



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

VYUŽITÍ BIOPLYNU V DOPRAVĚ

UTILIZATION OF BIOGAS IN TRANSPORT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bronislav Strnadel

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Vopařil

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Bronislav Strnadel**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jan Vopařil**
Akademický rok: 2015/16

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:

Využití bioplynu v dopravě

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce rešeršního charakteru zaměřující se na možnosti použití bioplynu jako alternativního paliva pro spalovací motory dopravních prostředků. Stanovuje hlavní bariéry jeho komerčního prosazení v dopravě a porovnává situaci v ČR se zeměmi, v nichž je jeho používání již zaběhlejší.

Cíle bakalářské práce:

1. Rešerše problematiky využívání bioplynu v dopravě.
2. Definování hlavních nevýhod a možnosti jejich odstraňování.
3. Komparace situace v ČR a jiné země evropského kontinentu.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení výstavby plnicí stanice.

Seznam literatury:

VLK, F. Alternativní pohony motorových vozidel. 1. vyd. Brno : prof. Ing. František Vlk, DrSc., Nakladatelství a vydavatelství, 2004. 226 s. ISBN 80-239-1602-5.

JAN, Z., ŽDÁNSKÝ, B. Automobily (3): Motory. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. ISBN 978-80-87143-15-5.

KAMEŠ, J. Alternativní pohony automobilů. 1. vyd. Praha: ben – technická literatura, 2008. 232 s. ISBN 978-80-7300-127-8.

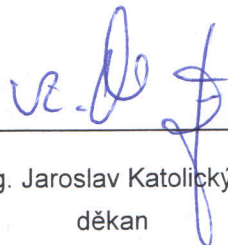
STRAKA, F. Bioplyn – příručka pro výrobu, projekci a provoz bioplynových systémů. 2. vyd. Praha: gas, 2006. 706 s. ISBN 80-7328-090-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 25. 11. 2015



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan



ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je využití bioplynu jako paliva pro motory dopravních prostředků. Nejprve je vysvětlen způsob výroby, úpravy a využití bioplynu. Poté je porovnána situace v České republice a ve Švédsku. Další část práce jsou zaměřeny na vozidla spalující upravený bioplyn nebo stlačený zemní plyn, které podrobně popsují jejich konstrukci a funkci palivového systému. V této kapitole je popsána závislost tvaru spalovací komory na výkonu motoru a problematika ochrany ventilů a jejich sedel. V poslední části je vypracována případová studie využití bioplynu z bioplynové stanice.

KLÍČOVÁ SLOVA

bioplyn, CNG, zemní plyn, biometan, plnicí stanice

ABSTRACT

The subject of this bachelor's thesis is the utilization of biogas as a fuel for vehicle engines. First of all, methods of production, upgrading and utilization of biogas are explained. Then the situation in the Czech Republic and in Sweden is compared. Next part of the thesis is focused on the vehicles which burn upgraded biogas or natural gas vehicles. Their construction and the function of fuel system are described in detail. The dependence of shape of combustion chamber on engine performance and the issue of protection of valves and their seats are described in this chapter. In the last part, a business case study of utilization of biogas from a biogas station is elaborated.

KEYWORDS

biogas, CNG, natural gas, biomethane, filling station



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

STRNADEL, B. *Využití bioplynu v dopravě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 53 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Vopařil.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Vopařila a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 27. května 2016

.....
Bronislav Strnadel



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Janu Vopařilovi za odborné vedení mé bakalářské práce a pomoc při jejím vypracování. Díky patří také mé rodině za podporu při studiu na této univerzitě.



OBSAH

Úvod	10
1 Bioplyn	11
1.1 Výroba	11
1.2 Zušlechtění a čištění bioplynu na biometan	12
1.2.1 Absorpce–technologie PSA	12
1.2.2 Tlaková vypírka	13
1.2.3 Chemická vypírka	13
1.2.4 Membránová separace	14
1.2.5 Nízkoteplotní rektifikace	14
1.3 Nevýhody a hlavní bariéry komerčního prosazení bioplynu v dopravě	15
1.4 Využití bioplynu v ČR a ve Švédsku	16
2 Zemní plyn v dopravě	17
2.1 Historie využívání plynu v dopravě	17
2.2 Vlastnosti zemního plynu	18
2.3 Výhody využívání CNG v dopravě	18
2.4 Nevýhody a jejich možné odstranění	19
2.5 Technologie plnění a plnicí stanice	21
2.5.1 Stanice pro pomalé plnění	22
2.5.2 Stanice pro rychlé plnění	22
2.5.3 Bezpečnost při plnění vozidel CNG	23
3 Konstrukce a provoz CNG vozidel	24
3.1 Konstrukce	24
3.1.1 Tlaková nádoba CNG s plnicím potrubím	25
3.1.2 Skupina ventilů na tlakové nádobě	26
3.1.3 Plnicí hrdlo zemního plynu	27
3.1.4 Skupina redukčního tlakového ventilu plynu	28
3.1.5 Elektronicky řízené vstřikovače	28
3.1.6 Sběrné potrubí zemního plynu	29
3.2 Činnost systému pro pohon na CNG	29
3.2.1 Přepínání mezi oběma provozy	30
3.3 Přímé vstřikování zemního plynu	31
3.3.1 S klasickou svíčkou	31
3.3.2 Se žhavicí svíčkou	32
3.3.3 S pilotním předvstřikem motorové nafty	32
3.4 Vliv tvaru spalovacího prostoru na plnění válců a spalování	33



3.4.1	Analýza různé konfigurace spalovací komory	33
4	Problém motorů spalujících CNG.....	36
4.1	Řešení.....	36
4.1.1	Externí aditivace ventilů.....	36
4.1.2	Přístřík benzínu.....	37
5	Příklady CNG vozidel.....	38
5.1	Traktor Steyr Profi 4135 Natural Power.....	38
5.2	Traktor Valtra N103.4 HiTech Dual Fuel.....	39
5.3	Traktor New Holland T6.140 Methane Power	40
5.4	Fiat Ducato dodávka 290 CNG.....	41
5.5	Fiat Dobló dodávka.....	42
5.6	Osobní automobil Škoda Octavia G-TEC	43
6	Technicko-ekonomické zhodnocení výstavby plnicí stanice.....	44
6.1	Popis studie	44
6.2	Analýza	44
6.2.1	První případ	44
6.2.2	Druhý případ.....	45
6.3	Zhodnocení	46
	Závěr.....	47
	Seznam použitých zkratk	53



ÚVOD

Lidstvo svou činností nejvíce ovlivňuje kvalitu životního prostředí, která je jedním z nejdůležitějších faktorů pro zdraví a spokojenost všech organismů na této planetě. Z důvodu neustálého zvyšování počtu vozidel je třeba se zabývat jejich dopadem na životní prostředí, neboť škodliviny obsažené ve výfukových plynech stojí za vznikem smogu, přízemního ozonu a podílejí se na skleníkovém efektu. Ke snížení produkce těchto škodlivin vede několik cest. Jednou z nich je vývoj nových technologií pro zpracování ropy a vozidel na ropná paliva, nicméně tato cesta je do jisté míry omezená hlavně z důvodu omezených světových zásob. Vhodnějším řešením je výzkum a vývoj alternativních paliv a pohonů, kterými lze dosáhnout příznivějších výsledků. Těchto alternativ je velké množství a mnoho z nich provází nevýhody, kvůli kterým se jim nedostává takové obliby. V současné době zaznamenávají velký rozvoj elektromobily, nicméně co se týče paliv pro spalovací motory, velmi vysoký potenciál se skrývá v bioplynu, jehož použití v dopravních prostředcích je zpracováno v této práci.

Bioplyn, je směs oxidu uhličitého a metanu a vzniká z rozkladu organické hmoty na skládkách, v čistírnách odpadních vod nebo v bioplynových stanicích. Použití tohoto „zeleného“ paliva v motorových vozidlech má spoustu výhod, z nichž asi největší je skutečnost, že se vytváří z obnovitelných zdrojů energie, a je tak snadno dostupný. Aby mohl být použit jako palivo pro vozidlové motory, musí se nejdříve upravit na požadovanou kvalitu. Upravené formě s vysokým podílem metanu se říká biometan, který má téměř identické složení jako zemní plyn. Lze jej tedy použít v současně vyráběných vozidlech na stlačený zemní plyn. Jelikož tato vozidla produkují určité množství CO_2 a rostliny jej naopak spotřebovávají, vzniká jeho uzavřený koloběh a dlouhodobá dostupnost paliva se tak zvyšuje.

Mezi cíle této práce patří vysvětlení překážek a nevýhod širšího využití bioplynu v dopravě v České republice. Následně je srovnáno využití bioplynu u nás a ve Švédsku. V hlavní části je popsána konstrukce a provoz motorů na biometan nebo zemní plyn. Posledním cílem je zhodnocení výstavby plnicí stanice v zemědělském podniku.

