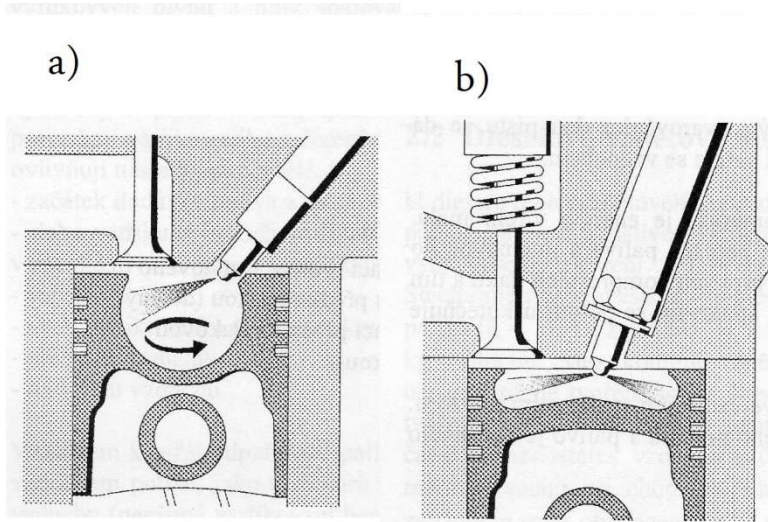
podle typu vstřikování

- S nepřímým vstřikováním: s předkomůrkou nebo s vírovou komůrkou.



Obrázek 2 Tvar spalovacího prostoru a) s předkomůrkou b) s vírovou komůrkou [1]

- S přímým vstřikováním: s prstencovým spalovacím prostorem nebo s kulovým spalovacím prostorem.



Obrázek 3 Tvar spalovacího prostoru u motoru s přímým vstřikováním a) kulovitý b) prstencovitý [1]

1.2.4 Pochody ve vznětovém motoru

Fyzikální fáze

Vzduch je komprimován pístem ve válci na tlak 3,0 – 5,5 MPa, přičemž dosáhne teploty 700 – 900 °C. Do prostoru se vstříknou částičky paliva, které by měli být co nejmenší, aby měli co největší povrch a snadněji se odpařily, a tedy došlo ke snadnějšímu vznícení.

Chemická fáze

Palivo se mísí s horkým vzduchem, prochází chemickými přeměnami, nejprve destrukčními posléze oxidačními.

Prodleva vznětu

Doba, za kterou proběhnou první dvě fáze.

Plamenová oxidace

Nastává detonační hoření v celém objemu spalovacího prostoru, při němž se uvolňuje celá tepelná energie paliva.

1.2.5 Parametry

Cetanové číslo

podobně jako je u benzínu oktanové číslo, u motorové nafty se zavádí číslo cetanové, ale nemá takový význam jako u benzínu. Toto číslo udává náchylnost k tvrdému chodu motoru, tedy dobu prodlevy vznícení nafty. Vyšší cetanové číslo způsobí kratší prodlevu vznícení nafty, což vede k tiššímu a měkkému chodu motoru, neboť nedochází k náhlému nárůstu tlaku ve válci. Porovnáváme směs cetanu (cetanové číslo 100) a 1-metylnaftalenu (cetanové číslo 0), která se chová v zkušebním motoru stejně jako zkoušené palivo. Minimální hodnota cetanového čísla je 45, současná paliva dosahují cetanového čísla v rozmezí 49 – 62.

Cetanový index

Cetanový index byl zaveden k porovnání dieselových paliv z hlediska zpoždění teplotního vznětu při spalování. Na rozdíl od cetanového čísla nemusíme cetanový index měřit na zkušebním motoru, ale stačí nám k jeho určení několik vybraných bodů destilační křivky a měrná hustota. Cetanový index se nedá vypočítat u paliv, která byla aktivována pro zvýšení cetanového čísla. Je více možností jak spočítat cetanový index, např.:

$$CI=454,74-1641,416 \cdot D+774,74 \cdot D^2+0,554 \cdot T+97,803 \cdot (\log T)^2, \quad (2)$$

kde D je hustota vzorku při 15 °C v g.cm⁻³, a T je teplota v °C, při které se předestiluje 50 % obj. vzorku paliva za normovaných podmínek destilační zkoušky.

