

ČESKÁ ZEMĚDELSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

Vliv biopaliva na poškození zážehových motorů

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Autor práce: Josef Solnař

PRAHA 2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Josef Solnař

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Vliv biopaliva na poškození zážehových motorů

Název anglicky

Impact of biofuel to petrol engine damage

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je popsat postupný dopad používání paliv s vyšším obsahem biosložek na poškození zážehových motorů.

Metodika

- 1) Úvod
- 2) Cíl a metodika práce
- 3) Popis biopaliv a jejich rozdělení (etanol, butanol a jejich směsi, popis výroby)
- 4) Vliv biopaliv na poškození motoru (stručný popis palivové soustavy, volba kritických prvků, studium vlivu biopaliv na kritické díly)
- 5) Závěr

Doporučený rozsah práce

30-40

Klíčová slova

etanol, butanol, opotřebení

Doporučené zdroje informací

HROMÁDKO, J., HROMÁDKO, J., HÖNIG, V., MILER, P. Spalovací motory. 1. vydání. Praha: Garda 2011. 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.

Normy a předpisy, periodika a firemní literatura

Richard L.: Bioethanol – The Saab Way, Clean Vehicles and Fuels Symposium, Stockholm, 2005

VLK, F. Alternativní pohony motorových vozidel. 1. vydání. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2004. 234 s. ISBN 80-239-1602-5.

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Elektronicky schváleno dne 1. 12. 2015

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 1. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 29. 03. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Doc. Ing. Martina Pexy, Ph.D. a v seznamu literatury jsem uvedl všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal

V Praze dne

.....

Josef Solnař

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Ing. Martinu Pexovi, Ph.D. za jeho čas, připomínky a cenné rady při zpracování této bakalářské práce.

Abstrakt: Tato bakalářská práce zhodnocuje vliv současně využívaných biopaliv na poškození zážehových spalovacích motorů. První část práce popisuje samotná biopaliva, jejich vlastnosti a také způsob výroby těchto biopaliv. Druhá část práce uvádí čtenáře do problematiky zážehových spalovacích motorů, popisuje průběh spalování a vstřiku paliva. Ve druhé části jsou pak dále analyzovány studie zkoumající vliv jednotlivých biopaliv, hlavně etanolu a butanolu na poškození různých částí zážehového spalovacího motoru a také jejich vliv na produkci skleníkových plynů.

Klíčová slova: etanol, butanol, opotřebení

The impact of biofuel on the damage of ignition engines

Abstrakt: The Bachelor's Thesis evaluates the influence of currently used bio-fuels on the damage caused to spark-ignition engines. The first part of the thesis defines bio-fuels, their characteristics and fabrication. The second part looks into problematics of spark-ignition engines, describes the process of injection and combustion of fuel. Moreover in the second part of the thesis are stated analyzed studies of the influence of bio-fuels, mostly ethanol and butanol, on the damage caused to various parts of spark-ignition engine, as well as the impact on the greenhouse gases production.

Klíčová slova: ethanol, butanol, damage

Obsah

Úvod	1
1 Biopaliva pro zážehový motor	3
1.1 Metan jako biopalivo.....	3
1.1.1 Získávání bioplynu pro výrobu biometanu.....	4
1.1.2 Čištění bioplynu na biometan	6
1.2 Metanol jako biopalivo.....	7
1.3 Etanol jako biopalivo	8
1.4 Výroba etanolu.....	9
1.4.1 Postup výroby bioetanolu první generace	10
1.4.2 Postup výroby etanolu druhé generace	11
1.5 Butanol jako biopalivo.....	12
1.6 Výroba bio-butanolu	14
1.7 Kyslíkaté étery jako aditiva	15
1.8 Srovnání MTBE a ETBE.....	16
2 Biopaliva a zážehový spalovací motor.....	17
2.1 Pracovní oběh zážehového motoru	17
2.2 Tvorba směsi	18
2.2.1 Přímé vstřikování.....	18
2.2.2 Způsob činnosti přímého vstřikování	20
2.2.3 Vstřik a vrstvení směsi.....	22
2.2.4 Vliv etanolu na emise pevných částic motorů GDI.....	23
2.3 Vázání vody směsi etanolu s benzínem a její nestálost	24
2.4 Usazování etanolu v motoru	26
2.5 Vliv na korozi	27
2.5.1 Koroze ventilů.....	27
2.6 Vliv butanolu na spalovací proces.....	31
2.7 Rozdíly v hoření etanolu a butanolu ve spalovacím prostoru.....	32
Závěr.....	34
Použitá literatura.....	36
Seznam obrázků a tabulek	39

Úvod

Doprava v dnešní době představuje jeden ze základních pilířů fungování společnosti. K dopravě je využíváno mnoho dopravních prostředků, ať už je to jízdní kolo nebo nákladní trajekt. S rozvojem spalovacích motorů se dnes většina dopravy provádí právě za jejich pomoci. Tyto motory pracují na několika principech, ale ve většině případů je poháněno fosilní paliva získávaná z ropy. Zásoby ropy jsou na naší planetě omezené, proto se hledají různé alternativy pro pohon dopravních prostředků, zemědělských strojů, průmyslových strojů a v podstatě všech zařízení s motorem spalujícím fosilní paliva. S přihlédnutím k faktu, že spalování fosilních paliv velice zatěžuje životní prostředí, jsou kladeny vysoké nároky na nové pohony pracující se surovinami z obnovitelných zdrojů. Pro pohon motorů se v dnešní době začínají hojně využívat takzvaná biopaliva, neboli paliva z obnovitelných přírodních zdrojů. Tyto paliva mají příznivější vliv na produkci skleníkových plynů, a tudíž tolik nezatěžují životní prostředí, jako je tomu u paliv na bázi ropy, což je jejich velká výhoda při nahrazování stávajících ropných paliv. Použití biopaliv zažívá v posledních letech veliký rozmach a jsou hojně využívány jak z ekonomických, tak z ekologických důvodů a velké množství států tento trend podporuje různými úlevami. Biopaliva jsou nejčastěji využívána v motorech, které jsou konstruovány na ropná paliva, někdy s náležitými úpravami, jindy zcela bez úprav. Nicméně je třeba si uvědomit, že biopaliva mají sice podobné, nikoli však stejné vlastnosti v porovnání s palivy ropného původu, proto může docházet k řadě komplikací a také ke snížení spolehlivosti motoru při používání biopaliv. Nejčastěji používaným palivem pro zážehové spalovací motory je v současnosti etanol, který je v různých poměrech míchán s automobilovým benzínem. Hlavní nevýhoda etanolu spočívá v jeho nízké výhřevnosti, což má za následek snížení výkonu a zvýšení spotřeby motoru. Další nevýhoda etanolu spočívá v jeho schopnosti vázat vodu, kdy voda v palivovém systému a následně v spalovacím prostoru může způsobovat korozi kovových dílů. Dalším možným biopalivem pro zážehový motor je butanol, který ovšem není tak rozšířený, ale vykazuje lepší vlastnosti pro použití v motorech, než je tomu u etanolu. Hlavně se vyznačuje vyšší výhřevností a nižší mírou odpařitelnosti. Je potřeba také zmínit metan, který je rovněž možné získávat jako biopalivo z obnovitelných zdrojů. U tohoto pohonu je ale nutná přestavba palivového systému a úprava motoru, metan má podobné vlastnosti jako dnes používaný zemní plyn, neboli CNG.

Následující práce má čtenáře uvést do problematiky alkoholových biopaliv a ostatních biopaliv používaných v zážehových motorech, popsat jejich výrobu a vlastnosti. Dále pak práce uvádí čtenáře do problematiky zážehových spalovacích motorů a zkoumá vliv biopaliv na poškození jednotlivých částí motoru a na tvorbu emisí.

Cílem této práce je určit hlavní rizikové faktory mající vliv na poškození motoru při použití biopaliv v zážehových spalovacích motorech. Dále práce popisuje jednotlivá biopaliva a způsob jejich výroby. V dalších částech práce jsou zkoumány rozdíly, výhody a nevýhody v použití určitých biopaliv, konkrétně tedy etanolu a butanolu, v zážehovém spalovacím motoru.

Metodika práce je založena především na rozboru zahraničních i tuzemských odborných studií, které se zabývají použitím biopaliv ve spalovacím procesu zážehového motoru. Na základě těchto odborných textů jsou sepsány určité závěry a souhrny výsledků těchto studií a odborných textů.

1 Biopaliva pro zážehový motor

Biopaliva jsou pro provoz zážehových motorů používána v posledních letech v hojné míře. Důvodů je hned několik. Jeden z hlavních a významných důvodů používání biopaliv je snaha snížit emise skleníkových plynů, kdy některá biopaliva vykazují příznivější vliv na tvorbu těchto plynů. Proto se dnes podle normy ČSN EN 228 přimíchává etanol do automobilového benzínu určeného pro spalování v zážehových motorech automobilů a to až do 5 % objemu. Dále se do automobilových benzínů přidávají různá aditiva jako MTBE a ETBE. Následující kapitoly této práce jsou tedy zaměřeny na porovnávání a popis základních vlastností jednotlivých biopaliv a aditiv používaných výhradně pro spalování v zážehovém motoru.

1.1 Metan jako biopalivo.

Biometan, neboli vyčištěný bioplyn má nejnižší emise skleníkových plynů v porovnání s ostatními konvenčními palivy a také nejnižší spotřebu energie v celém životním cyklu a to zejména je-li produkován z odpadní biomasy. Biometan musí obsahovat alespoň 95 % metanu. Požadavky na bioplyn využívaný jako palivo v dopravě stanovuje v Českém prostředí norma ČSN 656514 Motorová paliva – Bioplyn pro zážehové motory – Technické požadavky a metody zkoušení. Surový bioplyn má různý obsah CH_4 , obvykle okolo 50 % objemu bioplynu. Jeho čištěním (tedy odstraněním stopových příměsí sirných a dusíkatých sloučenin) a upgradingem (odstraněním majoritních inertních plynů, především oxidu uhličitého) je možné získat čistý metan v kvalitě 95-99,9 %, podle zvolené technologie čištění. Biometan (plyn o kvalitě zemního plynu) lze použít jako palivo motorových vozidel bioCNG, nebo může být vtlačěn do plynárenské sítě. Čištění a úprava bioplynu znamenají snížení obsahu CO_2 , zvýšení obsahu CH_4 a odstranění nežádoucích složek z bioplynu - především sulfanu a vody. Zatímco poměr mezi CH_4 a CO_2 zásadně určuje energetickou a ekonomickou hodnotu bioplynu, minoritní nežádoucí složky negativně působí na technologii energetického využití bioplynu, sulfan způsobuje emise SO_2 , má korozivní účinek na spalovací zařízení a ničí katalyzátory, čpavek způsobuje emise NO_x a zvyšuje antidetonační vlastnosti paliva. Vodní pára způsobuje korozi v zařízeních a potrubních systémech a zvyšuje nebezpečí zamrznutí systémů a trysek. Prach zanáší trysky spalovacích zařízení, oxid

křemičitý, vzniklý spálením siloxanů obsažených v plynu, působí abrazivně na spalovací prostory motoru [21].

Výhody vozidel poháněných CNG:

- levný provoz,
- nízké emise – během spalování CNG vzniká velmi,
- málo CO₂, čímž vozy na CNG splňují současná i budoucí emisní kritéria,
- vyšší oktanové číslo.