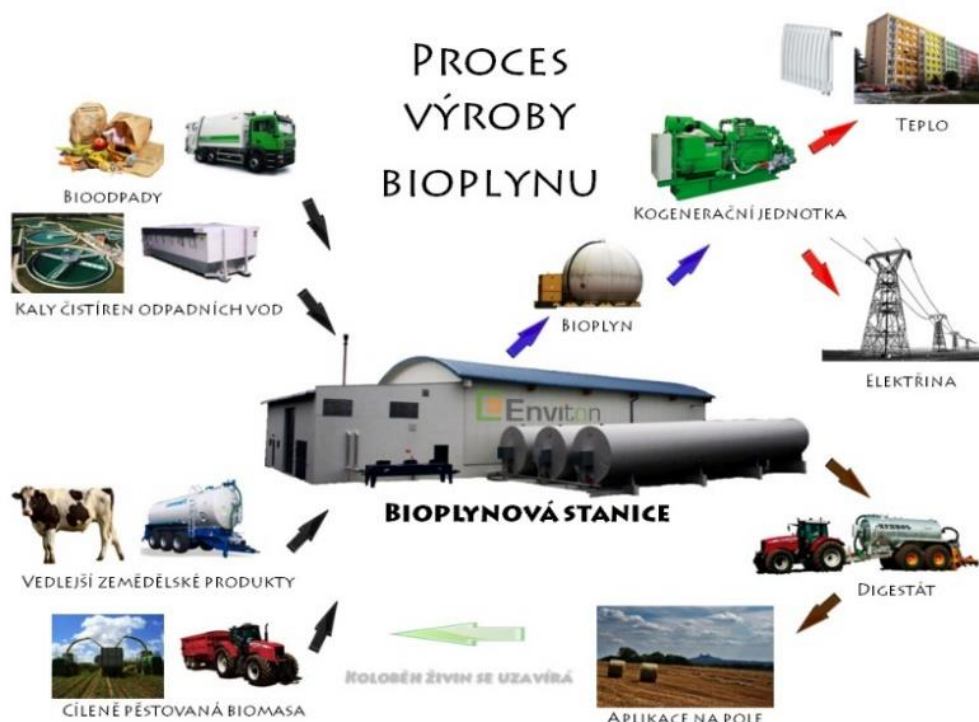


1 BIOPLYN

Bioplyn je směs oxidu uhličitého CO₂ (cca 30–40 %), metanu CH₄ (cca 60–70 %) a dalších minoritních složek jako jsou zbytky vzdušných plynů (N₂, O₂, Ar), neúplně spotřebované produkty acidogeneze (H₂) a další stopové prvky z reakcí organické hmoty (H₂S, N₂O, HCN, uhlovodíky a jejich deriváty). Charakteristickým znakem je jeho silný zápach (přestože metan i oxid uhličitý jsou plyny bez zápachu), který je způsobený zejména obsahem sirovodíku a dalšími sírnými sloučeninami. Jediným nositelem energie v bioplynu je metan a při jeho obsahu nad 53 % začíná být bioplyn lehčí než vzduch. [1],[5],[7]

1.1 VÝROBA

Bioplyn vzniká řízenou anaerobní fermentací organické hmoty, což je mikrobiální rozklad za nepřístupu vzduchu bez vzniku tepla. Aby mohl tento proces probíhat, musí být zajištěny fyziologické podmínky, ve kterých mohou mikroorganismy „pracovat“. Mezi tyto podmínky patří zabránění přístupu vzduchu, vhodné složení fermentovaného substrátu, optimální teplota, míchání, udržování hladiny pH, případně přísun živin. Jako organická hmota se nejčastěji používají exkrementy hospodářských zvířat, zbytky rostlin nebo cíleně pěstované plodiny, které se zpracovávají v bioplynových stanicích. Dalšími zdroji bioplynu mohou být skládky komunálního odpadu (skládkový plyn) nebo čistírny odpadních vod (Obr. 1). [2],[5],[65]



Obr. 1 Proces výroby bioplynu [9]



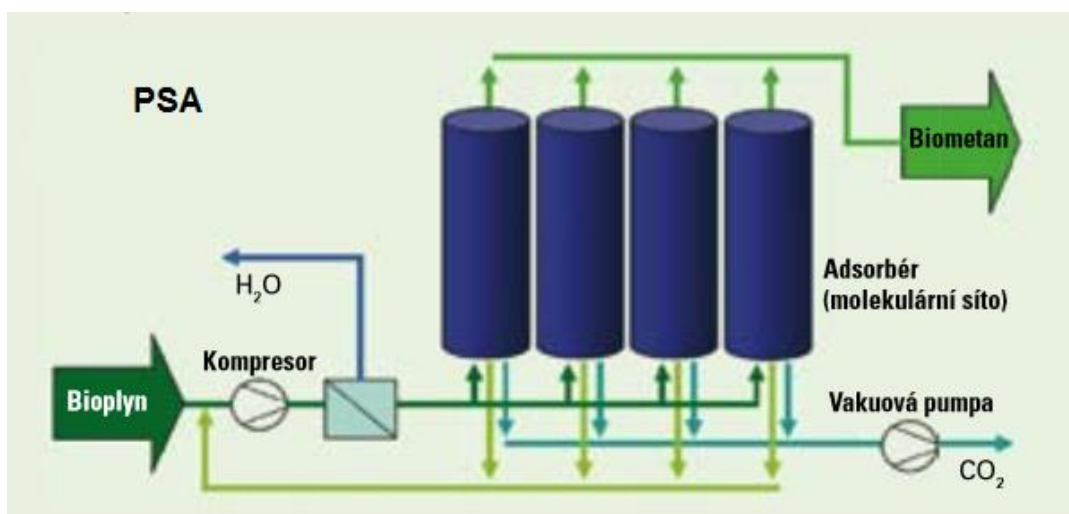
1.2 ZUŠLECHTĚNÍ A ČIŠTĚNÍ BIOPLYNU NA BIOMETAN

Bioplyn lze vhodnou metodou zušlechtit a vyčistit, to znamená zbavit jej nežádoucích příměsí, zejména oxidu uhličitého a sirovodíku. Výstupní složkou je biometan, který je plnohodnotnou náhradou zemního plynu (obsah metanu vyšší než 95 %). [6]

Úprava bioplynu na biometan má hned několik výhod. Při spalování surového bioplynu v kogeneračních jednotkách je využito pouze 40–50 % jeho energie na výrobu elektřiny a tepla, zatímco při úpravě na biometan a jeho dodávce do plynovodní sítě nebo využití v dopravě roste zhodnocení tohoto potenciálu na více než 60 %. Další výhodou biometanu je menší dopad na životní prostředí oproti benzínu, naftě, ale i jejich obnovitelným substitucím-biodieselem a bioetanolem. [6]

1.2.1 ABSORPCE–TECHNOLOGIE PSA

U této metody se využívá Van der Waalsových sil pro oddělení oxidu uhličitého od metanu. Tyto síly vážou molekuly CO_2 na povrch vysoce porézní pevné látky (nejčastěji aktivní uhlí). Probíhá zde absorpce-za zvýšeného tlaku a desorpce-regenerace při sníženém tlaku (vakuu), tlakové podmínky se tedy neustále mění. Instaluje se většinou několik adsorbérů pro nepřerušovanou produkci biometanu, které pracují paralelně a pokaždé se nachází v jiné fázi procesu. [6] Schéma této metody je znázorněno na Obr. 2.



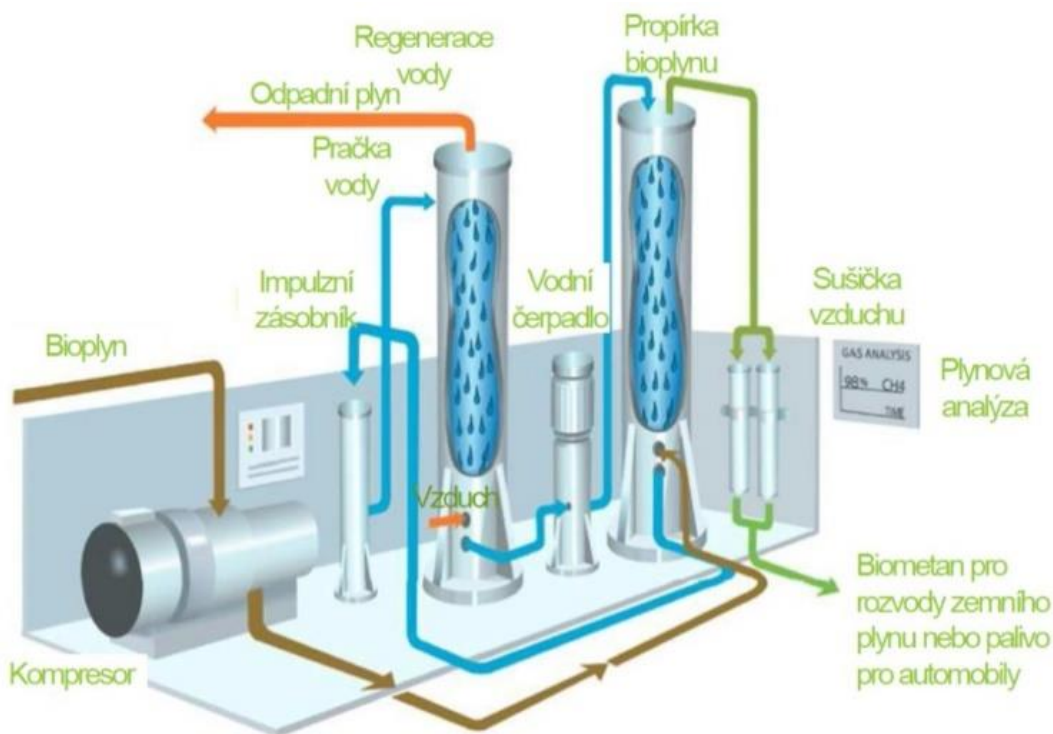
Obr. 2 Procesní schéma čištění bioplynu technologií PSA [5]

Poté co je bioplyn zbaven síry, stlačí se na cca 0,4–0,7 MPa, ochladí na teplotu 10–20 °C a odloučí se zkondenzovaná voda. Po tomto procesu je plyn přiváděn zesponu do adsorbéru a proudí přes tzv. molekulární síto, tj. velmi jemně rozemletý uhlík v extrudované podobě. V něm se zachytává CO_2 , zbytkové obsahy H_2O a H_2S a také malé množství metanu. Z horní části adsorbéru pak vychází metan o koncentraci 95–98 %. Při nasycení jedné sady adsorbérů přepne řídicí jednotkou přítok bioplynu na sadu druhou. [6]



1.2.2 TLAKOVÁ VYPÍRKA

Tato technologie využívá rozdílnou rozpustnost nežádoucích složek (zejména oxidu uhličitého, sulfanu a čpavku) a metanu. Nežádoucí složky jsou nasyceny procesní kapalinou, metan prochází dál a zvyšuje svůj podíl na celkovém objemu plynu. Jako rozpouštědlo se nejčastěji používá voda. [6] Na Obr. 3 lze vidět schéma tohoto procesu výroby.