Viskozita

U motorové nafty jsou nejdůležitějšími parametry viskozita, která ovlivňuje velikost kapek rozprášeného paliva a tudíž rychlost vypaření paliva, ale nemá být při 40 °C menší než $1,2 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, aby nedocházelo k podtékání paliva v čerpadle a ztrátám z důvodu netěsností v systému. Také by neměla být příliš vysoká, asi nad $6 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, aby nevznikaly vysoké hydraulické odpory v potrubí a filtrech a také aby se mohla tvořit homogenní směs ve válcích, které by zabraňovaly velké kapičky paliva. Optimální hodnota viskozity při 20 °C se nachází v rozmezí $2 - 9 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Hustota

Dalším důležitým parametrem je měrná hustota nafty, protože množství paliva přivedeného do válce se počítá objemově a tudíž při vyšší hustotě nafty by vznikl nedostatek vzduchu ve válci, což by mělo za následek zvýšení jeho kouřivosti. Příliš lehké frakční složení by mělo za následek předčasný vstřík a tvrdý chod motoru. Optimální hustota bývá udávána v rozmezí $800 - 890 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Destilační křivka

Průběh destilační křivky není natolik důležitý jako u benzinů. Ideální rozmezí destilace se udává 17 °C - 360 °C. Zvýšením teploty konce destilace lze snížit spotřebu a zvýšit výkon, ale velký obsah těžkých frakcí, dochází ke tvorbě karbonových úsad, které zvyšují opotřebení pístu a válce motoru. Sklon paliva k tvorbě karbonizačních úsad vyjadřuje Conradsonův karbonizační zbytek z desetiprocentního zbytku destilace.

Korozivost

Z důvodu obsahu naftenových kyselin v naftě dochází v palivovém systému ke korozi a ke zvýšené tvorbě úsad ve válci. Na životnost palivového systému má vliv také obsah síry v naftě, a také jedná-li se o motor volnoběžný, který není tolik citlivý na obsah síry, či motor rychloběžný.

1.2.6 Nízkoteplotní vlastnosti motorové nafty

Motorová nafta obsahuje uhlovodíky, které mají bod tání nad 0 °C, ty se během ochlazování vylučují jako krystalky a mohou zanášet palivové filtry. K tomuto dochází pouze při startování za nízkých teplot, protože krystalky se časem rozpouštějí od zahřátého motoru. Při teplotě vylučování parafínů (cloud point) dochází ke vzniku krystalků parafínu. Filtrovatelnost (SFPP) je teplota, při které přestává palivo při definovaných podmínkách protékat přes filtr s definovanými póry, z důvodu ucpání filtru krystalky parafínu. Z těchto vlastností plyne potřeba používání rozdílných naft během zimního a letního období.

2 PLYNNÁ PALIVA

2.1 Zemní plyn

Zemní plyn je fosilní palivo, které se těží jak na pevnině, tak z ložisek nacházejících se na mořském dnu. Skládá se z asi 85 % metanu, 10 % dusíku a 5 % vyšších uhlovodíků.

2.1.1 Výhody

- Nízké emise škodlivých látek do ovzduší, produkce CO₂ je o více než 20 % menší než u srovnatelného vozidla spalující benzin.
- Asi 2x až 3x nižší náklady na pohonné hmoty.
- Z důvodu vyšší zápalné teploty se snižuje nebezpečí výbuchu.
- Lepší promísení směsi paliva se vzduchem má za následek snadnější starty při studeném motoru.
- Vyšší oktanové číslo zemního plynu oproti benzínu.
- K distribuci lze využít již stávajících plynovodů.
- Zásoby zemního plynu jsou mnohem větší než zásoby ropy, prokázané zásoby představují cca $1,64 \cdot 10^{14}$ m³, které při současné rychlosti těžby vydrží asi do roku 2060.