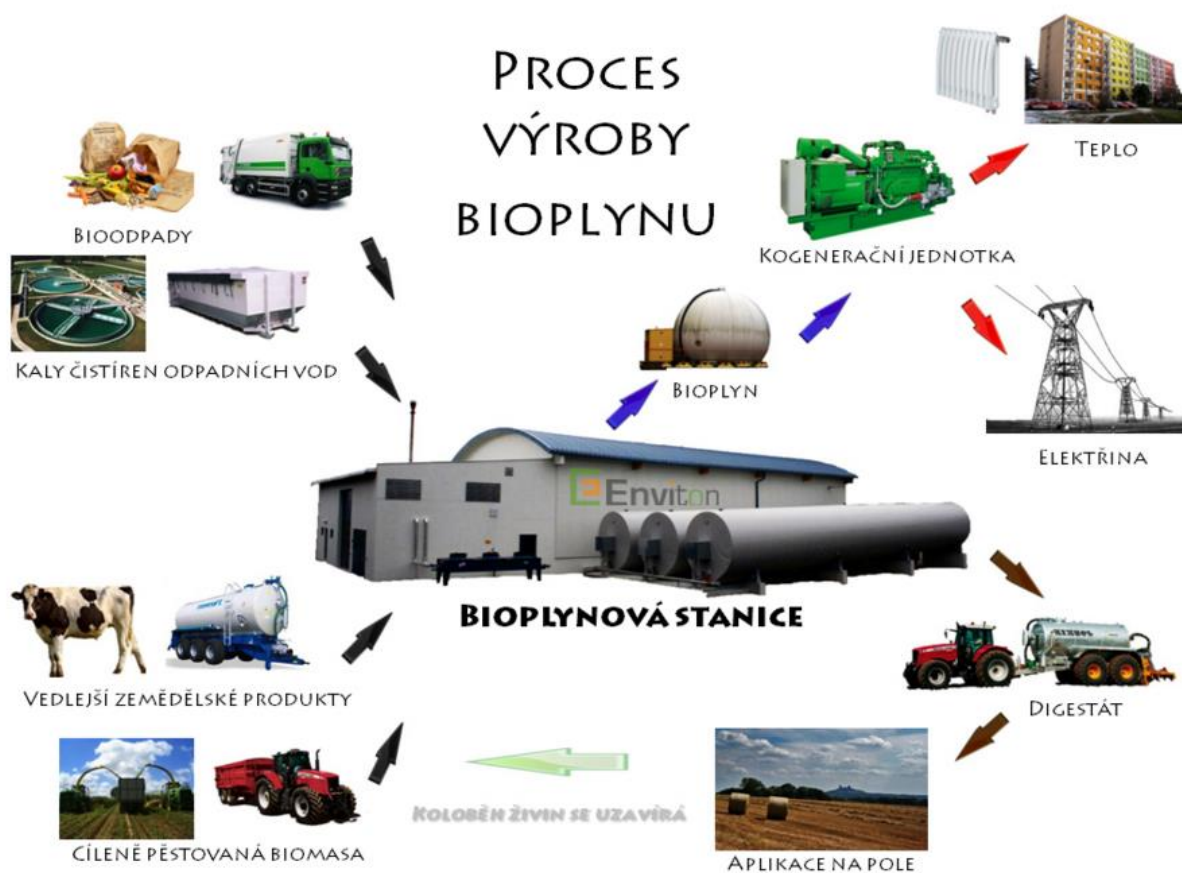
Nevýhody:

- automobilů na CNG je o několik desítek tisíc korun vyšší než cena automobilu na klasické palivo,
- přestavba staršího automobilu stojí v průměru 60 000 Kč,
- krátký dojezd – na jednu standardní nádrž CNG lze ujet 200 – 250 km, u automobilů s dvoupalivovým systémem se dojezd na CNG přičítá k dojezdu na benzín, čímž se dojezd prodlouží až na cca 500 km,
- menší užitná hodnota – značnou část úložného prostoru zabere nádrž na CNG, především u přestavovaných vozů, navíc se tak zvýší hmotnost vozidla,
- přísnější bezpečnostní kritéria – pro vozidla na CNG platí přísnější podmínky na garážování a servis [20].

1.1.1 Získávání bioplynu pro výrobu biometanu

Bioplyn vzniká biologickým procesem, při kterém dochází k vytvoření směsice plynů z organické hmoty a to bez přístupu kyslíku. Těmto plynům se říká bioplyny. Tento proces je v přírodě hojně rozšířen a lze ho sledovat například v rašeliništích, na dně jezer, v jímce s kejdou či v bachoru přežvýkavců. Přitom se zde téměř všechna organická masa přemění na bioplyn a malé množství se pak podílí na vzniku nové biomasy, nebo se přemění na teplo. Tato směsice je tvořena dvěma plyny a to ze dvou třetin metanem a z jedné třetiny oxidem uhličitým. V nepatrném množství jsou zde zastoupeny další látky a to - Vodík, sulfan,

amoniak a další stopové prvky. Proces vzniku bioplynu se skládá z více po sobě jdoucích procesů [10].



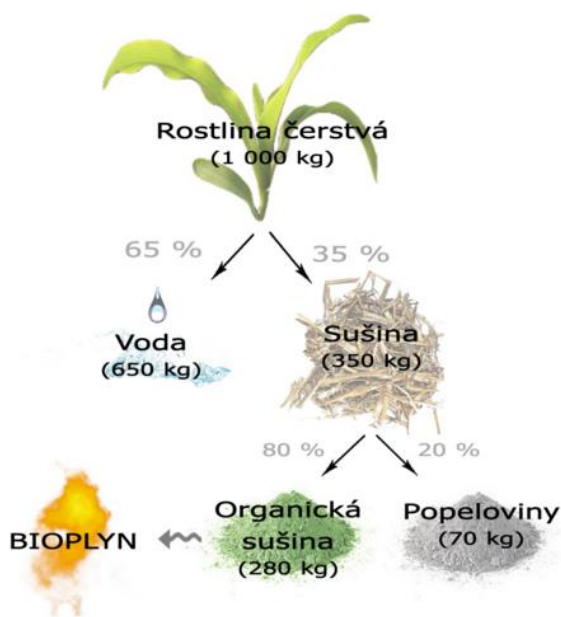
Obr. 1 Proces výroby bioplynu [19]

V prvním kroku „hydrolýze“ se rozkládají komplexní sloučeniny výchozího materiálu (např: aminokyseliny, monosacharidy, mastné kyseliny). Na tomto se podílejí bakterie, které uvolňují enzymy a následně tento materiál rozloží biochemickou cestou [10].

Ve druhém kroku se tyto meziprodukty v acidogenezi dále rozkládají za pomoci kyselinotvornými bakteriemi na nižší mastné kyseliny (octovou, propionovou a máselnou) a také na oxid uhličitý a vodík [10].

Ve třetím kroku jsou tyto produkty za pomoci autogeneze přeměněny bakteriemi na prekurzory (kyselinu octovou, vodík a oxid uhličitý). Jelikož příliš velký obsah vodíku nedělá dobře autogenním bakteriím, musejí tyto producenti kyseliny octové vytvořit s bakteriemi

methanogeneze těsné životní společenství. Vodík se pak spotřebovává při vzniku metanu a v methanogenezi se tvoří metan [10].



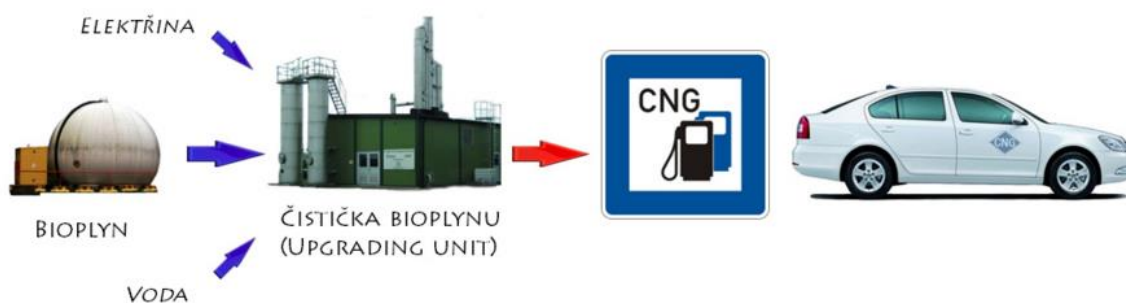
Obr. 2 Získání energie z rostlin [19]

1.1.2 Čištění bioplynu na biometan

Při čištění bioplynu na biometan je důležité z bioplynu odstranit nežádoucí látky pro dosažení biometanu o čistotě min 95 % obj. Jedná se o separační proces, při kterém je sdílení hmoty mezi kapalnou, nebo plynou látkou a povrchem pevné látky prováděno za pomoci mezi-povrchových přitažlivých sil. Oddělení složek, které jsou v kapalinách, nebo v plynech obsaženy v nízké koncentraci, jsou pak zajištěny pomocí absorpce. Absorpční technologie se využívá v několika technologických odvětvích (např.: úprava odpadních plynů, sušení vzduchu, čištění pracovního ovzduší a další) [20].

Separované částice jsou k absorbentu poutány různými silami a podle toho se rozlišuje absorpce fyzikální, nebo chemisorpce. K interakci mezi porézním materiálem a molekulami absorptivu dochází zejména při fyzikální absorpci, a to zejména vlivem tzn. Van der Waalsových sil. Molekuly obsažené v absorbované látce se neštěpí, ale spíše dochází k jejich akumulaci a to zejména na vnitřním povrchu absorbentu. Děje se tak vlivem vícevrstvé absorpce. Snížením tlaku, nebo zvýšením teploty lze pak regenerovat daný použitý absorbent [20].

Naopak při chemisorpci spolu reaguje absorpční materiál a absorbovaná látka, to má za následek vznik silnějších vazeb. Síly mezi vazbami jsou srovnatelné se silami, které vedou ke vzniku chemických povrchových sloučenin. Při chemisorpci je energeticky náročnější regenerace, než je tomu u fyzikální absorpce. Je to díky náročnějšímu uvolnění vazeb, a je tedy nutná vyšší teplota než při fyzikální absorpci [20].



Obr. 3 Čištění bioplynu [19]

1.2 Metanol jako biopalivo

Metanol je nejnižší alkohol, chemický vzorec - $\text{CH}_3 - \text{OH}$. Metanol je čistá kapalina, bez zápachu pro člověka jedovatá. Dříve vystupoval jako vedlejší produkt při výrobě dřevěného uhlí, dnes se ale situace změnila, dřevěné uhlí ztratilo na významu. Metanol je možné vyrobit z biomasy a z fosilních paliv, jako je zemní plyn a uhlí. Nevýhodou výroby metanolu z biomasy je jeho vysoká cena v porovnání se syntetickým metanolem ze zemního plynu. Metanol je možné převést na vysoce oktanové palivo při relativně nízkých nákladech. Výhodou je, že takové palivo neobsahuje síru, a znečištění ovzduší vlivem jeho spalování je velmi nízké. Také vliv získané energie v poměru s vydanou energií je velmi příznivý. Nicméně metanol je vysoce agresivní v porovnání s benzínem a představuje tudíž větší zátěž pro plastové a gumové části palivového systému [2].

1.3 Etanol jako biopalivo

Etanol je jedno z nejstarších alternativních paliv. Alkoholy se jako motorové palivo začaly využívat již ve 30. letech 20. století. Jako biopalivo se začalo komerčně využívat v dopravě v Brazílii a v USA počátkem 70. let minulého století v rámci programů pro zlepšení životního prostředí. Používání etanolu přineslo vícero výhod nejen v dopravě, ale i v průmyslové a sociální sféře. Nicméně etanol jako takový se využívá i na jiné účely, například jeho uplatnění v potravinářském průmyslu poukazuje na univerzálnost etanolu, která je jednou z jeho hlavních výhod [22].

První pokusy s fermentační výrobou bioetanolu jako pohonné hmoty začaly v období tzv. 1. ropné krize a to po roce 1970. Pak ale nastaly problémy s úplnou a vysoce nákladnou dehydratací bioetanolu a to na hodnotu až 99,6 %. Tato hodnota je vyžadovaná při míchání s benzínem, protože voda obsažená v etanolu způsobuje korozi kovových materiálů. Problém s korozi také znemožňoval dopravovat etanol v dálkových potrubích. V té době jeho poměrně levná výroba potlačila jeho negativní vlastnosti v podobě nízké výhřevnosti, podpoře koroze a velké míře odpařitelnosti. Etanol je tedy stále na základě tlaku monopolů podporován ze strany státu, i když není plnohodnotnou náhradou benzínu. Kolem bioetanolu byla také vedena řada výzkumných procesů a stále se nepodařilo vyřešit všechny problémy, zejména ty ekonomického charakteru a ani požadavky na zlepšení čistoty ovzduší. Výjimku tvoří Brazílie, ta má ale unikátní podmínky pro výrobu bioetanolu a také USA, které je známo svým nekompromisním postojem v oblasti globálního oteplování a tak i silně podporuje produkci biopaliv [18].

Etanol se vyznačuje vysokým oktanovým číslem, a tudíž ho lze bez velkých obtíží použít v zážehových spalovacích motorech. Ovšem jsou zde nutné určité úpravy. Hlavní úprava spočívá ve zvětšení vstřikované dávky, nebo prodloužení doby vstřiku a to z důvodu jeho malé výhřevnosti. Po této úpravě je možné míchat etanol s benzínem až do poměru 85 % etanolu a 15 % benzínu [6].

Výhody etanolu:

- dokonalejší spalování v motoru,
- dosahuje nižších emisí ve spalinách,

- snižuje závislost na dovozu ropy,
- tvoří nové pracovní příležitosti při pěstování surovin.

Nevýhody:

- způsobuje rychlejší korozi kovových materiálů,
- je detergentní (odstraňuje oleje),
- napadá plastické hmoty,
- výpary mohou mít negativní účinek na lidský organismus,
- při vysokých koncentracích zhoršuje starty za nízkých teplot (díky vysoké zápalné teplotě),
- vyšší spotřeba cca. o 15 %,
- tvorba aldehydů ve výfukových plynech.