Obr. 3 Procesní schéma čištění bioplynu tlakovou vypírkou [8]

Bioplyn je dvoustupňově stlačen v kompresoru na tlak 0,3–0,7 MPa, v mezichladiči se ochladí na teplotu cca 15 °C, se kterou vstupuje do spodní části absorpční kolony. Z její vrchní části je vstřikovávána voda, která zachycuje uvedené nežádoucí složky plynu a po její regeneraci je znovu použita. Biometan vystupuje z vrchní části absorpční kolony s obsahem 95–98 % CH₄. Pro zvýšení účinnosti se vnitřní povrch kolony vyplňují vysoce porézním materiálem s velkou vnitřní plochou. Namísto vody mohou být použita také organická rozpouštědla. [6]

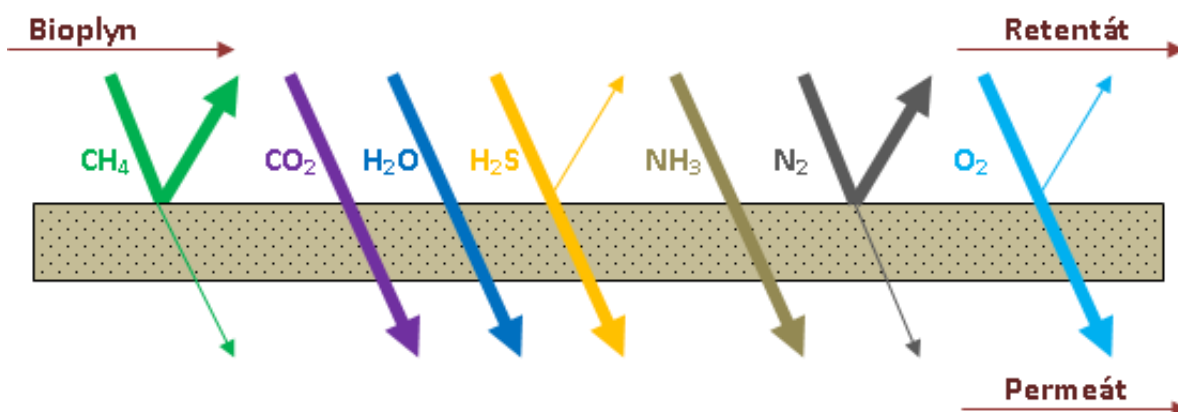
1.2.3 CHEMICKÁ VYPÍRKA

Pro odstranění nežádoucích příměsí z bioplynu je také možné využít chemickou absorpci. Vstupující surový bioplyn se stlačí pouze na 50 kPa a ochladí na teplotu cca 10 °C. Tento proces má oproti fyzikální vypírce vyšší selektivitu a rozpustnost nežádoucích plynů. Nežádoucí složky jsou vázány chemicky sorbentem zředěným vodou o koncentraci 10–20 %, který se po regeneraci vrací do absorpční kolony. Jako sorbent se nejčastěji používá monoetanolamin (MEA). Po vyčištění má obohacený biometan obsah 96–99 % CH₄. [6]



1.2.4 MEMBRÁNOVÁ SEPARACE

U této technologie se pro čištění bioplynu využívá rozdílná průchodnost tenkou membránou, která je obvykle vyrobena z polymerů. Plyny jako CO_2 , vodní páry a H_2S prochází membránou snáze (tzv. permeát) než metan, který zůstává pod membránou (tzv. retenát) a odchází na tlakové straně (Obr. 4). [6]



Obr. 4 Princip membránové separace bioplynu [10]

Čištění probíhá při tlaku 0,7–0,9 MPa a dosahuje se obsahu 97–98 % metanu ve vyčištěném plynu. Tento podíl závisí na stáří, materiálu a tlakové úrovni membrány. Vyšší účinnosti lze dosáhnout dvoustupňovou separací. [6]

1.2.5 NÍZKOTEPLTNÍ REKTIKACE

Z důvodu rozdílné teploty varu u CO_2 (-78 °C) a CH_4 (-161 °C) lze pro oddělení nežádoucích složek bioplynu využít kryotechnologii. Tato technologie spočívá v ochlazení bioplynu na velmi nízkou teplotu (min. -80 °C), čímž dojde k oddělení CO_2 od metanu jeho zkapalněním nebo rovnou desublimací. Výhodou je velmi vysoká čistota výsledného plynu s obsahem metanu více než 99 % a také možnost dalšího využití zkapalněného CO_2 . Při ochlazení na ještě nižší teplotu dojde ke zkapalnění i biometanu, který se pak může použít jako náhrada zkapalněného zemního plynu (LNG). Tato technologie je velmi energeticky náročná a má vysoké investiční náklady. [6]



1.3 NEVÝHODY A HLAVNÍ BARIÉRY KOMERČNÍHO PROSAZENÍ BIOPLYNU V DOPRAVĚ

- Ceny zařízení, které bioplyn upravují na kvalitu vhodnou pro spalování v automobilových motorech, jsou poměrně vysoké. Bioplyn se tak raději využije v energetice, protože investice do kogeneračních jednotek jsou nižší a navíc je výroba elektřiny a tepla z bioplynu dotována státem.
- Vozidla na alternativní paliva jsou dražší než jejich verze na klasická paliva a není tomu jinak ani u vozidel na zemní plyn, jejich cena ale s rostoucím zájmem veřejnosti klesá.
- Kvůli majoritnímu postavení fosilních paliv a vozidel na tato paliva mají jiné alternativy problém prosadit se na trhu a získat větší popularitu mezi veřejností.
- Dočasným omezením je řídká síť plicích stanic stejně jako nízký počet vozidel na biometan (CNG), situace se ale neustále zlepšuje a jejich počty rostou.
- Novela zákona o ochraně ovzduší předepisující minimální podíl biopaliv se vztahuje pouze na kapalná paliva.
- Není podporováno vtlačení biometanu do plynovodu případně jeho plnění do vozidel přes plicí stanici.
- Oproti jiným zemím nejsou v ČR dostatečné zkušenosti s úpravou bioplynu na biometan.
- Legislativa pro využití biometanu v evropských zemích se liší a v ČR zatím není dostatečná.
- Nedostatečná informovanost nebo averze veřejnosti, případně mýty o těchto palivech ve společnosti.
- Tuzemští investoři jsou nejistí v nové oblasti využití bioplynu. [6],[53]
- Další možné nevýhody vyplývají z nevýhod vozidel na stlačený zemní plyn zpracované v podkapitole 2.4.



1.4 VYUŽITÍ BIOPLYNU V ČR A VE ŠVÉDSKU

Potěšující zprávou je, že výzkum ukazuje celosvětový zájem o bioplyn. V současné době je v České republice využíván bioplyn hlavně v kogeneračních jednotkách, které současně vyrábí elektrickou energii a teplo. Díky zvýhodněné výkupní ceně elektřiny a zeleným bonusům u nás došlo k rozšíření počtu bioplynových stanic zejména v letech 2007–2012.[33],[34]

Dlouhou dobu neměl bioplyn v České republice jiné využití. Nyní se již na dvou bioplynových stanicích testují zařízení pro zušlechtnění a čištění bioplynu. Tato malokapacitní zařízení slouží jako doplněk k bioplynové stanici s hodinovým výkonem pod $50 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ biometanu. Konečně se tak v ČR objevuje uplatnění bioplynu v jiné oblasti než v energetice. Díky biometanu se tak zvyšuje soběstačnost podniku a regionu alespoň částečným nahrazením běžných paliv, které většinou pocházejí ze zahraničí. [33]

Vysoký potenciál pro využití bioplynu v dopravě mají u nás hlavně velká města, která za poměrně nízkých investic může využívat bioplyn například z ČOV pro autobusy MHD, vozidla technických služeb apod. Využití bioplynu v dopravě v ČR bude záviset na vývoji cen, množství produkce a v neposlední řadě také na podpoře státu či EU. [35]

Oproti tomu Švédsko ke zvýhodnění biopaliv zavedlo systém uhlíkové daně, která znevýhodňuje cenu fosilních paliv používaných nejen v dopravě. [32] Do roku 2030 má švédská vláda za cíl dosáhnout nezávislosti silniční dopravy na fosilních palivech a do roku 2050 využívat pro veškerou dopravu pouze obnovitelné zdroje energie. [31] Švédsko je z evropských států nejvíce zaměřeno na využívání bioplynu v dopravě, ale využívá jej také pro výrobu elektřiny a tepla. Ve Švédsku se 60 % bioplynu vyrábí z čistírenských kalů, 30 % pochází ze skládek a zbytek tvoří průmyslové odpadní vody a bioplynové stanice. Většina vyprodukovaného bioplynu je zušlechtněna na biometan (54 %), téměř třetina (31 %) je použita pro výrobu tepla a v porovnání se zbytkem Evropy pozoruhodně malý podíl (3 %) slouží k výrobě elektrické energie. Vyčištěný bioplyn neboli biometan se využívá hlavně v dopravě, ale přesný podíl není znám. [31]

Ve většině zemí kde se biometan využívá v dopravě, je jeho doprava k plnicím stanicím zajištěna pomocí potrubí zemního plynu, která ovšem ve Švédsku pokrývá jen velmi malou část a zajišťuje tak distribuci pouze 20 % biometanu. Většina biometanu je tak přepravována v kontejnerech kamionovou dopravou až na vzdálenost 500 km. Místní a regionální biometanové potrubí má větší význam na vzdálenosti desítek kilometrů a podle švédské strategie nezávislosti na surové ropě dojde k jeho rozšíření, namísto budování sítě zemního plynu. [31]



2 ZEMNÍ PLYN V DOPRAVĚ

2.1 HISTORIE VYUŽÍVÁNÍ PLYNU V DOPRAVĚ

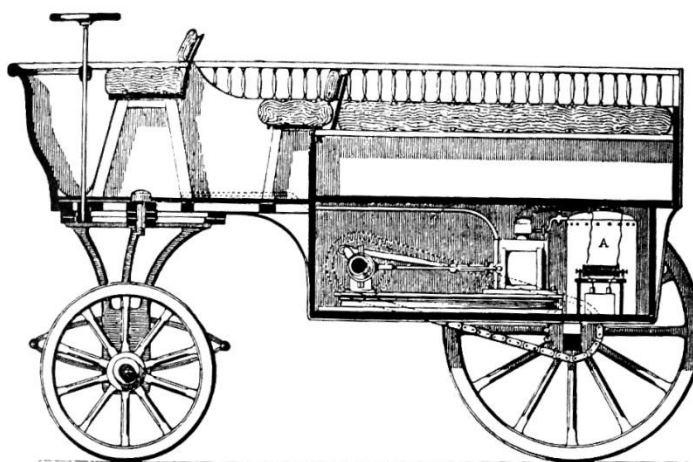
Vůbec první vyrobená motorová vozidla byla poháněna motory, které spalovaly právě plyn.