2.1.2 Nevýhody

- Malé množství plnicích stanic.
- Náklady spojené s přestavbou vozidla a také náklady na zřizování plnicích stanic.
- Zmenšení zavazadlového prostoru zapříčiněné umístěním takové nádoby a u vozidel jezdících na LNG jsou kladeny zvýšené nároky na izolaci nádrže.
- Poměrně nízká dojezdová vzdálenost (hlavně u CNG). Na nádrž o objemu 80 litrů je možné ujet jen 200 až 300 km, což by odpovídalo asi 20 litrům benzínu.

Tabulka 2 Porovnání vlastností metanu, benzínu a nafty [1]

| | Metan | Benzin | Nafta |
|---|---------|---------|----------|
| Měrná hmotnost při atm. Podmínkách [kg·m ⁻³] | 0,72 | | |
| Měrná hmotnost kapaliny [kg·m ⁻³] | 415 | 730-780 | 815-855 |
| Teplota varu při atm. Tlaku [°C] | -161,4 | 30-190 | 170-360 |
| Výhřevnost [kWh·kg ⁻¹] | 13,9 | 12,2 | 11,9 |
| Rozmezí zapálivost směsi λ při atm. podmínkách | 0,7-2,1 | 0,4-1,4 | 0,5-1,35 |
| Zápalná teplota směsi [°C] | 580 | 280-350 | 250-350 |
| Oktanové číslo VM | 130 | 96 | |

2.1.3 Dělení plynových vozidel

- **Jednopalivová monofuel** (hlavně autobusy, některé nákladní auta), palivo pouze zemní plyn.
- **Dvoupalivová bifuel:** možnost přepínání mezi klasický palivem a plyným palivem (většinou u osobních automobilů).
- **Smíšená dual fuel**, které využívají společně plyné i klasické palivo.

2.1.4 Zkapalněný zemní plyn (LNG)

Zemní plyn se zbaví nečistot a příměsí a zkapalní se ve zkapalňovací koloně, kde se postupně během několika cyklů ochlazuje až na teplotu kolem -160 °C, kdy už je plně zkapalněn, přičemž tlak je jen lehce vyšší než atmosférický. Objem plynu se zmenší přibližně 600krát. Vzhledem k způsobu přípravy se jedná téměř o čistý metan. Proces zkapalnění je velmi složitý a energeticky náročný. Zkapalněný se musí převážet z terminálů, či zkapalňovacích stanic na místo určení.

2.1.5 Stlačený zemní plyn (CNG)

Převážně se plní do tlakových lahví s plnicím tlakem 20 MPa, při tomto tlaku se objem plynu zmenší asi 200krát. Stlačení se provádí pomocí vícestupňového kompresoru v plnicí stanici, což je relativně jednodušší než výroba LNG.

2.2 Propan-butan (LPG)

Jedná se o zkapalněný plyn, který je tvořen směsí propanu a butanu, neobsahuje olovo, benzenové uhlovodíky a obsahuje jen malé množství síry. Propan-butan vzniká jako vedlejší produkt při zpracování ropy v rafinériích. Zkapalnění lze provést poměrně malým tlakem i za normální teploty, přičemž se značně zmenší objem. Přibližně z 1 m³ plynu vzniknou 4 litry kapalného paliva. Nejvýznamnější složkou v LPG je propan.

LPG má v různých zemích rozdílné složení a to jak jeho letní, tak zimní verze.

2.2.1 Vlastnosti

- Nejedovatý plyn, ale nedýchatelný.
- Těžší než vzduch v plynném skupenství, což znemožňuje vozidlům na LPG parkovat na veřejných uzavřených parkovištích.
- Antidetonační vlastnosti lepší než benzín.
- Vysoká výhřevnost.
- Nízké emise škodlivých látek do ovzduší.
- Velmi dobře mísitelný se vzduchem, což zajišťuje velmi vysokou homogenitu palivové směsi.

2.2.2 Výhody

- Ekologické palivo.
- Delší životnost oleje, ten není rozpouštěn benzinem.
- Ekonomická výhodnost provozu- i přes zvýšení spotřeby přibližně o 20 %, je při výrazně nižší ceně než za benzin, či naftu, jsou náklady velmi nižší.
- Možnost přepínání mezi benzinem a LPG.
- Výraze zvýšení dojezdu vozidla.
- Delší životnost motoru, zapříčiněné nižším namáháním klikového mechanismu včetně pístů.
- Nižší hlučnost a klidnější chod motoru.