Velice pozitivní vliv na životní prostředí mají i nízkoprocentní směsi etanolu s benzínem, kdy směs 10 % etanolu a 90 % benzínu snižuje tvorbu CO o více jak 25 % v porovnání s čistým benzínem. Je to jeden z důvodů, proč je ze zákona přimícháván etanol do Naturalu 95. Podle evropské normy EN 228 je omezen podíl etanolu v benzínu na 5 % objemu. Nicméně je stále projednáváno zvýšení této hranice až na 10 % objemu. [22]

1.4 Výroba etanolu

Na výrobu etanolu lze použít více vhodných surovin, například obilí, brambory, kukuřici, cukrovou třtinu, ovoce, cukrovou řepu atd. Výroba alkoholu probíhá procesem zvaným fermentace, která probíhá na cukerných roztocích. Cukry lze ale vyrobit i z celulózy, která je obsažena například ve dřevě. Nevýhoda výroby etanolu ze zemědělských produktů je to, že nahrazení většího množství fosilních paliv právě etanolem bude představovat konkurenci potravinářskému průmyslu, a navíc jak uvádí Vlček [22, str. 101] „*při dnešním charakteru zemědělské výroby je navíc nevyhnutelné používání velkého množství hnojiv na dopěstování výchozí suroviny, což s sebou přináší další nevýhody v podobě znečištění životního prostředí.*“ [22].

Biomasu, z které se vyrábí etanol lze rozdělit do 3 skupin:

1. biomasa obsahující cukry (cukrová řepa)

2. biomasa obsahující škrob (brambor, rýže, obiloviny, atd.)
3. biomasa lignocelulózová (sláma, rychle rostoucí dřevo, papír biologický odpad, atd.)

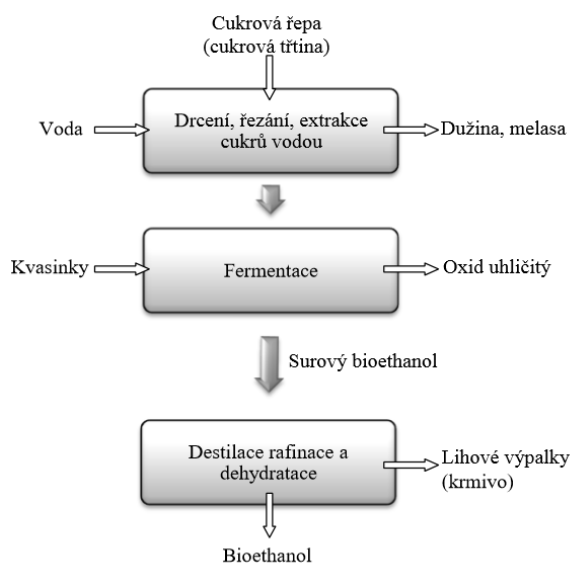
Tab. 1 Produkční potenciál výroby bioetanolu pro různé suroviny .[6]

Surovina	Produkční potenciál bioetanolu [l/t]	Surovina	Produkční potenciál bioetanolu [l/t]
Sladký čirok	60	Ječmen	250
Cukrová třtina	70	Celulózová	280
Cukrová řepa	110	Pšenice	340
Brambory	110	Kukuřice	360
Batata	125	Rýže	430

Biomasa na výrobu etanolu se dále dělí na tzn. bioetanol první generace a bioetanol druhé generace.

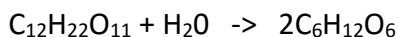
1.4.1 Postup výroby bioetanolu první generace

Bioetanol první generace je biomasa, kde existuje její konkurenční využití ve výrobě potravin, či krmiv. Mezi bioetanol první generace se řadí bioetanol vyrobený z obilí, cukrové řepy, cukrové třtiny, kukuřice, škrobu.



Obr. 4 Blokové schéma výroby bioetanolu z obilovin [13]

Bioetanol vyrobený z cukrové třtiny nebo cukrové řepy je jedním z nejjednodušších způsobů výroby. V těchto surovinách je obsažena sacharóza, která je následně přeměněna na jednoduché cukry, ty pak jsou pak jednoduše odděleny a mohou se dále fermentovat [6].



Bioetanol vyrobený z biomasy obsahující škrob je třeba v prvním kroku mechanicky upravit. Tato úprava probíhá nejčastěji drcením, nebo mletím zrna. Lze provádět buď za mokra, nebo za sucha. Tento způsob zajišťuje zpřístupnění suroviny pro působení komplexu enzymů. Odpad jsou pak vláknité slupky zrn a stébla. Druhý krok výroby je tzn. zápar. Je to proces, ve kterém dochází k nabobtnání a zmazování zrn škrobu. Škrob se postupně převádí působením enzymů, nebo kyselou hydrolýzou na zkvasitelný sacharid (glukózu) [5].

Následuje kvašení, které je podobné jak u výroby bioetanolu ze škrobu, tak u výroby bioetanolu ze sacharidů. Kvašení probíhá ve fermentoru, při kterém jsou vzniklé sacharidy konvertovány kvasinkami na bioetanol a oxid uhličitý [6].



Správný průběh kvašení by měl probíhat při pH (4-6) a teplotě prostředí 27-32°C, jak uvádí Hromádka [6, str. 268] „*Za hraniční obsah etanolu v kvasící zápaře je považováno 12-13% obj., experimentálně bylo dosaženo hodnoty až 24% obj.*“. Následující fází výroby bioetanolu je destilace. Při destilaci dochází k oddělení destilátu a destilačního zbytku. Rafinace je pak zaměřena na odstranění nežádoucích produktů fermentace, které pak mohou poškodit součásti palivového systému automobilu. Po rafinaci dostaneme tzv. rafinovaný bioetanol, ten obsahuje max 95,5 % hmotnosti etanolu a zbytek tvoří voda [6].

1.4.2 Postup výroby etanolu druhé generace

Etanol druhé generace se v dnešní době těší veliké oblibě, a to hlavně díky tomu, že jeho výroba nekonkuruje potravinářskému průmyslu. Výroba etanolu druhé generace je založena převážně na nepotravinářských plodinách. V následujících několika bodech je výroba etanolu druhé generace, neboli etanolu z lignocelulózou biomasy, podrobně popsána:

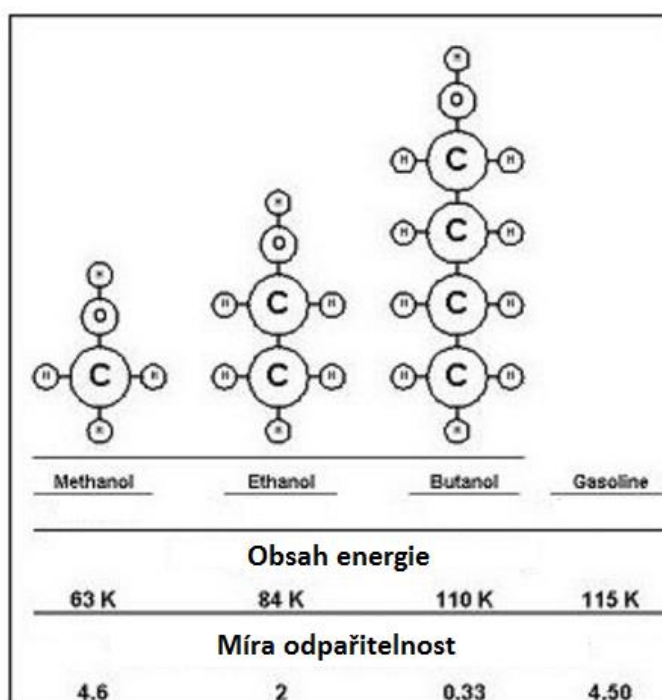
1. Uskladnění biomasy. Biomasa je dopravena do továrny ve formě štěpků nebo slámy a skladována v kontejnerech. Z těchto kontejnerů se následně třídí nadměrné kusy suroviny. Následuje drčení a mletí biomasy za účelem narušení struktury celulózy a hemicelulózy a usnadnění přístupu kyselině nebo enzymům.
2. Napařování. V tomto procesu jsou suroviny přehřívány na požadovanou teplotu a je z nich odstraněn vzduch.
3. Před sacharizací. Celulóza se louhuje spolu s přidanou kyselinou z biomasy. Tento děj je prováděn při teplotě 170 – 200°C
4. Celulózní reaktor. Je zapotřebí rozštěpit vodíkovou vazbu, tento děj probíhá ve vyluhovacím procesu za přítomnosti kyselin. Mezi jednotlivými řetězci celulózy dochází k narušování polymerní struktury materiálu. Děje se tak při teplotách 200 – 300°C. Celulóza je tak rozložena na cukry rozpuštěné ve vodě. Ty se pak dále fermentují na bioetanol klasickým způsobem.
5. Membránový filtrační lis. Při konverzi celulózy dochází k separaci ligninu, ten se v této části procesu filtruje a tím pádem do dalšího procesu již nevstupuje.
6. Sběr ligninu. V tomto bodě je lignin skladován a odvážen mimo další proces výroby, ale dále ho lze využít k jiným energetickým účelům.
7. Detoxikace. Je potřeba se zbavit příměsí obsažených v roztoku glukosy, které by mohli vadit při vlastní fermentaci. Tento krok zajišťuje právě detoxikace.
8. Fermentace. Vlastní fermentace je uskutečněna v nádržích, kam je dopravován roztok glukosy a ve které dochází k fermentaci při teplotě 35°C
9. Separátor kvasnic. Tento proces zajišťuje separaci zbylých kvasnic a fermentační kaše. Ty jsou následně vráceny zpět do fermentačního procesu.
10. Destilace. [4]

1.5 Butanol jako biopalivo

Butanol je alkohol tvořený řetězcem čtyř uhlíků. Nejčastěji se vyrábí hydratací butanu a je používán v průmyslu jako ředidlo. Je ale také možné ho vyrábět z biomasy a to dvoustupňovým kvasným procesem upravenými kvasinkami *Clostridium tyrobutyricum* a *Clostridium acetobutylicum*. Jeho hlavní výhodou spočívá v jeho vysoké výhřevnosti, jeho

výhřevnost je až o 30% vyšší než v případě etanolu a je jen o 5% méně výhřevný než benzín. Je také stejně jako etanol dobře mísitelný s benzinem. Cena a vlastnosti jsou také srovnatelné s benzinem [18].

Jelikož je butanol čtvrtý alkohol v řadě, jeho molekula má dvojnásobný počet atomů vodíku a uhlíku, než je tomu u etanolu a to zapříčiňuje vyšší energetickou hustotu a tím i vyšší výhřevnost. Byla již provedena řada motorových zkoušek, při kterých si butanol vedl velmi dobře. Při spalování produkuje výrazně méně emisí SO_x , CO , nebo NO_x , než fosilní kapalná paliva. Velkou výhodou představuje i manipulace s butanolem, která je mnohem bezpečnější než je tomu u benzínu nebo etanolu. Míru bezpečnosti může naznačovat například míra odpařitelnosti, která je u butanolu několikanásobně menší než u benzínu, nebo etanolu, jak je vidět na obrázku 5. Butanol by byl vhodný hlavně pro oblasti, kde panují vyšší teploty. Jeho výhoda spočívá také v tom, že mnohem méně napadá korozí kovové nádrže a různé jiné kovové díly palivového systému, než je tomu u etanolu a to z toho důvodu, že není tak hygroskopický jako etanol [18].



Obr. 5 Míra odpařitelnosti [18].