Jeden z prvních experimentů s výbušností plynu provedl roku 1777 italský fyzik Alessandro Volta, který sestrojil pistoli s mosazi a skla využívající směs bahenního plynu a vzduchu.

O využití tohoto potenciálu plynu se pokoušel také Filip Lebon, který získal patent v r. 1801 a zkonstruoval stroj se dvěma pístovými pumpami stlačující plyn se vzduchem. Po jejich smísení v zásobníku byla směs vedena do válce dvojčinného stroje, kde byla zapálena elektrickým výbojem. Nicméně k praktickému využití nedospěl.

V roce 1807 si nechal švýcarský vynálezce Issac de Rivatz patentovat vůz s výbušným motorem spalujícím svítíplyn. Jako válec mu posloužila dělová hlaveň, ve které se pohyboval píst připojený k ozubené tyči.

Velkého úspěchu dosáhl až Francouz belgického původu Jean Joseph Étienne Lenoir, který sestrojil funkční vůz poháněný spalováním svítíplynu stlačeným v nádržce umístěné ve vozidle (Obr. 5). První jízda s tímto vozem se uskutečnila v roce 1863 z Paříže do jejího předměstí Joinville le Pont a zpět. Jean ulej celkem 18 km rychlostí 6 km·h⁻¹.



Obr. 5 Lenoirův vůz zvaný „Hippomobile“ [11]

Vývoj motorů poháněných plynem šel poté rychle kupředu a byl doplněn mnohými evropskými i americkými vynálezci.

Kvůli brzkému využívání také kapalných paliv byly však plynné paliva na konci 19. století vytlačeny a svého návratu se dočkaly během první i druhé světové války, kdy byl nedostatek kapalných pohonných hmot. Po 2. světové válce zájem o plynná paliva poklesl a k opětovnému vzestupu došlo v 60.–70. letech minulého století, který roste takřka dodnes. [2]

V českých zemích se jako první plynné palivo začal využívat stlačený svítíplyn v roce 1936, zemní plyn našel své uplatnění v dopravě až v roce 1981. Dnes se z plynných paliv v praxi nejvíce používá propan-butan, zemní plyn a bioplyn. [1]



2.2 VLASTNOSTI ZEMNÍHO PLYNU

Zemní plyn je nejčistší a nejbezpečnější mezi primárními palivy. Ve své ryzí podobě je to hořlavá látka bez barvy, tvaru a zápachu. Skládá se z plyných uhlovodíků a nehořlavých složek (zejména dusíku a oxidu uhličitého). Jedná se o přírodní nejedovatý plyn s vysokou výhřevností a přibližně dvakrát nižší hustotou než vzduch. Jeho typickým znakem je vysoký obsah metanu. Energie ze zemního plynu se hojně využívá k vaření, topení, výrobě elektrické energie nebo pohonu motorových vozidel. [12]

Získává se těžbou ze země nebo z mnohasetmetrových hloubek mořského dna. Před jeho dodáním do plynovodní sítě je potřeba jej upravit (sušit, zbavovat mechanických nečistot a nežádoucích příměsí apod.). [12] Jak již bylo popsáno v předcházející kapitole, plyn odpovídající kvalitám zemního plynu lze získat také vhodným zušlechtěním bioplynu.

Zemní plyn se v dopravě využívá buď ve formě plynu stlačeného na tlak 200 barů (CNG), nebo ve zkapalněné formě (při teplotě -162 °C) (LNG), používané hlavně v lodní a nákladní dopravě. Varianta CNG je v současnosti běžnější. [2]

2.3 VÝHODY VYUŽÍVÁNÍ CNG V DOPRAVĚ

EKOLOGICKÉ VÝHODY

Díky tomu, že je zemní plyn tvořen z cca 98 % nejjednodušším uhlovodíkem-metanem, je při jeho spalování vypouštěno do ovzduší mnohem méně škodlivin. Konkrétně se jedná o snížení oxidu uhličitého (o 20–25 %), oxidů dusíku, oxidu uhelnatého, uhlovodíků, aldehydů a zejména pevných částic. Oxid siřičitý se ve spalinách vůbec nevyskytuje. Motory spalující zemní plyn mají menší vliv na skleníkový efekt oproti běžným motorům a dosahují také nižší hlučnosti o 50 %. Při havárii nemůže dojít ke kontaminaci půdy, jelikož zemní plyn je lehčí než vzduch. Obrovskou výhodou je skutečnost, že lze CNG nahradit biometanem, který se vyrábí z obnovitelných zdrojů energie. [4]

EKONOMICKÉ VÝHODY

Stlačený zemní plyn má o 40–50 % nižší provozní náklady a je vůbec nejlevnějším palivem s náklady okolo $1\text{ Kč}\cdot\text{km}^{-1}$. [4] Vozidla využívající toto palivo jsou osvobozena od silniční daně až do roku 2020 a spotřební daň na CNG činí pouze $0,72\text{ Kč}\cdot\text{m}^{-3}$, což je v porovnání s naftou ($11\text{ Kč}\cdot\text{l}$) mnohem méně. [14]

PROVOZNÍ VÝHODY

Z důvodu dokonalejšího mísení zemního plynu se vzduchem má motor na CNG rovnoměrnější plnění válců a může pracovat s vyšším součinitelem přebytku vzduchu. Tyto motory také lépe startují při nízkých teplotách. Díky vysokému oktanovému číslu (130) má CNG vynikající odolnost vůči detonačnímu spalování, které způsobuje tzv. klepání motoru a umožňuje tak zvýšit jeho kompresní poměr. Přepřítňované plynové motory mají vyšší měrný výkon než srovnatelné zážehové motory. Plyn nezanášá vnitřní části motoru karbonovými částicemi, což prodlužuje životnosti motoru i oleje. Nedochozí ke ztrátám paliva odpařováním. [4]



BEZPEČNOST

Zápalná teplota zemního plynu je oproti benzínu dvojnásobná, což je hlavním faktorem vyšší bezpečnosti. Při případné havárii se běžné paliva rozlejí v okolí vozidla a hrozí jejich vznícení. Oproti tomu zemní plyn je lehčí než vzduch a rozptýlí se, riziko vzplanutí vozidla je tak menší. Skladuje se v pevných ocelových nebo kompozitních tlakových nádobách, které odolají i větším nárazům a jsou podrobeny několika náročným zkouškám. Palivová soustava plynu je několikrát jištěna proti překročení určitého průtoku nebo dovoleného tlaku. Nemůže dojít k odcizení paliva. [4]

DISTRIBUCE

Dodávky zemního plynu jsou zajištěny již existující plynovodní sítí, což vede k snížení počtu vozidel zajišťující přepravu paliv. [2]

PERSPEKTIVA

Světové zásoby zemního plynu jsou větší než zásoby ropy a při vzrůstajícím trendu spotřeby vydrží minimálně 200 let. [3]

2.4 NEVÝHODY A JEJICH MOŽNÉ ODSTRANĚNÍ

DOJEZDOVÁ VZDÁLENOST

V závislosti na velikosti, spotřebě daného vozidla, způsobu jízdy a charakteru provozu ujede v současnosti osobní automobil s kapacitou nádrží CNG 80–100 litrů jen 300–500 km. [16] Továrně vyráběná CNG vozidla, jsou vybavena dvoupalivovým systémem plynu a benzin, kdy jsou ke klasické benzinové nádrži přidány tlakové nádrže na plyn. Po vyčerpání těchto nádrží dojde k automatickému přepnutí provozu na benzin, a tím je dojezd automobilu prodloužen. [15]

CENA

Přesto, že ceny CNG vozidel klesají, stále jsou vyšší než jejich srovnatelné verze na benzin či naftu. U osobních vozů činí cenový rozdíl cca 13 %, u užitkových vozů je to asi 22 %. Při průměrném ročním nájezdu 20–30 tis. km se tento rozdíl provozovateli vrátí do 1–2 let. [50],[56],[57],[58]

ADITIVA

Veškeré motory spalující plynná paliva musí mít zajištěnu ochranu ventilů a jejich sedel, bez které by docházelo k značnému opotřebení motoru a snížení jeho životnosti. Tato ochrana je zajištěna buď přimazávacím systémem nebo vstřikováním malého množství kapalného paliva. [24]



INFRASTRUKTURA

Jako každé alternativní palivo, které se snaží prosadit na trh, trpí i stlačený zemní plyn nízkou koncentrací plnicích stanic, což je zatím asi jeho největší nevýhodou. [2] Aktuálně (k 3/2016) je u nás vybudováno pouze 111 plnicích stanic CNG (Obr. 6). [14]



Obr. 6 Mapa plnicích stanic CNG v České republice k 03/2016 [13]

Nicméně jejich počet v České republice meziročně roste (Tab. 1) a podle Jiřího Šimka, místopředsedy Rady ČPS, přibývá každý týden jedno další místo, kde lze stlačený zemní plyn natančovat. [14]

Tab. 1 Statistika počtu plnicích stanic CNG v České republice [15]

	veřejné PS CNG
2004	9
2005	9
2006	11
2007	17
2008	17
2009	23
2010	32
2011	34
2012	45
2013	50
2014	75
2015	108