2.2.3 Nevýhody

- Snížení výkonu.
- Vyšší počáteční investice na přestavbu vozidla na LPG.
- Zmenšení zavazadlového prostoru z důvodu umístění nádrže na LPG.
- Vyšší nároky na údržbu a kontrolu.

2.3 Vodík

2.3.1 Výroba

Vodík se jako prvek v přírodě vyskytuje jen vzácně, ale lze ho získat z různých látek, přičemž k jeho výrobě je potřeba dodávat energii, takže vodík se stává spíše nositelem energie, kterou musíme vyrobit v elektrárně. Průměrná výroba vodíku je 127 tisíc tun vodíku za den. Způsoby přípravy vodíku jsou:

- Parní reforming zemního plynu.
- Elektrolýzou vody.
- Z biomasy.
- Vysokoteplotní elektrolýzou.
- Termochemickými cykly.
- S-I cyklem.

2.3.2 Spalování

Vodík se spaluje podobně jako konvenční pohonné hmoty. Avšak vodík tvoří se vzduchem velmi výbušnou směs. Při jeho spalování vzniká pouze neškodná voda a něco málo oxidů dusíku. Spalování probíhá s přebytkem vzduchu, který ve spalovacím prostoru odebírá teplo a tím zabraňuje samovznícení směsi. Energie získaná z 1 kg vodíku je asi 2,6 krát vyšší než energie získaná z 1 kg benzínu, ale vzhledem k tomu, že hustota kapalného vodíku je 70 kg/m^3 a hustota benzínu je cca 750 kg/m^3 , což znamená asi 4 krát vyšší spotřebu vodíku oproti benzínu.

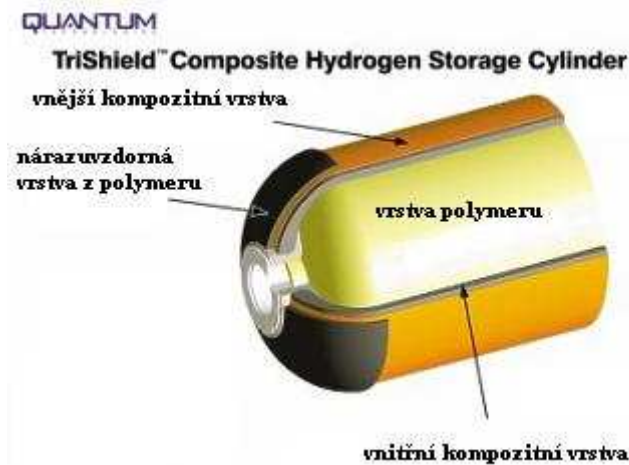


Obrázek 4 Motor BMW Hydrogen ICE [4]

2.3.3 Uskladňování

V plynné fázi

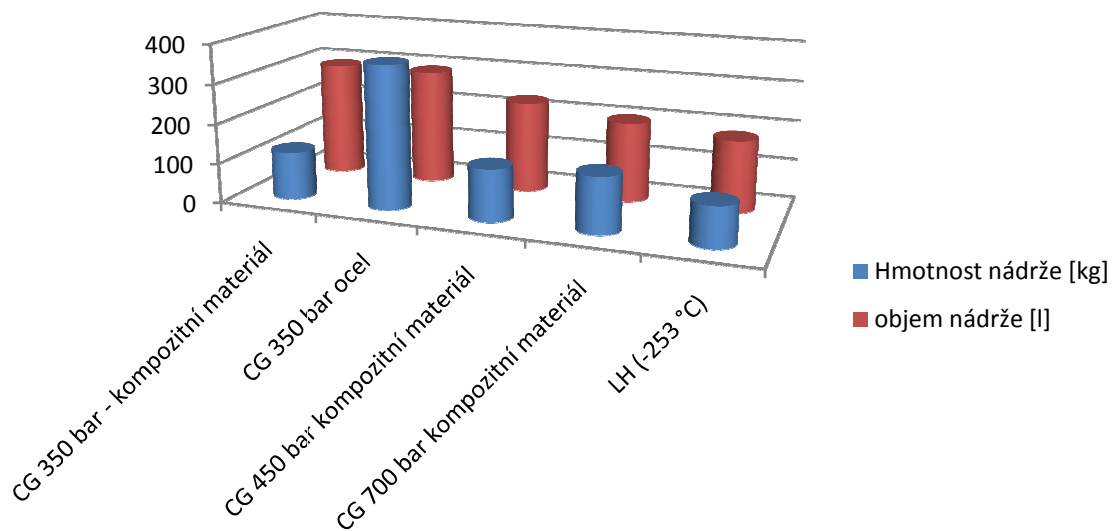
Pro stlačování se používají pístové kompresory.