1.6 Výroba bio-butanolu

Jak již bylo řečeno, butanol se vyrábí dvoustupňovým kvasným procesem upravenými kvasinkami *Clostridium tyrobutyricum* a *Clostridium acetobutylicum*, které ve fermentovaném roztoku působí nejen při vyšší koncentraci butanolu, ale zejména pak umožňují s velkou převahou vyrábět právě butanol. Tyto kvasinky v návaznosti na sebe zajišťují optimální produkci butanolu a to 4,65 g/L a výtěžnost z glukózy 42 – 45%. V podstatě se jedná o přeměnu, kde jeden mikrob maximalizuje přeměnu glukózy na vodík a kyselinu máselnou a druhý mění tuto kyselinu na butanol. Ve srovnání s původní technologií fermentace zvané ABE, tato nová technologie eliminuje tvorbu nežádoucích produktů, kterými jsou: kyselina propionová, kyselina mléčná, aceton, isopropanol, etanol a další. Schéma výrobního postupu se může zdát velmi jednoduché, ale celé zařízení na výrobu je velice složité a je zde také řada rozdílů oproti zařízení na výrobu etanolu, proto není možné využít dosavadní palírny etanolu a jednoduše je předělat na výrobu butanolu. Výroba bývá kontinuální a to ve dvou fermentorech, které jsou spojeny čerpadlem a následně potrubím. Na potrubí navazuje zařízení pro oddělení butanolu od nežádoucího materiálu a také velké části vody pomocí odstředivek, protiproudového čištění pomocí horkého CO₂, polopropustných membrán atd. Výsledkem těchto operací je butanol s obsahem vody pouhých 10% což je energeticky výhodné. Celý postup podle Sladkého je členěn takto:

1. *„suché nebo mokré mletí zrnin, případné snižování obsahu neškrobových látek, sterilizace,*
2. *konverze biomasy do fermentačně využitelného cukru,*
3. *fermentace kvasinkami *Clostridium tyrobutyricum* v 1. fermentoru na kyselinu máselnou, přečerpání do druhého fermentoru,*
4. *fermentace kyseliny máselné kvasinkami *Clostridium tyrobutyricum* na butanol,*
5. *dělení horkých plynů, adsorbce, desorbce, kondenzace, odstředování,*
6. *destilace směsi butanolu s cca 10% vody (voda se odpařuje dříve než butanol),*
7. *vratka odstředěných, nezfermentovaných zbytků do fermentorů.“* [18]

Jako konečný produkt je tedy pouze kyselina máselná, vodík a butanol. Vedlejší produkty pak oxid uhličitý CO₂ a voda. Velkou výhodou je také vysoký výtěžek butanolu v porovnání s etanolem ze stejného množství surovin. Kdy se z 100kg kukuřice vyrobí až 38 i více litru biobutanolu, který je výhřevnější. Nesmí se opomíjet ani získání vodíku v první fázi procesu, co je také jistě velkou výhodou. Z národohospodářského hlediska se jeví výroba butanolu velice slibně, jelikož může snížit závislost státu na dovozu ropy a také chránit oblast kapalných paliv před nepříznivými a náhlými událostmi a také v neposlední řadě může pomoci snížit tempo růstu globálního oteplování. [18]

1.7 Kyslíkaté étery jako aditiva

S rozvojem automobilové dopravy vznikl problém se znečišťováním životního prostředí. Pro dosažení co nejnižších emisí je potřeba spalovat kvalitní benzín doplněný o aditiva. Je také důležité vybrat správná aditiva, která budou pokud možno zvyšovat oktanové číslo benzínu a zároveň vykazovat nízké hodnoty emisí při spalování. V Evropě se již od první poloviny 19. století používaly jako aditiva sloučeniny obsahující kovy (např. tetraetylolovo, nebo tetrametylolovo). Ty ovšem posléze znamenaly obrovskou zátěž pro životní prostředí, tak byl v posledních desetiletích vyvíjen tlak na nalezení vhodných látek, použitelných pro aktivaci benzínových paliv. Postupně byla zavedena do provozu nová skupina sloučenin v podobě alifatických alkoholů a dialkyletherů. Kyslíkaté látky představují především ethery jako terc-butyl(etyl)ether (ETBE), terc-amyl(metyl)ether (TAME) terc-butyl(metyl)ether (MTBE) a diisopropylether (DIPE). Těmito kyslíkatými látkami se začal obohacovat benzín (tzv. reformovaný benzín RFG) již začátkem 70. let v USA. Posléze byl RFG rozšířen také do zemí Evropy. U RFG se tedy předpokládá snížení škodlivých emisí. Jako kyslíkaté aditivum je nyní nejpoužívanější MTBE a to díky svým nízkým nákladům na výrobní proces. Koncentrace MTBE v bezolovnatých benzínech se v USA pohybuje kolem 10-15 obj. %, u nás v České republice je maximální obsah limitován normou ČSN EN 228, která povoluje maximální dávku 15 obj. % nicméně v praxi bývá do 10 obj.%. Obsah ostatních sledovaných látek v benzínu je podle ČSN EN 228 následující benzen do 1% (v/v) a aromáty do 35% (v/v). MTBE se v České republice přidává do benzínu již od roku 1992. Ani tyto nové sloučeniny nepřinesly řešení ekologického problému s automobilovou dopravou. Problém nastává při úniku pohonných hmot do životního prostředí, které se pak šíří a rozptylují do prostředí podle fyzikálně-

chemických vlastností, které jsou shrnuty v tabulce 2. Kde je patrné, že nejpoužívanější aditivum MTBE bylo detekováno v povrchových a spodních vodách, na částicích půdy a v neposlední čadě i v ovzduší. Poprvé se zprávy o kontaminaci vody MTBE objevily v Kalifornii v USA, kde se MTBE jako aditivum používá již od začátku 70. let. Tab. 1. [24].

1.8 Srovnání MTBE a ETBE

Při zkoumání rozdílů mezi těmito aditivy, musíme začít od začátku. Už při výrobě jsou mezi těmito sloučeninami velké rozdíly. Jednou z předností ETBE při výrobě je uplatnění etanolu, který lze získávat z obnovitelných zdrojů. ETBE by tak znamenal významnou výzvu pro rafinérský průmysl. Přestavba linek na ETBE, které doposud vyráběly pouze MTBE by neměl být velký problém. Český rafinérská a.s. již dvakrát takto realizovala výrobu ETBE, k tomuto účelu bylo zpracováno 1500t bioetanolu. Další výhodou ETBE je v jeho fyzikálně-chemických vlastnostech, viz tabulka 2, jelikož má vyšší bod varu a nižší tlak par než MTBE. To je významné z hlediska zpřísňujících se limitů na těkavost automobilových benzinů při vyšších teplotách. Někteří autoři se přiklánějí k faktu, že ETBE je díky jeho menší rozpustnosti ve vodě méně škodliví životnímu prostředí než MTBE [24].

Existují ale i nevýhody, díky kterým je zatím omezené používání ETBE v ČR. Jednou z nevýhod je vysoká nákupní cena bezvodného etanolu, jelikož jeho produkce není dostatečně rozšířená. Další nevýhodou ETBE je požadavek na obsah vody v etanolu, který je na něj kladen hlavně kvůli ochraně kovových dílů palivového systému, popřípadě katalyzátorů u starších vozů. Jelikož vysoký obsah vody v palivu má za následek korozi kovových dílů a v neposlední řadě má za následek horší průběh spalování [24].

Tab. 2 Přehled chemických a fyzikálních vlastností aditiv pohonných hmot měřených při 25°C [24].

Látka	M_t [-]	t_v [°C]	ρ [g.ml ⁻³]	Rozpustnost ve vodě [mg.l ⁻¹]	Tenze par [mm.Hg]	Henryho konstanta [atm.cm ³ .mol ⁻³]
MTBE	88,15	54	0,74	50000	251	1500
TBA	74,12	83	0,79	neomezená	41	12
ETBE	102,18	67	0,73	26000	152	2700
DIPE	102,18	91	0,74	9000	150	6900
TAME	102,18	86	0,77	20000	68	1300
Etanol	46,07	79	0,79	neomezená	53	5,9
Metanol	23,04	65	0,8	neomezená	122	4,4
Benzen	78,11	80	0,88	2	86	5400
Toulen	92,13	111	0,87	535	28	5900
Ethylbenzen	106,16	136	0,87	161	10	8400
m-Xylen	106,16	139	0,88	146	8,3	7700
o-Xylen	106,16	144	0,88	175	6,6	5100
p-Xylen	106,16	138	0,86	156	8,7	7700

Měřeno při 25°C, t_v = teplota varu, M_t = relativní molekulová hmotnost, ρ = hustota, MTBE = terc-butyl(methyl)ether, TBA = terc-butylalkohol, ETBE = terc-amyl(methyl)ether, DIPE – diisopropylether

2 Biopaliva a zážehový spalovací motor

Tato kapitola je zaměřena na zážehové spalovací motory, výhradně tedy na přímé vstřikování paliva. Přímé vstřikování v dnešní době vytlačuje ostatní způsoby plnění válce a to zejména díky regulaci vstřikované dávky. První fáze této kapitoly představuje úvod do spalovacího procesu a do způsobů plnění válce při použití přímého vstřikování. V druhé části této kapitoly bude zkoumán vliv biopaliv na spalování směsi v tomto systému a na možná poškození a nežádoucí efekty použití biopaliv v zážehovém motoru.

2.1 Pracovní oběh zážehového motoru

Přeměna energie paliva na energii tepelnou, která se dále mění na mechanickou práci, představuje složitý děj. Matematicky vyjádřit tento děj je velice složité, proto je v praxi používáno mírné zjednodušení [5].

Pracovní proces v motoru představuje pracovní oběh. Pracovní oběh je třeba znát pro posouzení důležitých veličin a hodnot motoru jakými jsou - tlaky, teploty, využití tepla atd. Pracovní oběh teoretický se bude vždy lišit od toho skutečného. Teoretický oběh je takový, který lze matematicky vyjádřit, a neobejde se bez zjednodušených předpokladů, a jak uvádí Hromádka a spol. [5, str. 45] „*Skutečný oběh je zjistitelný pouze měřením. Na toto měření se nejčastěji používá vysokotlaký snímač, který je umístěn v pracovním prostoru měřeného motoru*“ [5].

2.2 Tvorba směsi

Spolehlivé zažehnutí a správný průběh hoření u zážehového motoru je podmíněno vytvořením homogenní směsi paliva se vzduchem. Popřípadě je potřeba směs vrstvit tak, aby bohatost směsi mezi elektrodami svíčky, v době jejího výboje umožnila její zapálení. Je potřeba zachovat požadovanou hodnotu přebytku vzduchu λ pro všechny pracovní režimy motoru [5].

U zážehového motoru, kde bývají paliva lehce odpařitelná (benzín a alkoholy) se směs paliva a vzduchu tvoří pomocí karburátorů, vstřikováním paliva do sacího potrubí, nebo přímo do válce motoru. Pro paliva plynná (propan – butan, zemní plyn, bioplyn, vodík) se směs paliva a vzduchu připravuje ve směšovačích. Další možností pro paliva plynná je vstřikování paliva přímo do proudu nasávaného vzduchu, nebo rovnou do válce motoru podobně jako u paliv kapalných [5].

2.2.1 Přímé vstřikování

Motory s přímým vstřikáním získávají v posledních letech na popularitě. Tento systém je sice znám už více jak půl století, např. Mercedes – Benz 300 SL byl vybaven přímým vstřikem paliva již v 50. letech minulého století, avšak pro vysoké technické nároky nebyl příliš rozšířen. Dříve se tento systém používal hlavně pro vyšší výkon, nyní je použit pro nižší spotřebu. Tento typ motorů se vyznačuje vyšší účinností a vyšším měrným výkonem. Jejich hlavní nevýhoda spočívá ve vysoké produkci pevných částic oproti nepřímému vstřikování. Kromě toho jsou pevné částice z motorů s přímým vstřikem toxickejší než u vznětového motoru v důsledku jejich menší velikosti. Což je v dnešní době, kdy je kladen důraz na

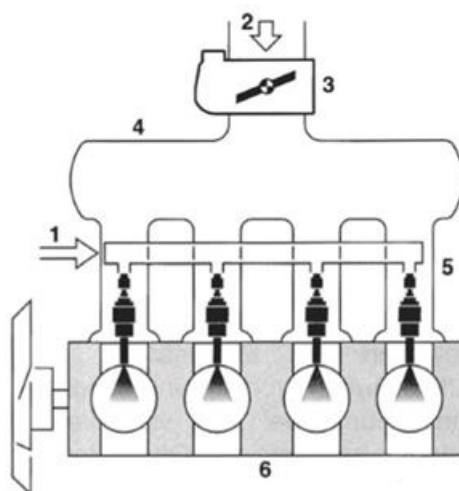
snížení produkce spalin u osobních automobilů, velice znepokojivé. První systém přímého vstřikování v hojně míře začala uplatňovat firma mitsubishi ve svých vozech a to od roku 1996 a systém se nazývá GDI (Gasoline Direct Injection). První evropský výrobce automobilů, který použil tento systém je firma Volkswagen a to systém FSI v roce 2000 ve svém voze VW lupu 1,4 FSI. Nyní se přímé vstřikování zavádí velmi prudce, je to z toho důvodu, že použitím přímého vstřikování lze dosáhnout nižší spotřeby v rozmezí 5-40% v závislosti na otáčkách a zatížení. Dříve bylo zavedení tohoto způsobu omezené nízkým výkonem při provozu motoru s vrstvenou směsí, nebo chybějící možnost katalyticky zpracovat emise NO_x v režimech s velmi chudou směsí. Po odstranění těchto problémů získalo přímé vstřikování dobré předpoklady pro široké využití v moderních zážehových motorech [22].

2.2.1.1 Funkce

Směs se zde vytváří přímo ve spalovacím prostoru, kdy je palivo vstříknuto přímo do válce a vzduch je přiveden skrze sání. Výkon motoru závisí na množství přiváděného paliva. Díky přímému vstřikování, kdy je palivo vstříknuto přímo do válce, se množství nasátého vzduchu mění jen sáním. Do nasátého vzduchu se tedy přidá tolik paliva, kolik je pro okamžitý výkon potřeba. Poměr vzduchu a paliva se bude ve spalovacím prostoru měnit, a aby nedocházelo při těchto změnách ke zhoršení spalovacího procesu, je potřeba udělat jistá opatření, aby proces probíhal co nejlépe. Opatření se dělí do několika druhů provozu, které umožní přizpůsobení spalovacího procesu provozním podmínkám motoru. Druhy provozu se přepínají bez skokové změny provozu, takže je řidič ani nezaznamená [3].