HMOTNOST VOZIDLA A VELIKOST ZAVAZADLOVÉHO PROSTORU

Přidáním těžkých ocelových tlakových nádrží se zvýší celková hmotnost vozidla, přičemž se sníží užitečná hmotnost a také velikost zavazadlového prostoru. Místo oceli lze pro výrobu tlakových nádrží použít sice dražší, ale o dost lehčí materiály jako například kompozity, skelná nebo uhlíková vlákna. [3]

OPRAVY

Servis a revize palivových systémů CNG je nutné provádět na specializovaných pracovištích, což může zvýšit náklady na údržbu těchto vozů. [3]

2.5 TECHNOLOGIE PLNĚNÍ A PLNICÍ STANICE

Plnicí stanice se skládá z přípojky zemního plynu, kompresoru, plynového zásobníku (volitelný), sušení plynu (volitelné), expanzního zásobníku, měřicího a regulačního zařízení a výdejního stojanu. [1] Výdejní stojan je vybaven měřidlem vydaného plynu, plnicí přípojkou (hadicí) a plnicí rychlospojkou (koncovkou, pistolí), která se připojuje na plnicí hrdlo CNG vozidla. Existují dva druhy rychlospojek [3]:

- NGV1 určený pro osobní a dodávkové automobily (Obr. 7)
- NGV2 určený pro autobusy a nákladní automobily



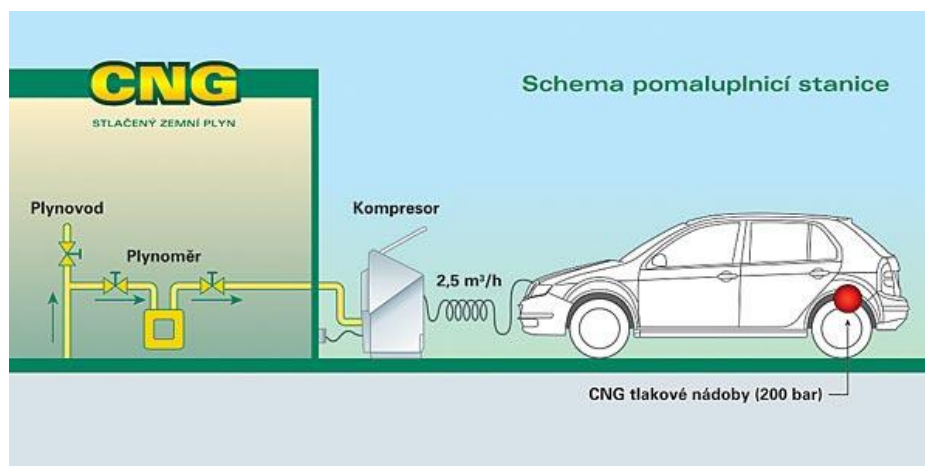
Obr. 7 Moderní plnicí pistole [52]



Podle způsobu plnicího procesu jsou používány plnicí stanice pro pomalé nebo rychlé plnění.

2.5.1 STANICE PRO POMALÉ PLNĚNÍ

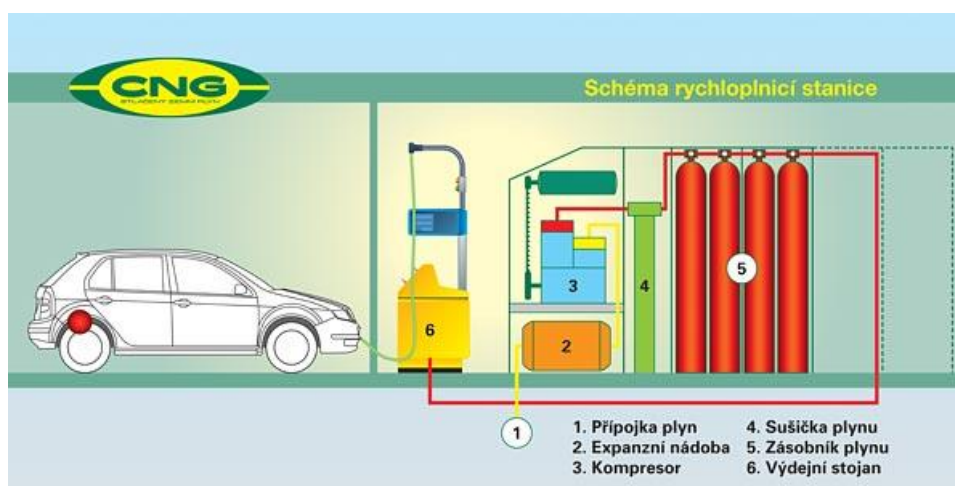
Jedná se o tzv. „domácí stanice“ s výkonem kompresoru do $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Obr. 8). [19] Plnění je zdlouhavé, jelikož se provádí přímo pomocí kompresoru bez tlakových zásobníků. Může trvat až 8 hodin a lze připojit více vozidel současně. [1] Jsou vhodné především pro osobní a dodávkové automobily, které nejsou využívány nepřetržitě a lze je tak plnit např. přes noc. Často jsou využívány pro některá speciální vozidla (vysokozdvížené vozíky, rolby, atd.). [19]



Obr. 8 Schéma stanice pro pomalé plnění [19]

2.5.2 STANICE PRO RYCHLÉ PLNĚNÍ

Rychloplnicí stanice (Obr. 9) většinou odebírají plyn z distribuční sítě a po jeho vysušení je stlačen kompresorem o výkonu vyšším než $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na tlak až 300 barů do vzájemně propojených zásobníků. Z nich se pomocí výdejních stojanů přečerpává pod tlakem 200 barů do tlakových nádob vozidla. [3] Zásobníky stanice jsou pro jejich efektivnější využití rozděleny do vysokotlaké, středotlaké a nízkotlaké sekce. [18] Doba plnění je srovnatelná s čerpáním kapalných paliv (3–5 minut). [1]



Obr. 9 Schéma stanice pro rychlé plnění [19]



Pro plnění vozidel na veřejných stanicích CNG byl vyvinut jednotný platební systém Card Centrum, ve kterém jsou zapojeny téměř všechny plnicí stanice. Každý vlastník vozu na CNG by si měl požádat o vydání karty CNG, jelikož možnost platby v hotovosti nebo jinými platebními kartami jsou omezené. Plnicí stanice jsou obvykle bezobslužné a přístupné 24 hodin denně. Řidič si vozidlo sám naplní a u výdejního stojanu „zaplatí“ CNG kartou, 1krát měsíčně obdrží fakturu s výpisem odebraného množství zemního plynu na všech stanicích, kterou lze zaplatit také inkasem. V případě neuhrazení faktury je po dvou výzvěch k zaplacení karta zablokována. [21]

2.5.3 BEZPEČNOST PŘI PLNĚNÍ VOZIDEL CNG

Několik důležitých bezpečnostních opatření u CNG stanic a vozidel na zemní plyn [3]:

- Na každé plnicí stanici najdeme nouzové „červené“ tlačítko pro okamžité ukončení plnění.
- Každá plnicí přípojka má tzv. „trhací spojku“, která slouží pro plynotěsné uzavření spojení mezi stojanem a přípojkou v případě, že by řidič omylem neodpojil přípojku od plnicího hrdla a chtěl odjet od plnicí stanice.
- Plnicí stojan je také vybaven snímačem toku plynu, který by v případě prasknutí přípojky zaznamenal obrovský nárůst a stojan by zastavil plnění.



3 KONSTRUKCE A PROVOZ CNG VOZIDEL

Dříve, pokud chtěl řidič ušetřit a jezdit na stlačený zemní plyn, většinou musel své auto nechat přestavět ve specializovaném servisu. Dnes je již na trhu spousta modelů vozidel, které jsou určeny pro tento druh paliva ze sériové výroby. Tyto automobily jsou charakteristické dvoupalivovým systémem, který zajišťuje chod jak na tradiční palivo (benzin nebo naftu), tak na stlačený zemní plyn. Oba systémy mají své vlastní řídicí jednotky, které jsou propojeny nízkorychlostním vedením CAN.[3]

Zemní plyn může být vstřikován buď nepřímo do jednotlivých trubek sání (multipoint), nebo přímo do válce motoru. Předností tohoto technického řešení je fakt, že nijak neovlivňuje ovladatelnost nebo výkon vozidla při benzinovém provozu na rozdíl od dodatečně upravovaných automobilů, kdy se do sacího potrubí instalovala Venturiho trubice. Tyto automobily měly nižší maximální výkon a točivý moment vlivem horšího plnění válců. Příslušná úprava vozidla na plynový provoz spočívá výhradně v přidání dalších součástí do palivového systému, což jsou tlakové nádoby, plnicí hrdlo, přívodní potrubí, redukční ventil, sběrací potrubí s elektronicky řízenými vstřikovači a elektroinstalace obsluhující dodávku plynu. [3]

3.1 KONSTRUKCE

Kromě přidání zařízení pro zásobu a dopravu paliva je upraven také motor pro pohon jak na benzin (naftu), tak na CNG. Díky vyššímu oktanovému číslu zemního plynu může být zvýšen kompresní poměr motoru a tím i jeho výkon. Vyšší kompresní poměr (až 14: 1) může být dosažen například úpravou pístu na speciální tvar s částí spalovacího prostoru ve dně pístu. [4] Na Obr. 10 je znázorněn možný způsob uložení tlakových lahví.