Obrázek 5 Konstrukce nádrže pro uskladnění stlačeného vodíku [5]

V kapalně fázi

Vodík má v kapalně fázi -253 °C , tento fakt má za následek zvýšené nároky na materiály nádrže a také vysokou energetickou náročnost při zkapalňování. Z důvodu oteplování vodíku v nádrži a z toho vyplývajícího vzrůstu tlaku je třeba přebytečný tlak odpouštět, běžné nádrže dosahují ztrát 3 % za den.



Obrázek 6 Srovnání typů nádrží na 6 kg vodíku [5]

2.3.4 Výhody

- Velmi nízké emise (oproti benzínovému až o 99,9 %).
- Jedná se o obnovitelný zdroj energie, přičemž výroba vodíku není limitována např. jako výroba biopaliv dostupností zemědělských ploch.
- Není pro člověka toxický.

2.3.5 Nevýhody

- Malá objemová výhřevnost.
- Rychlý průběh hoření může způsobit vyhoření směsi ještě před vznětem (klepání).
- Při nižším kompresním poměru nebezpečí zášlehů plamene do sacího ústrojí.
- Téměř neexistující infrastruktura.
- Problémy s uskladňováním- vodík se skladuje pod tlakem 250, 350 a 700 bar.

Tabulka 3 Parametry různě uskladněného vodíku ve srovnání s propanem a benzínem [7]

| Palivo 20°C | Hustota [kg/m ³] | Měrný objem [l/kg] | M.O. vztažený k benzínu | Výhřevnost [MJ/kg] | Hustota energie [MJ/l] | H.E. vztažená k benzínu |
|----------------|------------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|
| Vodík 1 bar | 0,084 | 11939 | 8354,7 | 119 | 0,01 | 0,0003 |
| Vodík 250 bar | 17 | 58,8 | 41,15 | 119 | 2,024 | 0,065 |
| Vodík 350 bar | 22,2 | 45,2 | 31,6 | 119 | 2,64 | 0,085 |
| Vodík 700 bar | 39 | 25,9 | 18,14 | 119 | 4,6 | 0,15 |
| Kapalný vodík | 71,08 | 14,1 | 9,85 | 119 | 8,46 | 0,27 |
| Kapalný propan | 498 | 2 | 1,4 | 46,3 | 23,08 | 0,74 |
| Kapalný benzín | 700 | 1,43 | 1 | 44,5 | 31,15 | 1 |

3 BIOPALIVA

3.1 Bionafta

3.1.1 1. Generace

Získává se z oleje řepky olejné. Jedná se o metylester řepkového oleje (MEŘO), jehož výroba je drahá a převyšuje cenu motorové nafty, proto se do ní přidávají další produkty. Může se vyrábět i z jiných olejů, poté je označována jinými zkratkami, a to:

| | | |
|-------|-----------------------------|--|
| RME | Raps-methyl-ester | metylester řepkového oleje MEŘO |
| SME | Sunflower-methyl-ester | metylester slunečnicového oleje |
| SOME | soya-methyl-ester | olej ze sóje |
| FAME | falty-acid-methyl-ester | metylester z živočišných tuků |
| VUOME | vaste used oil-methyl-ester | metylester z použitých fritovacích olejů |

Při použití MEŘO je množství pevných částic a palyaromatických uhlovodíků nižší, přičemž emise oxidů dusíku je srovnatelná s motorovou naftou. Neobsahuje téměř žádnou síru.