Velké množství proměnlivých řídicích veličin klade ve všech provozních podmínkách na vstřikovací systém velmi vysoké nároky. Mezi požadavky, které jsou na systém řízení motoru kladeny, patří zejména:

- určení potřebného vstřikovacího tlaku paliva,
- vyvinutí potřebného tlaku paliva,
- určení správného okamžiku vstřiku paliva,
- doprava paliva přímo a přesně do spalovacích prostorů motoru,
- velmi přesné odměření potřebného množství paliva, [3].

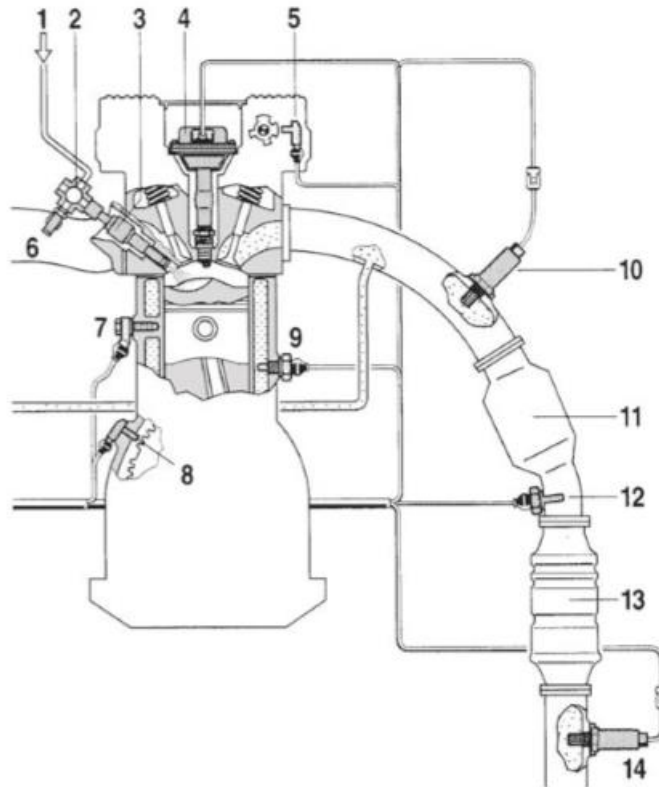


1 – palivo; 2 – vzduch; 3 – škrtkící klapka; 4 – sací potrubí; 5 vstřikovací ventily; 6 – motor.
Obr. 6 Přímé vstřikování benzínu [22]

2.2.2 Způsob činnosti přímého vstřikování

Palivo je vstřikováno do spalovacího prostoru pod vysokým tlakem. Jak již bylo zmíněno, směs se mísí až v samotném válci motoru podobně jako u naftového motoru. Systém je vybaven elektrickým palivovým čerpadlem, které pracuje s podávacím tlakem 0,3–0,5 MPa k vysokotlakému čerpadlu. Vysokotlaké čerpadlo pak podle režimu motoru vytváří systémový tlak, pod kterým pak palivo proudí do tlakového zásobníku (Canon Rail). Tento tlak se pohybuje mezi 5-12MPa. Na zásobníku jsou umístěny vysokotlaké vstřikovací ventily. Tyto ventily jsou řízeny řídicí jednotkou, která upravuje dobu vstřiku v závislosti na zatížení a otáčkách motoru. U provozu na etanol je nutné tuto dobu prodloužit v závislosti na poměru směsi etanol / benzín. Prodloužení se pohybuje v rozmezí 5 – 30%. Řídicí jednotka u vozů FFV (vozidla umožňující provoz na směs etanolu s benzínem) sama pozná jaký je poměr paliva a následně upraví dobu vstřiku [5].

Kontrolu složení směsi zabezpečují dvě lambda sondy, které jsou umístěné před katalyzátorem a za katalyzátorem. Ty mají za úkol regulovat provoz se součinitelem přebytku vzduchu $\lambda = 1$ (provoz s homogenní směsí) k provozu s chudou směsí $\lambda = 1,5$ až 3,0 (provoz s vrstvenou směsí) k provozu s bohatou směsí $\lambda = 0,8$ a k přesnému řízení regenerace katalyzátoru [22].



1 – přívod paliva (vysoký tlak); 2 – tlakový zásobník (rail); 3 – vstříkovač; 4 – zapalovací cívka s zapalovací svíčkou; 5 – fázový snímač; 6 – tlakový snímač; 7 – snímač klepání; 8 – snímač otáček; 9 – snímač teploty motoru; 10 – lambda sonda; 11 – trojcestný katalyzátor; 12 – snímač teploty výfukových plynů; 13 – NO_x katalyzátor; 14 – lambda sonda.

Obr. 7 Systém přímého vstříkovaní benzínu MED-Motronic (Bosch) [22].

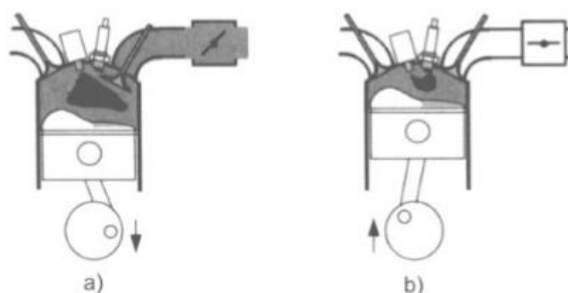
Poblíž motoru se nachází třicestný katalyzátor a poněkud dále ve výfukovém traktu je tzv. zásobníkový katalyzátor NO_x. V režimu motoru pracujícího s velkým přebytkem vzduchu (plnění vrstvené) je vytvářeno větší množství oxidů dusíku. Tyto škodlivé emise se shromažďují v druhém katalyzátoru. Ten je v podstatě zásobníkem NO_x. V režimu homogenního plnění motoru se nashromážděné oxidy dusíku redukují na neškodný dusík. Důležitý je zde snímač NO_x, který dodává celosvětově firma Bosch. Snímač má za úkol registrovat stav zásobníkového katalyzátoru, a když je plný oxidů dusíku, tak dá samočinně povel řídicí jednotce, aby změnila režim z chudého na homogenní plnění. To se odehrává zhruba každou minutu. Regenerace katalyzátoru (přepnutí režimu) proběhne asi za dvě sekundy. Síra, která je obsažená v palivu zanáší zásobníkový katalyzátor a tak snižuje jeho účinnost. K vyčištění katalyzátoru od síry je potřeba ho zahřát na teplotu min. 650°C. Když je

vozidlo používáno výhradně na krátké vzdálenosti, katalyzátor se nestihne ohřát na požadovanou teplotu a musí zasáhnout právě snímač NO_x a regenerace katalyzátoru pak proběhne změnou tvorby směsi na homogenní režim s hodnotou $\lambda < 1$ [22].

2.2.3 Vstřík a vrstvení směsi

Vrstvení směsi je děj, kdy se vstřík paliva provádí před koncem kompresního zdvihu pístu. Tryska vstřikuje palivo se sklonem paprsku vůči kolmé ose válce. Paprsek vstříkovaného paliva je směřován vybráním ve tvaru kolového vrchlíku na dně pístu ke svíčke zapalování. Je důležité dobře načasovat vstřík paliva a následný zážeh jiskrou, aby nedocházelo k detonačnímu klepání a bylo dosaženo maximálního využití energie paliva pro dané zatížení a otáčky. Toto vrstvení probíhá v oblasti otáček do cca 3000 min⁻¹ a při nižším točivém momentu [3].

Rovnoměrné složení směsi bude dosaženo vstříkem paliva během sacího zdvihu. Když se píst pohybuje k dolní úvratí, tak se palivo vstříkne do vzduchu nasávaného pohybem pístu. Sací ventily se uzavřou za dolní úvratí pístu. Směr proudění vzduchu s palivem v prohlubni ve dně pístu se změní tak, že bude pokračovat směrem k zapalovací svíčke. Tím je dosaženo vytvoření poměrně rovnoměrné směsi paliva. Zážeh směsi nemusí být synchronizován se vstříkem paliva [3].



a – homogenní (pro velké zatížení motoru, škrcení vzduchu, dřívější vstříkování během sání;
b – vrstvené (pro malé zatížení motoru, bez škrcení vzduchu vstříkování během komprese)

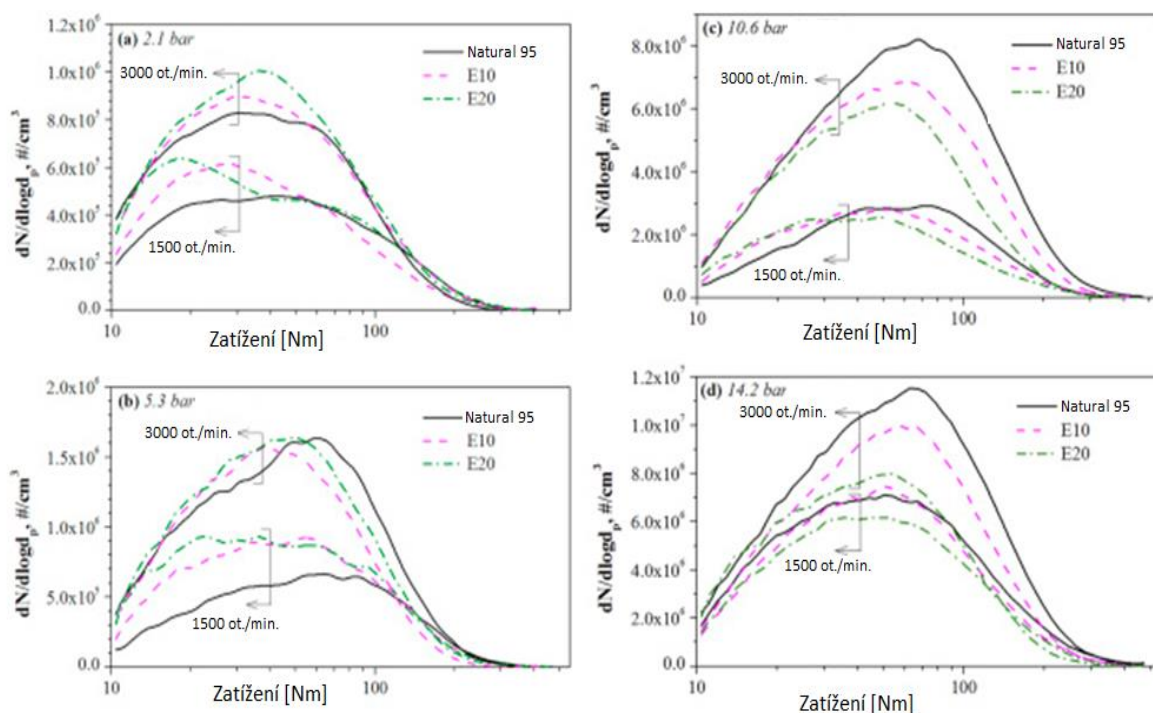
Obr. 8 Provoz motoru s homogenním, nebo vrstveným plněním [22].

2.2.4 Vliv etanolu na emise pevných částic motorů GDI

Charakteristiky emisí jsou spojeny s vlastnostmi paliva. Použití etanolu v motorech má většinou za následek snížení emisí ve výfukových plynech. Nicméně pro GDI motory jsou výsledky odlišné. Například někteří výzkumníci [28] zjistili, že přidání etanolu do paliva snižuje emise pevných částic, zatímco [27] dosáhli jiných závěrů. Wang a spol. [27] zjistil, že přídavek etanolu zvyšuje emise pevných částic. Experiment byl prováděn při nízkých otáčkách a nízkém zatížení (1500 ot./min). Zatímco experimenty prováděné Zhang a spol. [28] při nízkých otáčkách a vysokém zatížení (2000 ot./min a 210Nm) ukázaly, že při použití paliv E10 (10 % etanolu) a E20 (20 % etanolu) se výrazně sníží emise pevných částic. Z chemického hlediska je přídavek etanolu do benzínu vhodný z hlediska snižování emisí, protože to může bránit tvorbě polycyklických nasycených uhlovodíků. Nicméně ve fyzickém aspektu má etanol vyšší výparné teplo a nižší tlak par v porovnání s benzínem a proto by se směs etanolu s benzínem mohla odpařovat pomaleji a tím pádem vést k heterogenní směsi paliva se vzduchem, která má tendenci zvyšovat emise pevných částic [26].