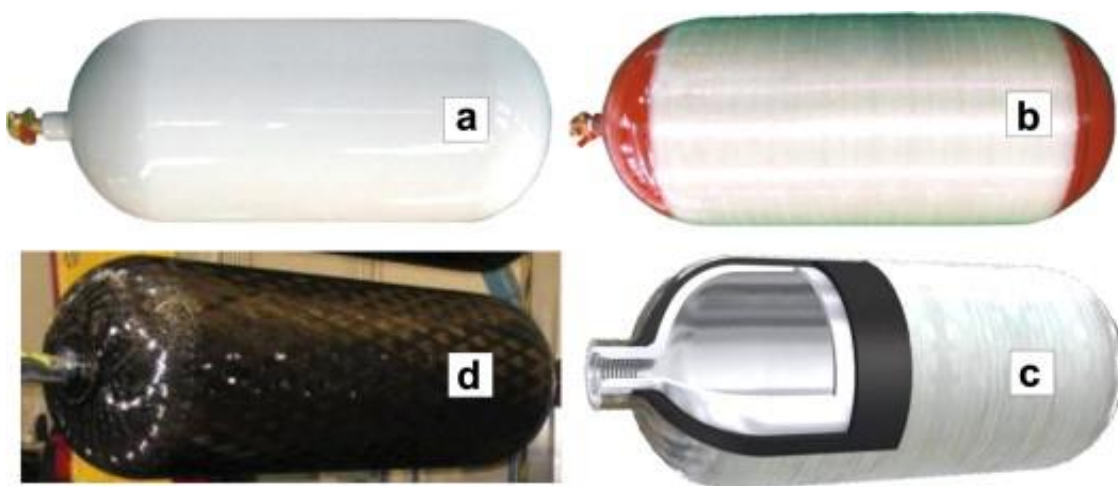


Obr. 10 Ukázka konstrukce CNG vozidla [22]



3.1.1 TLAKOVÁ NÁDOBA CNG S PLNICÍM POTRUBÍM

Tlakové nádoby mohou být vyrobeny z různých materiálů, jak lze vidět na Obr. 11. Konstrukční uspořádání nádob na stlačený zemní plyn byl zásadní problém u přestavěných vozů, který vyřešili konstruktéři v sériové výrobě. V zásadě jsou nádoby zabudovány buď pod podlahou vozidla, nebo mezi zadními koly pod zavazadlovým prostorem. Proti mechanickému poškození jsou nádrže ze spodní strany chráněny kovovými kryty upevněnými ke karoserii.[3]



Obr. 11 Typy tlakových nádrží: [46]

- a – bežešvá kovová nádrž*
- b – kovová nádrž s přebalem z uhlíkových nebo skelných vláken po obvodu válce*
- c – kovová nádrž s úplným přebalem z uhlíkových nebo skelných vláken*
- d – nekovová nádrž s úplným přebalem z uhlíkových nebo skelných vláken*

BEZPEČNOST NÁDRŽÍ

- Tloušťka stěny tlakové nádrže je navržena tak, aby vydržela 300 barů, což je 1,5násobek provozního tlaku, tj. tlak, který nemůže nastat ani při nejextrémnějších teplotách.
- Uvnitř tlakové nádrže je tzv. „inlay ventil“, který zastaví přívod plynu při poklesu tlaku v soustavě např. při havárii vozidla a zabrání tak úniku plynu
- V případě, že by vozidlo zachvátil požár, tavná pojistka na nádrži se roztaví a dojde k postupnému odpouštění plynu a jeho odhořívání bez nebezpečí výbuchu tlakové nádoby.
- Podle nařízení Evropské hospodářské komise OSN č. 110 musí být tlakové nádoby homologovány a revidovány každé 4 roky od data registrace vozidla nebo v termínech stanovených místními předpisy.
- Po provedené revizi je organizací ENI vydán štítek s datem příští povinné kontroly nádoby. Obsluha plnicí stanice může zákazníka požádat o předložení tohoto štítku a při prošlém datu revize nádob nesmí provést jejich plnění.
- Životnost tlakových nádob na CNG je 20 let od data výroby dle nařízení Evropské hospodářské komise OSN č. 110 [3]



3.1.2 SKUPINA VENTILŮ NA TLAKOVÉ NÁDOBĚ

K tlakové nádobě je připevněna skupina ventilů (Obr. 12), která slouží k plnění tlakové nádoby, přívodu plynu k motoru a zajištění bezpečnosti. [3]



Obr. 12 Skupina ventilů na tlakové nádobě [23]

ODPOJOVACÍ ELEKTROMAGNETICKÝ VENTIL

Jeho hlavním úkolem je přerušit dodávku plynu z nádrží do potrubí pro plnění motoru v případě, že je motor v klidu. [3]

ZPĚTNÝ VENTIL

Brání proudění plynu z tlakové nádoby k plnicímu hrdlu. [3]

RUČNÍ VENTIL

Nachází se mezi tlakovou nádobou a elektromagnetickým ventilem a je to důležitý bezpečnostní prvek při údržbě, servisu nebo přepravě vozidla. [3]

TAVNÁ POJISTKA

Jestliže se zvýší teplota plynu v tlakové nádobě nad 110 ± 10 °C, dojde k roztavení tavné tablety a plyn unikne kalibrovaným otvorem ven z nádrže bez rizika exploze. Tato situace může nastat např. při požáru vozidla. [3]

OMEZOVAČ TOKU PLYNU

Slouží jako další bezpečnostní prvek, který v případě prasknutí potrubí nebo skupiny ventilů (např. při nehodě) zabrání velkému úniku plynu, tak že omezí jeho průtok na 0,5 % oproti hodnotě nastavené při normální činnosti motoru. Je umístěn v závitovém dříku skupiny ventilů tak, aby i při jejím ulomení zůstal v závitovém dříku a byla zachována jeho funkce. [3]



MECHANICKÉ PŘETLAKOVÉ ZAŘÍZENÍ

Dojde-li v nádobě k překročení hodnoty tlaku 300 barů (maximální tlak, na který jsou tlakové nádoby konstruovány), membrána v zařízení se rozlomí a umožní tak únik plynu kalibrovaným otvorem ven. [3]

3.1.3 PLNICÍ HRDLO ZEMNÍHO PLYNU

Najdeme jej hned vedle plnicího hrdla na benzin. Skládá se z tělesa, uzávěru, zpětného ventilu a propojky, která zajišťuje spojení s třícestnou spojkou vysokotlakým potrubím (Obr. 13). Potrubní úsek mezi spojkou a nádobami je určen jak pro plnění, tak pro zásobování regulačního tlakového ventilu. Třícestná spojka slouží k propojení mezi ventily tlakových nádob a je vybavena dalším zpětným ventilem bránící průniku plynu k plnicímu hrdlu. [3]



Obr. 13 Plnicí hrdlo [51]



3.1.4 SKUPINA REDUKČNÍHO TLAKOVÉHO VENTILU PLYNU

Skupina redukčního ventilu (Obr. 14) tvoří prvek mezi vysokotlakým a nízkotlakým potrubím uloženým v motorovém prostoru a skládá se z redukčního jednostupňového tlakového ventilu, odpojovacího elektromagnetického ventilu a snímače tlaku. Úkolem redukčního ventilu je snížit a udržet tlak na hodnotě 9 ± 1 bar, se kterým je plyn přiváděn k vstřikovacím ventílům. Při poklesu hodnoty tlaku na vstupu regulačního ventilu pod 12 barů přepne řídicí jednotka motoru pohon na benzin, jelikož tlak na výstupu regulačního ventilu by již nedosahoval hodnoty pro dostatečné plnění motoru. [3]



Obr. 14 Skupina redukčního tlakového ventilu plynu [49]

Vlivem expanze plynu v redukčním ventilu se prudce sníží jeho teplota na výstupu, což by mohlo vést k poruchám způsobeným výkyvy teploty, proto je chladicí okruh motoru opatřen odbočkou, která umožní chladicí kapalině motoru ohřát skupinu redukčního tlakového ventilu. [3]

3.1.5 ELEKTRONICKY ŘÍZENÉ VSTŘIKOVAČE

Jedná se o vstřikovače tzv. přiškrceného typu. Na rozdíl od benzinových vstřikovačů mají větší trysku pro výstup plynu a pracují s palivem pod větším tlakem (9 ± 1 bar). Množství vstřikovaného plynu závisí pouze na době otevření vstřikovače (doba trvání vstřiku), která je řízena elektronickou řídicí jednotkou. Další rozdíl oproti benzinové soustavě je v tom, že plynová soustava nepotřebuje rozdílový regulátor tlaku, protože tlak paliva na výstupu vstřikovačů neovlivňuje samotný vstřik. [3]

Sekvenční časovaná logika ovládání vstřikovačů znamená, že je každý vstřikovač ovládaný individuálně na základě sekvence sání motorových válců, zatímco plnění všech válců může začít již ve fázi expanze a trvat až do fáze nasávání. [3]



Elektronicky ovládané vstřikovače (Obr. 15) jsou na motoru upevněny pomocí rozvodného sběrače zemního plynu, který je přitlačuje do jejich uložení v sacím potrubí. Se sběračem jsou spojeny jisticími záložkami. Těsnost spojení na sacím potrubí a rozvodném sběrači zajišťují dva pryžové kroužky. Plyn se do vstřikovačů přivádí shora a z boku jsou připojeny konektory pro jejich ovládání. [3]



Obr. 15 Elektronicky řízené vstřikovače se sběrným potrubím [49]

3.1.6 SBĚRNÉ POTRUBÍ ZEMNÍHO PLYNU

Rozvodný sběrač zemního plynu je upevněn ke spodní části hliníkového sacího potrubí. Plyn o nízkém tlaku přiváděný propojovacím potrubím z redukčního tlakového ventilu je sběračem rozváděn k jednotlivým vstřikovačům. [3]

SNÍMAČ TLAKU A TEPLoty ZEMNÍHO PLYNU

Jedná se o dvojitý snímač. Jedna část snímače je odporového typu NTC a snímá teplotu plynu, druhá část je typu kapacitního, která obsahuje obvod napájený napětím 5 V a detekuje tlak ve sběrači (cca 8 barů). [3]

3.2 ČINNOST SYSTÉMU PRO POHON NA CNG

Za normálních podmínek je systém nastaven pro spalování zemního plynu. Přepínání mezi jednotlivými režimy lze provádět buď manuálně, nebo je ovládáno automaticky řídicí jednotkou METAFUEL. Startování motoru vždy probíhá na benzin s tím, že se po několika sekundách automaticky přepne pohon na plyn. Pohon motoru na plyn nebo na benzin je indikován dvěma kontrolkami na komponentu SEDIMO (červená a zelená) a to bez ohledu na polohu voliče provozu. Obě elektronické jednotky jsou propojeny vedením CAN, kterým si vyměňují důležité informace pro správný chod obou jednotek. [3]