3.1.2 2. generace

Také nazývaná směsná nafta, neboť se jedná o směs 31% MEŘO a zbytek tvoří běžná motorová nafta. Tato nafta se u nás nazývá bionaftou.

Tabulka 4 Porovnání některých vlastností MEŘO a motorové nafty [3]

| Vlastnosti paliva | Bionafta | Motorová nafta |
|---|----------|----------------|
| Rel. molekulová hmotnost [g/mol] | 300 | 170-200 |
| Cetanové číslo | 54 | 51 |
| Hustota při 15°C [g/cm ³] | 0,88 | 0,84 |
| Výhřevnost [MJ/kg] | 37,3 | 42,7 |
| Výhřevnost [MJ/l] | 32,0 | 35,7 |
| Stechiometrický poměr vzduch/palivo [hm.] | 12,3 | 14,53 |
| Obsah kyslíku [% hm.] | 9-11 | <0,6 |
| Kinematická viskozita při 20°C [mm ² /s] | 7,4 | 4,0 |
| Bod vzplanutí [°C] | 91-135 | 77 |

Výhody

- Stejně cetanové číslo jako motorová nafta – lze ji použít ve vznětovém motoru bez dalších přísad.
- Snížení kouřivosti motorů.
- Biologická odbouratelnost do 21 dní.
- Dobrá energetická bilance – na pěstování a zpracování oleje z 1 ha je třeba cca 17,6 GJ, přičemž energetický výtěžek z této plochy je cca 46,6 GJ.

Nevýhody

- Mírný pokles výkonu.
- Nepříjemný zápach výfukových plynů.
- Mírné zvýšení spotřeby.
- Nutno používat kvalitní mazací olej a častěji ho měnit.
- Špatná startovatelnost při teplotách pod 3 °C.
- Zvýšení korozivnosti paliva.
- Větší opotřebení motoru.

3.2 Bioplyn

3.2.1 Výroba

Získává se kvašením organických látek, tím získáváme plyn, který se skládá z 55 – 75 % metanu, 25 – 40 % oxidu uhličitého a 1 -3 % dalších plynů. Pro použití v motorových vozidlech je třeba bioplyn upravit, a to odstraněním nežádoucích látek, mezi které patří hlavně oxid uhličitý a sirovodík, přičemž dostaneme plyn odpovídající zemnímu plynu.

Výhody

- Nižší náklady na výrobu ve srovnání s benzínem.

Nevýhody

- Kolísavá výroba (kvašení nejlépe probíhá při teplotě 40 °C, což znamená přebytek výroby během teplých letních měsíců a nedostatky při studených zimních dnech).

4 ALKOHOLY

4.1 Metanol

Používá se jak v čisté formě, tak jako směs.

4.1.1 Výroba

Metanol lze vyrobit z obilí, brambor, kukuřice, cukrové třtiny a jiných a z některých fosilních paliv.

4.1.2 Spalování

Lze spalovat jak v zážehových motorech, tak v motorech vznětových, které je třeba dovybavit pomocným zapalováním, z důvodu nízkého cetanového čísla metanolu. Ve vznětových motorech je možné také spalovat směs motorové nafty s metanolem. V tomto případě již není, od již nízkého obsahu motorové nafty ve směsi, potřeba pomocného zapalování.

4.1.3 Výhody

- Vysoká energetická hustota.
- Vyšší oktanové číslo oproti benzínu.
- Zvládnuté výrobní technologie.
- Neobsahuje síru.
- Snížení emisí všech látek, pevných částic o 100 %, oproti motorové naftě.
- Vyšší bezpečnost oproti benzínu.

4.1.4 Nevýhody

- Vysoká toxicita- jak při vdechnutí, tak při potřísnění pokožky.
- Vysoká korozivost.
- Horší startovatelnost při nízkých teplotách oproti benzínu
- Nepříjemný zápach.
- Vysoká cena výroby – asi dvakrát dražší než benzín.

4.2 Etanol

Používá ve směsi s benzínem u vznětových motorů. Pro použití čistého etanolu je třeba speciálně konstruovaný motor.