Z důvodu těchto rozdílů byla provedena studie viz [26], jejíž cílem je jasně prezentovat účinky etanolu na emise pevných částic v závislosti na provozních podmínkách. Studie hodnotila paliva motorový benzín, E10 a E20 (kde čísla za písmenem „E“ udávají procentní zastoupení etanolu v motorovém benzínu), paliva byla zkoušena pro otáčky 1500 ot./min a 3000 ot./min a efektivní tlaky 2,1 bar, 5,3 bar 10,6 bar a 14,2 bar. Měnilo se zatížení. Použit byl přeplňovaný motor 2.0 GDI. Studie ukázala, že produkce pevných částic motoru při použití směsi etanolu s benzínem do 20 % obsahu etanolu se výrazně mění se zatížením. Kdy při nízkém zatížení je evidována vysoká produkce pevných částic. Pokud jsou otáčky motoru nižší než 1500 ot./min a střední efektivní tlak je nižší než 5 bar, vykazuje palivo E10 přibližně o 70 % vyšší koncentraci pevných částic. Při otáčkách 2500 ot./min a středním efektivním tlaku 4 MPa je nárůst dokonce vyšší o 100 %. Je to dáno tím, že při nízkém zatížení je tlak vstřikování paliva nízký a intenzita turbulencí ve válcích při nízkých otáčkách motoru je také nízká. Tím pádem se zhorší rozprášení a odpaření při použití etanolu, protože etanol v benzínu, jak už bylo řečeno, zvyšuje odpařovací teplotu paliva a změní tím tlak par. Distribuce palivových par kolem trysky se podstatně mění v důsledku nižší rychlosti odpařování etanolu, směs vzduchu a paliva se tedy stane lokálně heterogenní, což má za

následek zvýšení koncentrace pevných částic pro použití E10 a E20. Ve vysokorychlostní a vysokotlaké oblasti zatížení je celková koncentrace pevných částic nižší pro etanolové směsi, než pro samotný benzín. Je to dáno tím, že v tomto provozním stavu se chemické vlastnosti etanolu stanou dominantní. V tomto režimu se palivo vstřikuje pod větším tlakem a turbulentní proudění eliminuje negativní vlastnosti směsi. Místo toho má etanol dobrý vliv na rozklad n-alkanů a aromátů, které mají velký potenciál k tvoření pevných částic.



Obr. 9 produkce pevných částic [26].

2.3 Vázání vody směsi etanolu s benzínem a její nestálost

Některé vlastnosti etanolu se výrazně liší od benzínu. Etanol má vysokou afinitu k vodě a jeho schopnost vázat vodu je jednou z jeho negativních vlastností. Etanol je dokonale mísitelný s vodou a tvoří s ní azeotropickou směs. Negativní vlastnost je to proto, že voda v palivu může způsobovat korozi kovových materiálů v motoru a palivovém systému. Voda v palivu může také způsobovat nepravidelný chod motoru, jelikož nebude dodržen součinitel přebytku vzduchu λ a motor bude pracovat s chudou směsí. U vozidel s řízeným vstřikem paliva řídicí jednotka pozná, že motor pracuje s příliš velkým přebytkem vzduchu a přidá dávku paliva. Nicméně u motorů s karburací to může mít za následek cukání a nepravidelný

chod motoru. Vysoká rozpustnost vody ve směsi etanol – benzín je ovlivněna také polárním charakterem etanolu a jeho schopností vytvářet vodíkové můstky. Etanol by se do benzínu měl přidávat zbaven vody, nicméně etanol je silně hygroscopický a proto snadno dokáže vázat vodu ze vzdušné vlhkosti. Může k tomu docházet například během denního větrání skladovacích nádrží. Rozpustnost vody v palivu etanol – benzínu je ve velké míře ovlivněna teplotou, ale také obsahem etanolu, složením uhlovodíků benzínu (důležitý je zde obsah aromatických látek nebo alkenů) a obsah dalších oxygenátů (aditiva působící proti korozi) [15].

Vyšší rozpustnost etanolu ve vodě může být ale i velmi příznivá a žádoucí a to například jako prevence zamrznutí palivového systému (v čistém benzínu se na dně nádrže může vytvářet vrstva vody, která má pak tendenci mrznout). Schopnost udržovat vodu v rozpustném stavu je silně ovlivněna teplotou, když teplota paliva klesne pod určitou úroveň, tak to má za následek oddělení vodní fáze od benzínu. Na tuto vodní fázi se pak přenáší hlavní část etanolu z palivové směsi. To má za následek značné zhoršení kvality benzínu, z toho důvodu, že část obsahu kyslíku zmizí, klesne oktanové číslo a klesá těkavost. Extrakce etanolu do vodní vrstvy je obvykle nevratný proces, protože rozpuštění extrakce a vody zpět do uhlovodíků benzínu by došlo pouze za zcela mimořádných podmínek [15].

Další nevýhodou etanolu je tvorba azeotropu s nižší teplotou varu. Azeotrop je směs dvou nebo více látek, kterou nelze rozdělit na její jednotlivé složky. Teplota varu azeotropu etanolu a uhlovodíků benzínu se pohybuje v rozmezí 30°C až 120°C a to se také následně projeví ve vyšší těkavosti směsi benzínu s etanolem. Vyšší těkavost této směsi má pak za následek vyšší tlak par a vzhledem k tomu, že tlak par etanolu je velmi nízký, tak má tvorba azeotropů zásadní vliv na konečnou nestálost etanol - benzinových směsí. Může pak nastat problém při smíchání dvou benzinů s různým obsahem etanolu. Například je-li smíchán samotný benzín s tlakem par 62 kPa a benzín s podílem 10 % objemových etanolu, výsledná směs bude mít vyšší tlak par, než byl počáteční tlak benzínu. Zvýšení hodnoty tlaku par je dáno poměrem dvou benzinových směsí s různým obsahem etanolu. Klasický standardizovaný parametr pojednávající o nestálosti paliv je tlak par podle Reida (RVP). RVP je hodnota, která by měla být dostatečně vysoká, aby motor startoval bez problémů i při nízkých teplotách. Zároveň by ale neměla přesáhnout určitou mez, aby byly zaručeny minimální ztráty odpařováním během čerpání. Automobilový benzín distribuovaný v České

republiky musí splňovat požadavky evropské normy EN 228, která uvádí RVP v rozmezí 45 – 60 kPa v zimě a 60 – 90 kPa v létě [15].

Na základě výše uvedených skutečností je třeba, aby se zabránilo benzinovým směsím s obsahem etanolu kontaktu s vlhkým vzduchem během skladování a distribuce. Také je potřeba respektovat odlišný tlak par při míchání paliv o různém podílu etanolu [15].

2.4 Usazování etanolu v motoru

V průběhu procesu spalování ve válcích zážehového motoru se tvoří usazeniny. Tyto usazeniny se částečně tvoří spalováním paliva a to v důsledku termo-oxidační degradace mezi válcem, pístními kroužky a mazacím olejem. Byla již provedena řada výzkumů zkoumající vztah mezi vlastnostmi benzínu, jeho chemickým složením a jejich vlivem na vznik usazenin ve spalovacím prostoru. Byla také provedena řada pokusů o vytvoření matematického modelu, který popisuje tvorbu usazenin v průběhu spalování benzínu. Například studie [9] naznačuje, že předpoklady pro vznik usazenin ve válci spalovacího motoru mají určité složky benzínu (například aromatické uhlovodíky vroucí při vyšších teplotách motorového oleje, a také složky a přísady pro vylepšení vlastností). Etanol má velký vliv také na usazování pevných částic ve válci a tím pádem také na následnou kvalitu oleje. Byla provedena studie [12], která zkoumá vliv etanolu právě na vznik usazenin ve spalovacím prostoru a na vliv aditiv na zmírnění tohoto jevu. Tato práce prezentuje výsledky výzkumu sklonu směsi E10 (10% etanol 90% benzín) vytvářet usazeniny. Tato směs je definovaná v ČSN EN 228 jako benzín s maximálním obsahem kyslíku 3,7 hm %. Za pomoci termografie TGA FLTM BZ-154-01. Cílem této práce bylo zkoumat vzorky bezolovnatého benzínu smíchaného s etanolem a nebo ETBE a vlivu různých aditiv na snížení vzniku usazenin. Jasně rozdílly byly nalezeny v tom, jaký vliv může mít přítomnost různých oxidačních katalyzátorů na účinnost termogravimetrickému rozkladu pryžových materiálů. V závěru tohoto výzkumu byl stanoven vliv obsahu etanolu na snížení tloušťky usazenin ve spalovacích komorách motoru. Etanol byl zvyšován až do obsahu 10 % obj. (E 10). Snížení sklonu benzínu ke vzniku usazenin v sacím systému a spalovací komoře motoru může být dosaženo zavedením vhodných čistících přísad. Zavedení nových přísad pro benzín je složité, protože by to muselo být v kombinaci s technologickými změnami v procesu výroby palivových složek. A je třeba vzít v úvahu vyvážení těchto komponent z hlediska výkonu a spotřeby

motoru. Úkolem takových aditiv je udržení čistoty sání a válce, mají také zabraňovat vzniku koroze v určitých částech motoru, což je důležité v případě užití etanolu v motorovém palivu [12].

Výsledky získané pomocí termogravimetrické analýzy studie [12] ukázaly, že přítomností aditiva v etanolu v E10 se výrazně zlepšil vliv paliva na rozklad gum v palivovém systému. Přítomnost ETBE v E10 má rovněž lepší vliv na rozklad gum ve srovnání s palivem obsahujícím pouze etanol. Nejlepší vliv na průběh výkonové křivky vykazují látky obsahující imido-amidu polybutylen-sukcinát). Výsledky výzkumu také potvrzují, že výběr dobrého typu aditiva a dodržení správné dávky zlepšuje vliv etanolu, nebo ETBE na vznik usazenin [12].

2.5 Vliv na korozi

Vzhledem k tomu, že paliva jsou v kontaktu s kovovými materiály v palivové soustavě. Může docházet ke korozi jednotlivých dílů. Palivové systémy zážehových motorů jsou ale navrhovány výhradně na používání benzínu o různých oktanových číslech. Benzín ale není tak náchylný na vázání vody jako etanol a navíc etanol má jiné chemické složení a tím pádem může docházet ke korozi určitých kovových materiálů v palivovém systému.

S ohledem na rostoucí používání biopaliv a na příchod tzn. flex technologie se provádí řada výzkumů, zkoumající vliv biopaliv na materiály používané v palivových systémech vozidel. Např. studie: [6], jejíž výsledky jsou sepsány v další kapitole, zkoumá hlavně korozi ventilů, což je nejnáchylnější díl na korozi v zážehovém motoru [8]

2.5.1 Koroze ventilů

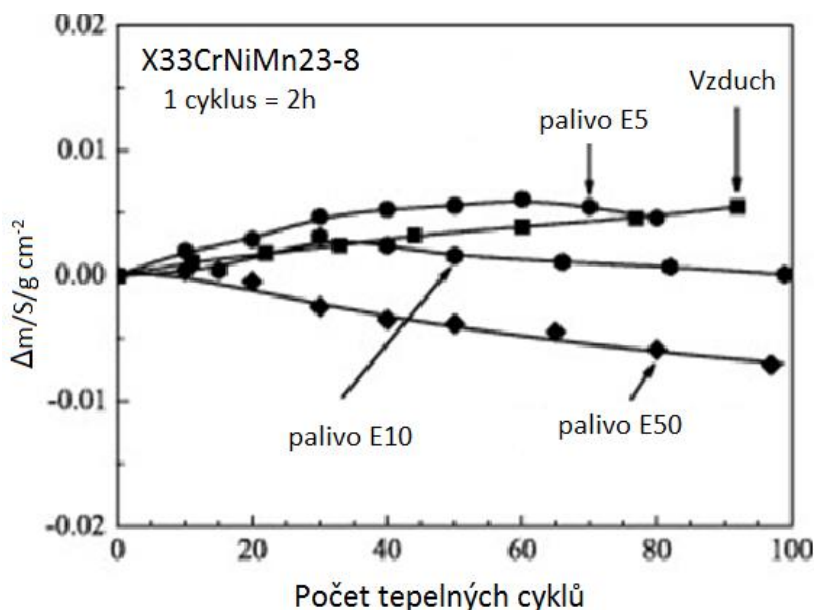
Ventily motoru automobilu jsou vystaveny náročným podmínkám v důsledku vysoké teploty (600 až 900°C) a to zejména vlivem její rychlé změny a také vlivem tepelných cyklů a tepelných šoků. Vysoká tepelná pnutí jsou vyvíjena v důsledku rozdílných koeficientů tepelné roztažnosti obou materiálů. V důsledku opakovaného ochlazování a ohřevu motoru automobilu může docházet k odlupování materiálu z povrchu ventilu a tím se výrazně snižuje odolnost vůči korozi daného materiálu [8].