3.2.1 PŘEPÍNÁNÍ MEZI OBĚMA PROVOZY

Přepínání mezi oběma provozy zajišťuje elektronická jednotka METAFUEL a jeden integrovaný spínač na komponentu SEDIMO. Volič v poloze „G“ indikuje provoz motoru na zemní plyn (rozsvícená zelená kontrolka), v opačné poloze je aktivní provoz na benzin (rozsvícená červená kontrolka). Ukazatel zbývajících tlaku zemního plynu v tlakových nádobách je aktivní nezávisle na zvoleném provozu. K přechodu mezi oběma systémy může na příkaz uživatele dojít kdykoliv kromě fáze spouštění motoru. [3]

PŘEPÍNÁNÍ Z BENZINOVÉHO PROVOZU NA PROVOZ NA ZEMNÍ PLYN

- Manuální přepnutí uživatelem se stojícím motorem

Při spouštění motoru je přepínač v poloze provozu na plyn a svítí červená kontrolka signalizující benzinový pohon. Po spuštění motoru dojde k automatickému přepnutí pohonu na plyn a rozsvítí se zelená signalizační kontrolka. K přepnutí provozu na plyn nedojde, je-li tlak plynu v tlakových nádobách menší než je tlak odpovídající „prázdným“ nádobám (16 barů), teplota chladicí kapaliny motoru je příliš nízká nebo je diagnostikována závada soustavy. [3]

- Manuální přepnutí uživatelem s běžícím motorem

Přepínač je v poloze pro provoz na benzin a na komponentu SEDIMO svítí červená signalizační kontrolka. Po překlapaní přepínače do druhé polohy se spustí funkce přechodu z benzinového provozu na provoz na zemní plyn. Tato funkce se spustí pouze, pokud je tlak v nádobách vyšší než stanovený práh (12 ± 2 bary), otáčky motoru jsou nižší než $2000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ a jednotkou METAFUEL není diagnostikována žádná závada. K přepnutí provozu na plyn dojde při dodržení všech tří podmínek. [3]

PŘEPÍNÁNÍ Z PROVOZU NA ZEMNÍ PLYN NA BENZINOVÝ PROVOZ

- Automatické (s běžícím motorem)

Přepínač je nastaven v poloze pro provoz na plyn a svítí zelená signalizační kontrolka. Impuls pro přepnutí provozu na benzin dává řídicí jednotka METAFUEL pokud jsou otáčky motoru nižší než $2000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$, tlak plynu v tlakových nádobách je nižší než práh rezervy (nastavená hodnota cca 10 barů) nebo je zjištěna závada soustavy. Při splnění alespoň jedné z těchto tří podmínek dojde k okamžitému přepnutí na benzinový provoz a rozsvítí se červená signalizační kontrolka. Poloha přepínače se nemění. K automatickému přepnutí zpět na provoz na plyn je nutné odstranit příčinu (doplnit plyn nebo odstranit závadu). [3]

- Manuální přepnutí uživatelem s běžícím motorem

Na počátku je přepínač v poloze pro provoz na plyn, svítí zelená signalizační kontrolka. Po ručním přepnutí spínače se spustí funkce přechodu na benzinový provoz. Pro spuštění této funkce musí být otáčky motoru nižší než $2000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. [3]



3.3 PŘÍMÉ VSTŘIKOVÁNÍ ZEMNÍHO PLYNU

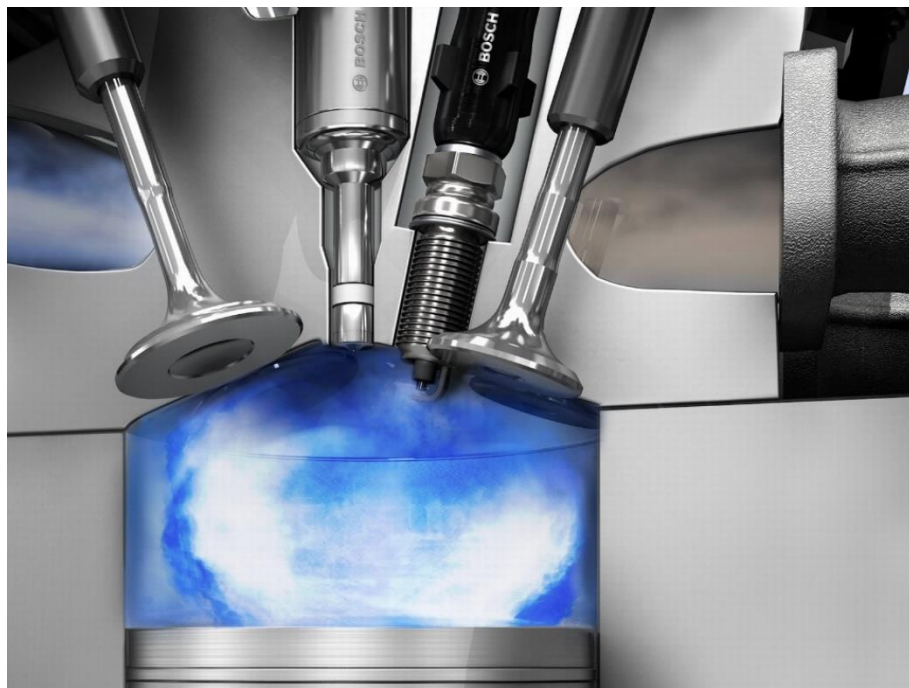
Princip tohoto konstrukčního řešení spočívá v přímém vstřikování zemního plynu do spalovacího prostoru motoru. Tento systém je poměrně nový a začíná se využívat zejména u nákladních vozidel se vznětovými motory. [4]

Kvůli relativně vyšší teplotě vznícení zemního plynu (550 °C) oproti motorové naftě (300 °C) nelze dosáhnout vznícení plynu pomocí kompresního tepla a musí být zajištěno jiným způsobem. Existují zatím tři základní způsoby jak toho dosáhnout [4]:

- klasickou svíčkou
- žhavicí svíčkou
- pilotním předvstřikem motorové nafty

3.3.1 S KLASICKOU SVÍČKOU

Uspořádání je podobné systému s přímým vstřikováním benzínu s centrálně umístěným vstřikovačem (Obr. 16). Vstřikovací systém pracuje s nízkým vstřikovacím tlakem (2 MPa), který je vytvářen speciálním kompresorem zemního plynu. Vstřikování probíhá při kompresním zdvihu pístu, kdy je přesný okamžik a množství vstřikovaného paliva závislé na provozních stavech motoru. Při vyvíjení vstřikovačů pracujících se zemním plynem byly testovány různé koncepce s různým vstřikovacím úhlem, který má vliv na promíchání směsi ve spalovacím prostoru. Výhodou tohoto typu je vyšší účinnost spalovacího procesu oproti nepřímému vstřikování plynu a zvýšení maximálního točivého momentu zejména při nízkých otáčkách motoru. [4]



Obr. 16 Přímé vstřikování zemního plynu s klasickou svíčkou [48]



3.3.2 SE ŽHAVÍCÍ SVÍČKOU

Tento systém se podobá vysokotlakému vstřikování Common Rail u vznětových motorů. Motor má v tomto případě kompresní poměr 16 až 18: 1 a plyn je do válce vstřikován před koncem kompresního zdvihu pod tlakem kolem 20 MPa. Směs plynu se vzduchem je zažehnta pomocí žhavicí svíčky. Vysokotlaký kompresor zajišťuje v systému stálý tlak. Předností tohoto systému je nižší spotřeba a vyšší výkon oproti vznětovému motoru. Díky nižším pracovním teplotám dochází k ještě nižší produkci emisí NO_x. [4]

3.3.3 S PILOTNÍM PŘEDVSTŘIKEM MOTOROVÉ NAFTY

V podstatě se jedná o dvoupalivový systém se speciálním vstřikovačem (Obr. 17), který umožňuje vstřikování jak nafty, tak zemního plynu. Nafta je vstřikována před hlavním vstřikem zemního plynu a jejich poměr činí přibližně 30: 70. Pilotní předvstřík nafty způsobí zvýšení teploty ve spalovacím prostoru pro snadné zažehnutí směsi. Palivová soustava vznětového motoru zůstává zachována a je pouze doplněna palivovou soustavou zemního plynu. Vývoj tohoto systému se zaměřuje na snížení podílu motorové nafty, což vede k snížení produkce škodlivých emisí. U nejnovějších systémů se podařilo dosáhnout 5% podílu nafty. [4]



Obr. 17 Speciální vstřikovač nafty a zemního plynu [47]



3.4 VLIV TVARU SPALOVACÍHO PROSTORU NA PLNĚNÍ VÁLCŮ A SPALOVÁNÍ

Spalovací proces zážehového motoru je rozdělen do období vzniku plamene a hoření směsi. [37]

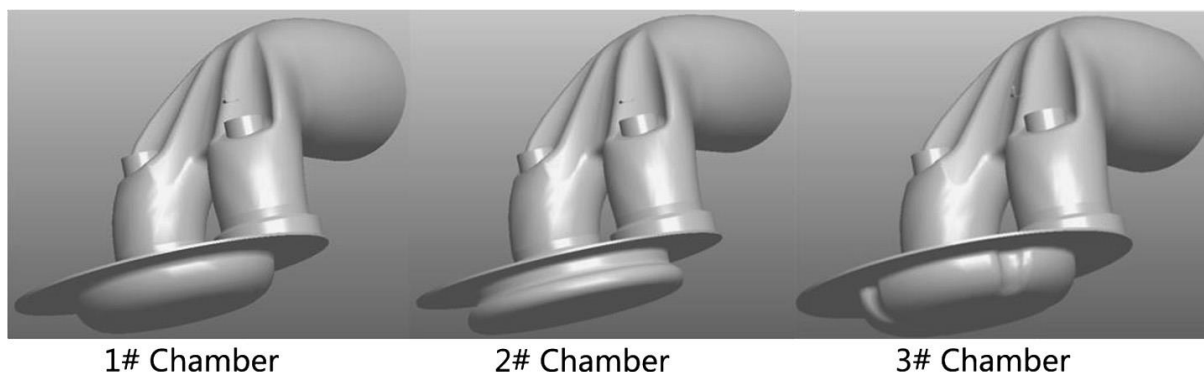
Bylo experimentálně zjištěno, že intenzita turbulence plynu ve spalovací komoře nemá téměř žádný vliv na vznik jádra plamene při spalovacím procesu, ale má zásadní vliv na rychlost šíření plamene. Čím větší je intenzita turbulence, tím rychleji se šíří čelo plamene po zapálení směsi. Zvýšení turbulentní kinetické energie (TKE) může být dosaženo zlepšením struktury sacích kanálů nebo tvarem spalovací komory ve dně pístu motoru. [37]