4.2.1 Spalování

Při použití ve vznětových motorech je problém s velmi nízkým cetanovým číslem, proto je třeba použít pomocný zapalovací systém pro spalování čistého etanolu. V těchto motorech lze spalovat i směs motorové nafty s etanolem (cca 10 %). Ale již při malém obsahu motorové nafty není pomocný zapalovací systém zapotřebí.

V zážehových motorech můžeme spalovat směs etanolu s benzínem, pokud ale chceme použít čistý etanol je třeba motor se speciální konstrukcí. Změny oproti běžnému zážehovému motoru se jedná hlavně o vyšší kompresní poměr (vyšší oktanové číslo etanolu), jiné válce a tvar spalovacího prostoru. Palivové vedení a karburátor musejí být vyrobeny z nerezavějící oceli a palivová nádrž bývá pocínovaná.

4.2.2 Výroba

Je možné jej vyrobit z obilí, brambor, kukuřice, cukrové třtiny a jiných, a také z dřevné biomasy nebo z celulózy.

4.2.3 Výhody

- Vyšší oktanové číslo oproti benzínu.
- Nižší emise.
- Vyšší výkon.
- Není toxický na rozdíl od metanolu.
- Vyšší hektarové výnosy oproti MEŘO.

4.2.4 Nevýhody

- Nízká výhřevnost (a s tím související vyšší spotřeba).
- Špatná startovatelnost za nízkých teplot.
- Odstraňuje olej.
- Korozivost.
- Při masivnější výrobě by konkuroval výrobě potravinářské.
- Dvojnásobná cena v porovnání s metanolem.
- Horší energetická bilance výroby ve srovnání s MEŘO.

Tabulka 5 Srovnání vlastností metanolu, etanolu, MEŘO, benzínu a nafty [2]

| | Metanol | Etanol | MEŘO | Benzín | Nafta |
|--------------------------------------|---------|--------|------|---------|---------|
| Výhřevnost [MJ·kg ⁻¹] | 21,3 | 26,9 | 40,6 | 43,7 | 42,5 |
| Oktanové číslo VM | 105 | 106 | - | 79 - 98 | - |
| Cetanové číslo | 5 | 8 | 61,2 | - | 40 - 55 |

5 ZÁVĚR

V tabulce 6, můžeme vidět srovnání výhřevností jednotlivých paliv. Z této tabulky je patrné, že největší výhřevnost má vodík, ale vzhledem k jeho nízké měrné hmotnosti je jeho objemová výhřevnost ze všech paliv nejhorší, přičemž nejvyšší objemovou výhřevnost má motorová nafta, za kterou následuje bionafta a automobilový benzín.

Tabulka 6 Srovnání výhřevností jednotlivých paliv

| Palivo | Výhřevnost [MJ·kg ⁻¹] | Výhřevnost [MJ·l ⁻¹] |
|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Automobilový benzín | 43,7 | 31,15 |
| Motorová nafta | 42,7 | 35,7 |
| Bionafta | 37,3 | 32 |
| Bioplyn | 48,6 | 20,2 |
| Metan | 48,6 | 20,2 |
| Kapalný vodík | 119 | 8,46 |
| Etanol | 26,9 | 21,3 |
| Propan | 46,3 | 23,08 |
| Metanol | 21,3 | 16,9 |