V posledních několika letech, kdy se biopaliva začala využívat ve velkém měřítku, problémy s korozi ventilů výrazně vzrostly v důsledku využití biosložky. Bohužel kromě důležitých kvalit biopaliva vykazují řadu nevýhod a omezení. Jeden z hlavních důvodů omezení plyne ze zvýšené koroze automobilových motorů a to zejména výfukových ventilů, které jsou vystaveny vysoce agresivním plynům, které vznikají při spalování biopaliv. Na snižování odolnosti ventilů proti korozi vlivem biopaliv byla vedena studie týmem vědců Z. Grzesik a spol., kteří tento problém publikovali v knize Corrosion Science. Bylo zkoumáno chování čtyř austenitických chrom-niklových ocelí, které se skutečně používají pro výrobu ventilů v automobilových motorech. Byly studovány v čistě oxidačních atmosférách stejně jako v reálném spalovacím plynu paliva. Během posledních 10 let koncentrace etanolu v benzínu vzrostla na 5 % hmotnostních. Bylo také rozhodnuto, že v roce 2020 se tato koncentrace zvýší až na 10 % hmot. To je hlavní důvod vzniku této studie, jeho cíl je tedy vysvětlení korozních mechanismů ventilových ocelí ve spalinách benzínu o různém obsahu bioložky [8].

Vzorky pro korozní pokusy byly získány z ocelí o průměru 20mm a tloušťce 1mm. Materiály: X33CrNiMn23-8, X50CrMnNiNbN21-9, X53CrMnNiN20-8, X55CrMnNiN20-8. Tyto vzorky byly obroušeny smirkovým papírem a nakonec se vyleštily pomocí diamantových past pro získání zrcadlového povrchu. Korozní zkoušky spočívali v zahřátí materiálu na teplotu 900°C během 1 minuty a následné ochlazení na pokojovou teplotu trvající zhruba 2 minuty. Byly také zváženy před a po pokusu. Tyto experimenty byly prováděny ve třech atmosférách spalin s různým obsahem přidaného etanolu (5 %, 10 % a 50 %). Ztráta hmoty a míra korozního pokroku byla vypočtena pro každý teplotní cyklus z rozdílu hmotnosti vzorku před a po kroku zahřívání. Tyto výsledky byly vyneseny do grafu jako funkce řady tepelných cyklů. Postupná ztráta hmotnosti vzorku se po sobě následujících tepelných cyklech nechá zobrazit v obrázku 10. To znamená, že čím vyšší materiálové ztráty vzorku, tím horší je přilnavost a tím i ochranné vlastnosti povrchu. Na druhou stranu, pokud jsou pozorovány jen malé změny hmotnosti při provedení velkého počtu cyklů, tak to znamená, že je materiál odolnější vůči korozi při vysokých teplotách [8].

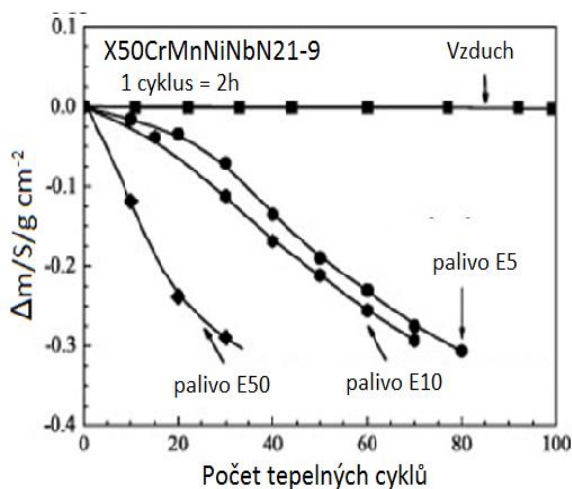
Obr. 10 Ukazuje výsledky experimentů energetických cyklů pro ocel s nejvyšším obsahem chromu X33CrNiMn23-8 ve třech různých prostředích (5 %, 10 % a 50 % podílu etanolu v benzínu, dále jen E5, E10 a E50). Z diagramu vyplývá, že ocel X33CrNiMn23-8 po

100 tepelných cyklech měla minimální úbytek hmotnosti vlivem koroze a to méně jak 0,01 g/cm². Je zde také vidět, že vliv etanolu sice podporuje korozi, ale není to příliš velký rozdíl.

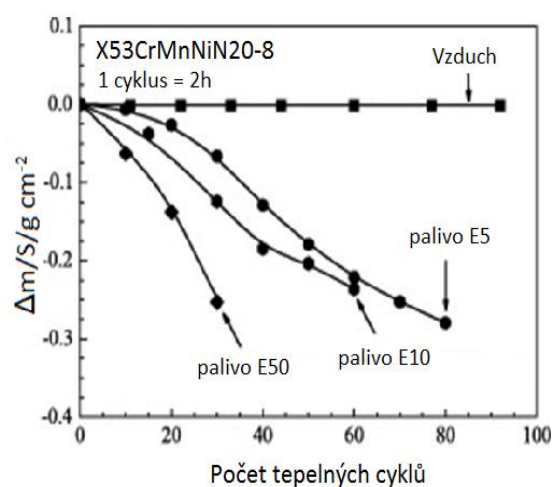


Obr. 10 Výsledky experimentu pro materiál X33CrNiMn23-8 [8]

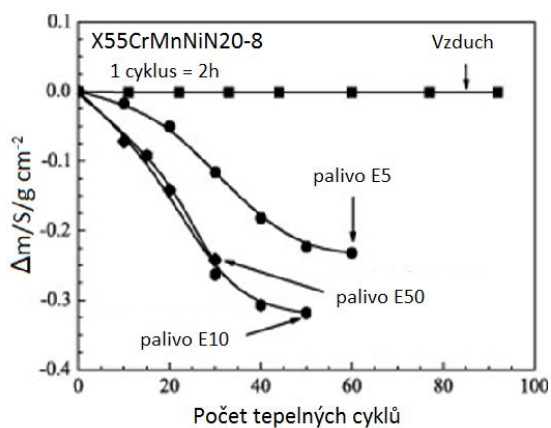
Situace se ale zásadně liší v případě tří zbývajících ocelí a to: X50CrMnNiNbN21-9, X53CrMnNiN20-8, X55CrMnNiN20-8 s nižším obsahem chrómu znázorněných v diagramech 2., 3., 4., Z těchto grafů jasně vyplývá, že rychlost degradace těchto ocelí probíhá mnohem rychleji, než u oceli X33CrNiMn23-8 s velmi vysokým obsahem chrómu. Ve skutečnosti jsou tyto tři oceli zničeny po 40 – 80 tepelných cyklech. Z diagramu je také jasně viditelné, že čím je větší koncentrace etanolu v benzínu, tím jsou vyšší hmotnostní ztráty zkorodovaných vzorků, s ohledem na počet provedených cyklů toto poškození roste. Obr. 14 nám zobrazuje právě dané vzorky pro různé obsahy etanolu. Jak je možno vidět, negativní vliv etanolu je jasně sledovatelný. Z obr. 14. je také zřetelný rozdíl mezi korozi v prostředí vzduchu a v prostředí výfukových plynů. Další zvyšování koncentrace etanolu v palivu a to až do výše 50 % a více může způsobit velké problémy v dlouhodobé životnosti motoru. Nicméně v případě oceli X33CrNiMn23-8 není stupeň degradace materiálu příliš viditelný. U ostatních tří ocelí je degradace materiálu znatelná na první pohled, v některých případech klesla hmotnost vzorku více jak o polovinu. Největší úbytek hmotnosti byl zaznamenán v případě oceli X55CrMnNiN20-8 v atmosféře výfukových plynů z paliva o 50 % etanolu [8].



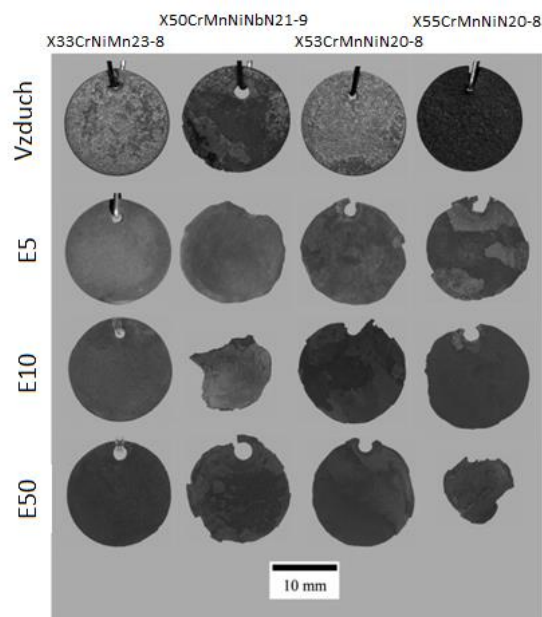
Obr. 11 Mat. X50CrMnNiNbN21-9 [8]



Obr. 12 Mat. X53CrMnNiN20-8 [8]



Obr. 13 Mat. X55CrMnNiN20-8 [8]



Obr. 14 Rozsah koroze vzorků [8]

Výsledky této studie [8] jasně ukazují, že odolnost proti korozi z ocelí podle vyšetřování závisí především na koncentraci chrómu ve slitině. Ocel X33CrNiMn23-8 má výrazně lepší odolnost vůči korozi, než ostatní materiály jak v atmosféře vzduchu, tak v atmosféře výfukových plynů všech testovaných paliv. Tento rozdíl vyplývá ze skutečnosti, že koncentrace chrómu v oceli X33CrNiMn23-8 je vyšší než koncentrace chrómu v ostatních ocelích a je tedy dostatečně vysoký pro dobrou odolnost proti korozi. Nutno zdůraznit, že

velice pozitivní vliv na odolnost proti korozi v atmosféře výfukových plynů etanolu s benzínem hraje také vysoká koncentrace niklu v této oceli, který je vyšší než 7 % hmotnosti. Naopak koncentrace manganu v této oceli je nízká. Naproti tomu u zbývajících třech ocelí je koncentrace niklu poměrně nízká (okolo 2,3 – 4,1 hm. %) a koncentrace manganu naopak vysoká. Porovnání rozdílů v rozsahu koroze a obsahu jednotlivých prvků ukazuje, že hlavní vliv na tyto rozdíly hrají následující tři kovy a to Cr, Ni a Mn. Kde vysoká koncentrace manganu korozi podporuje. Zbývajících legujících prvky, které jsou méně zastoupené, nemají příliš velký vliv na velikost koroze. Je také zcela jasné, že při použití etanolu jako paliva se výrazně zvyšuje koroze ventilů se zvyšující se koncentrací etanolu v benzínu. Jsou tedy oceli, které dokážou odolávat nepříznivým podmínkám atmosféry výfukových plynů tohoto paliva, důležitý je vysoký obsah chromu, niklu a nízká koncentrace manganu. Oceli, které toto složení nevykazují, tak nejsou vhodné na použití v motorech pracujících se směsí automobilového benzínu a etanolu [8].

2.6 Vliv butanolu na spalovací proces

Na výhody a nevýhody etanolu a na jeho vliv na spalovací proces bylo již zveřejněno mnoho publikací. Nicméně studií zkoumajících vliv butanolu na spalovací proces a zážehové motoru je výrazně méně. V lednu roku 2016 byla provedena zajímavá studie [7] zkoumající právě vliv butanolu na spalovací proces u přeplňovaných zážehových motorů, které v dnešní době svou produkcí začínají vytlačovat motory atmosférické. Děje se tak díky trendu snižování objemu (tzn. downsizing) a tím i snižování emisí výfukových plynů při určitých jízdních režimech. Proto je žádoucí dělat pokusy právě na těchto přeplňovaných motorech, protože tímto směrem nyní automobilový trh směřuje [7].

Studie [7] byla zaměřena na posouzení hlavních rozdílů mezi jednotlivými palivy z hlediska výkonu, točivého momentu, tepelné účinnosti, délky spalování a optimálního načasování zážehu. Byla zkoumána paliva obsahující 20% a 40% butanolu ve směsi butanol – benzín a také čistý benzín. Testy byly prováděny pro nízkou až střední rychlost a pro nízké a střední zatížení motoru. Byl také měněn koeficient přebytku vzduchu λ a to mezi hodnotami 0,83 až 1,25. Výsledky získané touto studií naznačují, že s rostoucím obsahem butanolu v motorovém benzínu nám klesá točivý moment a tepelná účinnost o zhruba 4%. Nicméně je třeba podotknout, že butanol zvyšuje rychlost hoření chudých směsí a zajímavé zjištění je, že

při použití butanolu v přeplňovaném zážehovém motoru není třeba upravovat řídicí jednotku a měnit tak dobu vstřiku a velikost vstříknuté dávky. S klesající tepelnou účinností a točivým momentem je také spojený mírný nárůst spotřeby paliva. Důležité je také zmínit údaje o produkci emisí. Emise CO vykazovali velice podobné hodnoty jak pro čistý benzín, tak pro měřené směsi, ale emise HC a NO_x byly ve prospěch směsi butanol – benzín, zatímco emise CO₂ vykazovaly mírné zvýšení [7].

Tato studie jasně naznačila, že je butanol dobrá alternativa pro použití v zážehových motorech. To proto, že se plynné emise nezhoršují, výkon motoru se také nemění nijak výrazně, a do obsahu 40% butanolu v motorovém benzínu není třeba upravovat proces spalování [7].

2.7 Rozdíly v hoření etanolu a butanolu ve spalovacím prostoru

Jak již bylo naznačeno tak největší ekologický a ekonomický potenciál biopaliv je v alkoholových palivech a to konkrétně v etanolu a butanolu. Etanol se již řadu let aktivně využívá a je v nabídce čerpacích stanic po celém světě. Nicméně bylo zjištěno, že butanol má teoreticky lepší vlastnosti pro použití v zážehovém spalovacím motoru. Z toho důvodu byla již provedena řada studií porovnávajících tyto 2 paliva. Například studie [14] se zabývala přímo spalovacím procesem a rychlostí plamene ve spalovacím prostoru při použití etanolu a butanolu. Paliva byla hodnocena v jednom válci s přístupem pro optické měření. Při měření byl zachován stechiometrický poměr λ a motor byl provozován při částečném zatížení. Ve válci byl také měřen tlak pro pochopení vlivu nízkého a vysokého obsahu uhlíku v alkoholových palivech na turbulentní proudění plamene. Výsledky této studie naznačily, že směs butanolu vykazuje podobné vlastnosti jako směs etanolu pokud jde o trvání spalování, průběhu tlaku a vývoje poloměru plamene [14].

Dále pak studie Yacoub et al. [25] zkoumala použití alkohol-benzínových paliv, v jednoválcovém motoru a ukázala, že vyšší koncentrace oxidů v alkoholovém palivu vykazuje vyšší odolnost vůči klepání, než čistý benzín, což je dáno také vyšším oktanovým číslem. Ukázala také, že emise aldehydů jsou u alkoholů mnohem vyšší, než u benzínu. V jiné studii [11] kde byl sledován rozdíl mezi palivem E25, But25 a čistém izooktanu

v jednoválcovém motoru s optickým měřením plamene, nebyl nalezen žádný významný rozdíl v šíření a velikosti plamene u těchto tří paliv [14].

Závěr

V rámci práce bylo zanalyzováno několik zahraničních a českých výzkumů týkajících se tématu biopaliv a jejich použití v zážehových motorech. Důraz byl kladen zejména na alkoholová paliva a hlavně tedy na etanol a butanol. Etanol byl zkoumán hlavně z toho důvodu, že je dnes nejpoužívanějším biopalivem pro zážehové spalovací motory. Butanol byl zkoumán kvůli jeho dobrým palivářským vlastnostem.

Etanol má výhodu v poměrně vysokém oktanovém čísle v porovnání s benzínem, což má za následek dobrou odolnost vůči klepání, ale díky nižší výhřevnosti způsobuje zvýšení spotřeby o 10% - 15% i při úpravách řídicí jednotky. Jeho další neduh spočívá ve vázání vody, což má za následek zvýšenou korozi ventilů a jiných kovových částí palivového systému. U některých kovů používaných pro ventily motoru může být koroze velice destruktivní a po několika cyklech dochází k úplnému zkorodování ventilu. Jiné materiály odolávají lépe, nicméně je tu také vidět rozdíl mezi čistým benzínem a etanolem s benzínem, který jasně hovoří v neprospěch etanolu. Další nevýhoda etanolu může spočívat v jeho agresivitě a schopnosti rozkládat pryžové materiály palivového systému, nicméně moderní automobily mají již části palivového systému z kvalitních pryžových materiálů, které tento problém eliminují. V neposlední řadě je zajímavý fakt, že při použití etanolu v zážehovém motoru s přímým vstřikem dochází k výraznému zvýšení emisí pevných částic. Což může mít za následek častější regenerace filtru pevných částic a zkrácení jeho životnosti. Směs etanolu a benzínu také vykazuje vyšší tvorbu usazenin v sacím potrubí a válci motoru než je tomu u čistého benzínu, tento jev lze eliminovat použitím vhodných aditiv.

Butanol se v porovnání s etanolem vyznačuje nižší odpařitelností a lepší výhřevností. Výhřevnost ale stále nedosahuje energetického potenciálu benzínu. Nicméně použití směsi butanolu s benzínem by mělo znamenat snížení spotřeby v porovnání se směsí etanolu s benzínem. Butanol se vyznačuje podobnými vlastnostmi jako benzín, takže při jízdě na směs butanolu s benzínem není potřeba zasahovat do řídicí jednotky automobilu. Butanol vykazuje lepší odolnost vůči klepání než je tomu u benzínu a také nepatrně lepší, než je tomu u etanolu. Průběh hoření etanolu a butanolu se příliš neliší. Zdá se, že butanol může být lepší alternativou pro pohon zážehových motorů.

Přestavba vozu na etanol není nákladná. Nicméně při aktuálních cenách pohonných hmot se z ekonomických důvodů nevyplatí přestavbu provádět. Rozdíl v ceně benzínu a etanolu E85 je velice malý. Některé benzínové stanice také stahují E85 ze svých stojanů pro nízký zájem zákazníků. Lze předpokládat, že pokud se zvýší cena ropy, státem dotovaný etanol E85 se opět začne vracet na stojany benzínových pump. Palivo E85 se stává výhodným, pokud se dostane pod 80 % ceny benzínu. Při provozu na etanol je ale třeba omezit kontakt paliva se vzduchem, jelikož etanol je schopný vázat vodu ze vzdušné vlhkosti. Voda v palivu má pak za následek korozi kovů v palivovém systému a v motoru automobilu. Nejnáchylnější část motoru jsou ventily, na což je třeba brát zřetel při provozu na etanol.

Použitá literatura

- [1] Biometan jako palivo budoucnosti? *Česká bioplynová asociace* [online]. [cit. 2015-12-28]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/aktuality/biometan-jako-palivo-budoucnosti.html>
- [2] *Ethanol-Blended Fuels: A Study Guide* [online]. [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: http://www.nrel.gov/education/pdfs/educational_resources/high_school/teachers_guide_ethanol.pdf
- [3] FERENC, B. *Spalovací motory– karburátory a vstřikování paliva*. 1. vydání. Praha: Comuter Press 2014. 388 s. ISBN 80-251-0207-6
- [4] HÖNIG, Vladimír. *Biopaliva II. generace*. Paliva a maziva. ČZU, [cit. 20.3.2016]. Dostupné z: <http://oppa-smad.tf.czu.cz/?q=pm>
- [5] HROMÁDKO, J., HROMÁDKO, J., HÖNIG, V., MILER, P. *Spalovací motory*. 1. vydání. Praha: Garda 2011. 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [6] HROMÁDKO J., HROMÁDKO J., MILER P., HÖNIG V., ŠTĚRBA P.: *Výroba bioetanolu*, Listy cukrovarnické a řepařské, 2010, roč. 126, č. 7/8, s. 267-271. ISSN 1210-3306.
- [7] GALLONI, E., G. FONTANA, S. STACCONE a F. SCALA. Performance analyses of a spark-ignition engine firing with gasoline–butanol blends at partial load operation. *Energy Conversion and Management* [online]. **2016**(110), 319-326 [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0196890415011413>
- [8] Grzesik Z., Smola G., Adamaszek K., Jurasz Z., Mrowec S.. High temperature corrosion of valve steels in combustion gases of petrol containing ethanol addition. *Corrosion Science* [online]. **2013**(77), 369 - 374 [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0010938X13003971>
- [9] Kalghatgi G, Sutkowski A, Pace S, Schwahn H, et al. ASTM unwashed gum and the propensity of a fuel to form combustion chamber deposits. *SAE technical paper 2000-01-2026*; 2000. Dostupné z: <http://dx.doi.org.infozdroje.czu.cz/10.4271/2000-01-2026>.

- [10] Kratochvílová Z., Habart J., Sladký V., Jelínek F., Rosenberg T., Strupavský V., Dvořáček T.: *Průvodce výrobou a využitím bioplynu*. 1. vydání. CZ Biom - České sdružení pro biomasu., 2009. 160 s.
- [11] Malcolm JS, Aleiferis PG, Todd AR, Cairns A, et al. A study of alcohol blended fuels in a new optical spark-ignition engine. IMechE performance, fuel economy and emissions conference, London; 2007. [SD-008]
- [12] Martynika Pałuchowska, Łukasz Jęczmionek. Impact of the content of ETBE, EtOH and polybutylene-succinate additives on the propensity of E10 petrol to form deposits in combustion chambers. *Fuel*. [online]. 2015(162), 34 - 38 [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0016236115008650>
- [13] MIKULE, Luděk. *Bioethanol jako palivo ve spalovacích motorech* [online]. Praha, 2011 [cit. 2016-02-29]. Bakalářská práce. ČZU.
- [14] MOXEY, Ben G., Alasdair CAIRNS a Hua ZAO. A comparison of butanol and ethanol flame development in an optical spark ignition engine. *Fuel* [online]. 2016(170), 27-38 [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0016236115012612>
- [15] MUŽÍKOVÁ, Zlata, Milan POSPÍŠIL a Gustav ŠEBOR. Volatility and phase stability of petrol blends with ethanol. *Fuel* [online]. 2009(88), 1351-1356 [cit. 2016-03-01].
- [16] Použití bioplynu v dopravě. *Bioplynové stanice* [online]. Enviton, 2008 [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/technologie-bps/>
- [17] Sánchez O. J., Cardona C. A.: Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource Technol.*, 99, 2008, s. 5270–5295.
- [18] SLADKÝ, Václav: Biobutanol – vhodnější náhrada benzínu. *Biom.cz* [online]. 2007-07-04 [cit. 2016-02-29]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biobutanol-vhodnejsi-nahrada-benzinu>>. ISSN: 1801-2655.

- [19] Technologie bioplynových stanic. *Bioplynové stanice* [online]. Enviton, 2008 [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/technologie-bps/>
- [20] Úprava bioplynu na biomethan *VŠCHT* [online]. 2013 [cit. 2015-12.29] Dostupné z: <http://old.vscht.cz/document.php?docId=9835>
- [21] VÍTKOVÁ, Eva. Biometan jako palivo budoucnosti. In: *Česká bioplynová asociace* [online]. 2014 [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/aktuality/biometan-jako-palivo-budoucnosti.html>
- [22] VLK, F. *Alternativní pohony motorových vozidel*. 1. vydání. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2004. 234 s. ISBN 80-239-1602-5.
- [23] VLK, F. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vydání. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2003. 580 s. ISBN 80-238-8756-4
- [24] VOŠAHLÍKOVÁ, Miluše, Kateřina DEMNEROVÁ a Jarmila PAZLAROVÁ. Je náhrada ETBE za MTBE výhrou? *Chemické listy* [online]. 2008(102), 102-107 [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2008_02_102-107.pdf
- [25] Yacoub Y, Bata R, Gautam M. The performance and emissions characteristics of C1–C5 alcohol–gasoline blends with matched oxygen content in a single-cylinder spark ignition engine. In: *Proc inst mech engrs*, vol. 212, Part A; 1998.
- [26] Yueqi Luo, Lei Zhu, Junhua Fang, Zhuyue Zhuang, Chun Guan, Chen Xia, Xiaomin Xie, Zhen Huang *Size distribution, chemical composition and oxidation reactivity of particulate matter from gasoline direct injection (GDI) engine fueled with ethanol-gasoline fuel*, výzkum 2015
- [27] Wang C., Xu H., Herreros J.M., Wang J., Cracknell R. *Impact of fuel and injection system on particle emissions from a GDI engine* *Appl. Energy*, 132 (2014), pp. 178–191
- [28] Zhang Z., Wang T., Jia M., Wei Q., Meng X., Shu G. *Combustion and particle number emissions of a direct injection spark ignition engine operating on ethanol/gasoline and n-butanol/gasoline blends with exhaust gas recirculation* *Fuel*, 130 (2014), pp. 177–188

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 Proces výroby bioplynu

Obr. 2 Získání energie z rostlin

Obr. 3 Čištění bioplynu

Obr. 4 Blokové schéma výroby bioetanolu z obilovin

Obr. 5 Míra odpařitelnosti

Obr. 6 Přímé vstřikování benzínu

Obr. 7 Systém přímého vstřikování benzínu

Obr. 8 Provoz motoru s homogenním, nebo vrstveným plněním

Obr. 9 produkce pevných částic

Obr. 10 Výsledky experimentu pro materiál X33CrNiMn23-8

Obr. 11 Mat. X50CrMnNiNbN21-9

Obr. 12 Mat. X53CrMnNiN20-8

Obr. 13 Mat. X55CrMnNiN20-8

Obr. 14 Rozsah koroze vzorků

Tabulky

Tab. 1 Produkční potenciál výrob bioetanolu pro různé suroviny

Tab. 2 Přehled chemických a fyzikálních vlastností aditiv pohonných hmot měřených při 25°C