Za neekologičtější palivo můžeme považovat vodík, při jehož spalování vzniká až o 99,9 % méně škodlivých emisí ve srovnání se spalováním benzínu, ale vzhledem k jeho špatné skladovatelnosti a téměř neexistující infrastruktuře je jeho hromadné nasazení v dnešní době nerealizovatelné. Velmi nízké emise škodlivých látek mají také alkoholy. Ve srovnání s motorovou naftou klesá produkce pevných částic až o 100 %, ale cena výroby je dvakrát až čtyřikrát vyšší než výrobní cena benzínu, navíc metanol je pro člověka toxický a masivní výroba etanolu by konkurovala potravinářské výrobě. Bionafta oproti motorové naftě na výhodu biologické odbouratelnosti (98 % za 21 dní oproti 10 % u motorové nafty) a má výrazně nižší emise škodlivin do ovzduší, zvyšuje však opotřebení motoru a snižuje jeho výkon. Při použití zemního plynu klesají emise oxidu uhličitého až o 20 % a náklady na toto palivo jsou dvakrát až třikrát nižší v porovnání s benzinem. Použitím zkapalněného zemního plynu dosáhneme poměrně velké dojezdové vzdálenosti, na rozdíl od stlačeného zemního plynu, se kterým je možno ujet jen 200 až 300 km na jednu nádrž, ale výroba zkapalněného zemního plynu je poměrně složitá. Zemní plyn je však fosilní palivo. Stejně tak jako LPG, který má také nižší emise než benzín. Toto palivo je velmi rozšířené vzhledem k poměrně husté síti čerpacích stanic, možnosti přepínání mezi LPG a benzinem a také vzhledem k nízké ceně LPG, ta je přibližně o polovinu nižší než cena benzínu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] VLK, F., Paliva pro spalovací motory. 1. vyd. Brno : Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2006. 376 s. ISBN 80-239-6461-5.
- [2] VLK, F., Alternativní pohony motorových vozidel. 1. vyd. Brno : Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2004. 234 s. ISBN 80-239-1602-5.
- [3] ŠEBOR, G., POSPÍŠIL, M., ŽÁKOVEC, J., Technicko–ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě . 1. vyd. Praha , 2006. 201 s. Dostupný z WWW: < http://www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/F2EF24EF-5E59-42C7-B6C7-A5508CE8F820/0/Technickoeconomicka_analyza_vhodnych_alternativnich_paliv_v_dopravecast_1.pdf>.
- [4] MACEK, J., Vodíkové spalovací motory [online]. 2007 [cit. 2009-04-23]. Dostupný z WWW: <<http://hytep.cz/?loc=article&id=15>>.
- [5] DLOUHÝ, P., JANÍK, L., Skladování vodíku I [online]. 2007 [cit. 2009-04-23]. Dostupný z WWW: <<http://hytep.cz/?loc=article&id=8>>.
- [6] SOMALOVÁ, M., DLOUHÝ, P., Výroba vodíku [online]. 2007 [cit. 2009-03-23]. Dostupný z WWW: <<http://hytep.cz/?loc=article&id=6>>.
- [7] DLOUHÝ, P., JANÍK, L., Vodíkové hospodářství – Úvod vodíku [online]. 2007 [cit. 2009-03-23]. Dostupný z WWW: <<http://hytep.cz/?loc=article&id=3>>.
- [8] PRAŽÁK, V., Motorová paliva- historie a současnost. Dostupný z WWW: <http://www.ceskarafinerska.cz/data/publications/motorova_paliva_historie_soucasnost.pdf> .
- [9] ŠNOBL a kol., ČZU v Praze 2004, 119 s., ISBN 80-213-1153-3 Dostupný z WWW: < http://etext.czu.cz/php/skripta/skriptum.php?titul_key=85 >.
- [10] KOVÁŘ, J., Paliva pro zážehové motory a jejich charakteristika. 2002. Dostupný z WWW: <<http://max.af.czu.cz/~miki/biodiesel/files/benziny.pdf>>.
- [11] KOVÁŘ, J., Paliva pro vznětové motory a jejich charakteristika. 2002. Dostupný z WWW: < <http://max.af.czu.cz/~miki/biodiesel/files/nafta.pdf>>.

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

| <u>Název</u> | <u>Jednotka</u> | <u>Označení</u> |
|----------------------------------|-------------------------|-----------------|
| Cetanový index | | CI |
| Stlačený zemní plyn | | CNG |
| Hustota vzorku při 15 °C | [g · cm ⁻³] | D |
| Hustota energie | [MJ · l ⁻¹] | H.E. |
| Kapalný vodík | | LH |
| Zkapalněný zemní plyn | | LNG |
| Propan- butan | | LPG |
| Měrný objem | [l · kg ⁻¹] | M.O. |
| Metyl ester řepkového oleje | | MEŘO |
| Oktanové číslo motorovou metodou | | OČMM |
| Oktanové číslo výzkumnou metodou | | OČVM |
| Teplota | [°C] | T |
| Součinitel přebytku vzduchu | [-] | λ |