Koeficient přebytku vzduchu u motorů spalující plyn jen nejméně 1,3. Motory na CNG pracují s chudou směsí, která zvyšuje tepelnou účinnost motoru, ale snižuje stabilitu spalování a rychlost šíření plamene je u těchto motorů mnohem pomalejší než u benzínu nebo nafty. Spalovací systém CNG motorů tak musí být optimalizován. Zvýšení průtoku směsi a rychlost šíření plamene jsou základní kritéria pro spalování chudé směsi v CNG motoru. Návrh vhodné geometrie spalovací komory je považován za důležitý krok ke zvýšení výkonu spalovacího systému a při jejím návrhu je důležitá CFD analýza, která slouží k počítání dynamických parametrů tekutin. [37]

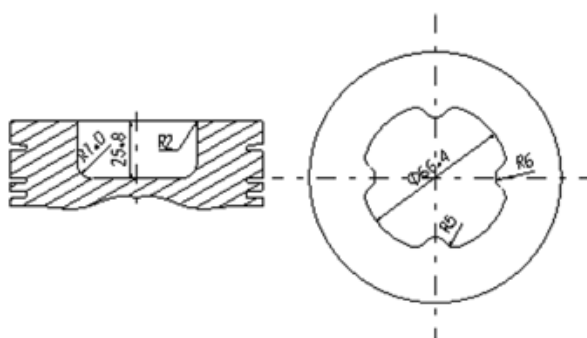
3.4.1 ANALÝZA RŮZNÉ KONFIGURACE SPALOVACÍ KOMORY

Na Obr. 18 jsou zobrazeny tři odlišné geometrie spalovací komory ve dně pístu. Obsahy jejich ploch jsou následující: 35301,72 mm² (1#), 42371,12 mm² (2#) a 36011,13 mm² (3#). Tvar spalovací komory má vliv nejen na rychlost šíření plamene při spalovacím procesu, ale také na detonaci, tepelné ztráty a účinnost motoru. [37]

Při vývoji spalovacích komor v pístech se ukázal miskovitý tvar jako nejlepší volba z důvodu lepšího rozložení směsi těsně před jejím zapálením. [37]

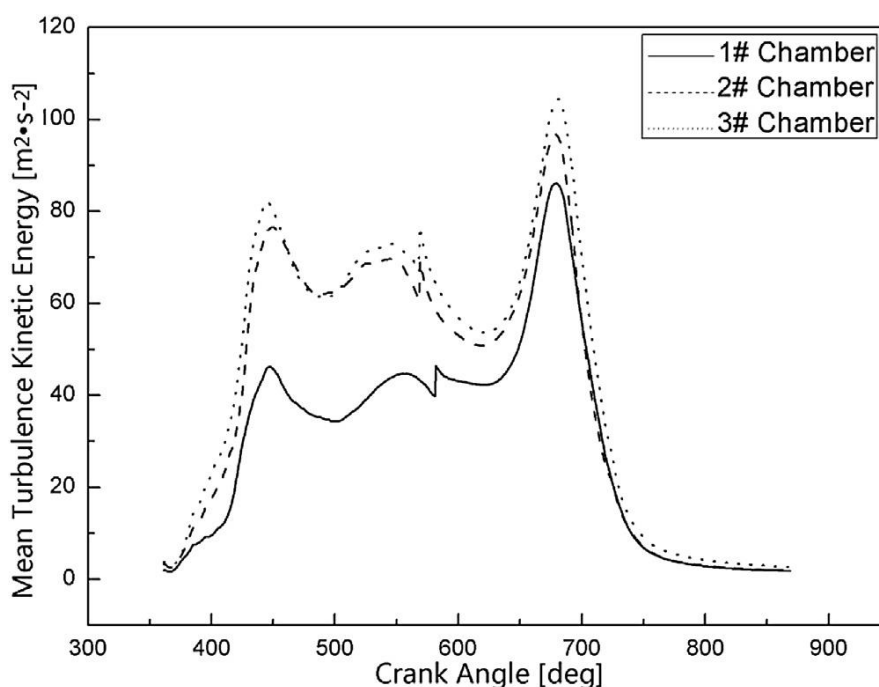


Obr. 18 Tři geometrické modely tvaru spalovací komory [37]



Obr. 19 Spalovací komora 3# ve tvaru kříže [38]

Jak lze vidět na Obr. 20 nevyšší TKE je u komory 3# ve tvaru kříže (Obr. 19), jen o trochu menších hodnot dosahuje komora 2# a nejnižší energii vytváří spalovací komora 1# s velkým rozdílem oproti komorám 2# a 3#. Z toho vyplývá, že velikost plochy a tvar spalovací komory mají zásadní vliv na velikost TKE ve válci. U všech tří typů pístů se objevuje vrchol, ještě před dosažením horní úvratě, který je způsobený turbulencemi na začátku kompresního zdvihu a svého maxima dosahuje TKE ke konci kompresního zdvihu, což je výhodné pro promíchání směsi. S klesající rychlostí pístu turbulentní kinetická energie rychle klesá. Doba před dosažením horní úvratě je důležitá pro vznik a rozvoj plamene. [37]

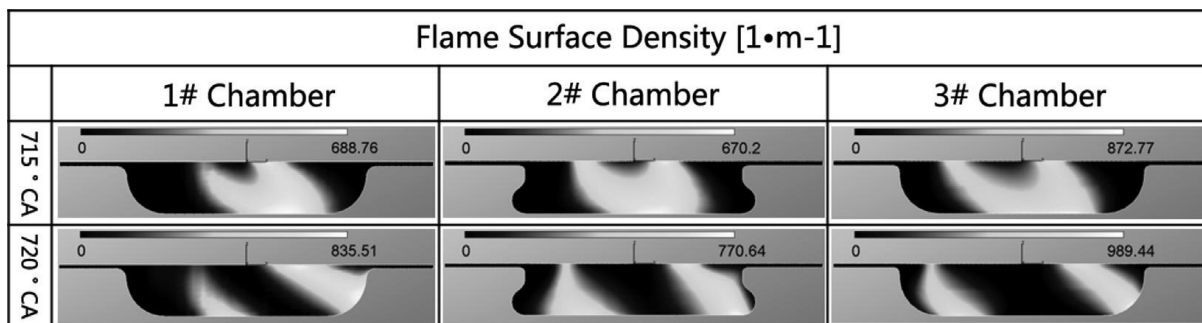


Obr. 20 Křivky turbulentní kinetické energie ve válci [37]

Při vzniku plamene u zážehových motorů se uvolní 10 % chemické energie obsažené v palivu a zbytek se využije pro hoření (90 % hmotnostního podílu). Doba vzniku plamene mezi třemi různými spalovacími komorami jsou podobné, zatímco rychlost hoření se výrazně liší. Turbulence má menší vliv na vývoj plamene v období formace, jelikož se plamen šíří rychlostí s laminárním prouděním. Kdežto při hoření směsi se plamen šíří rychlostí s turbulentním prouděním a turbulence tak zvyšuje jeho rychlost. [37]

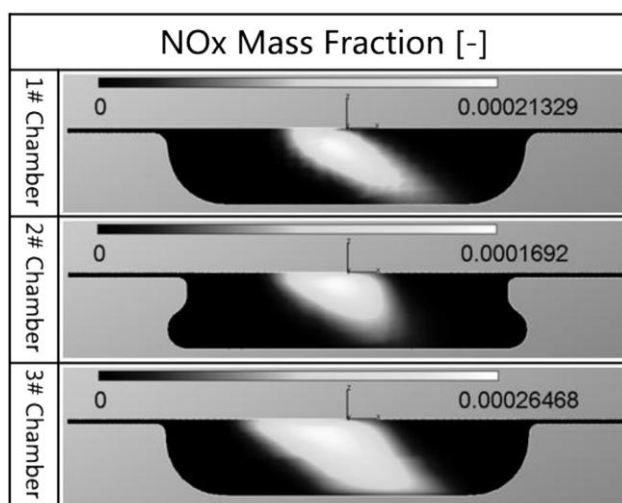


Rozložení hustoty povrchu plamene ukazuje Obr. 21, z něhož je zřejmé, že vývoj plošné hustoty plamene v spalovací komoře 1# zaostává za komorami 2# a 3# což je v souladu s porovnáním TKE. Největší hodnota hustoty povrchu plamene je u komory 3#, což znamená, že rychlost šíření plamene zde nejrychlejší, zatímco v komoře 1# je nejpomalejší. Ukázalo se, že velikost TKE je důležitým faktorem ovlivňujícím rychlost hoření. V podstatě při jiskrovém zapálení směsi podporuje turbulentní proudění výměnu mezi hořlavou a nehořlavou směsí blízko povrchu plamene, což rozšíří čelo plamene a rychlost jeho šíření je proto vyšší. [37]



Obr. 21 Rozložení hustoty povrchu plamene [37]

Poslední zkoumanou veličinou je hmotnostní podíl oxidů dusíku (NO_x) ve válci motoru. Obohacení kyslíkem, vysoká teplota a doba trvání kyslíku a dusíku při vysoké teplotě jsou tři základní faktory generace NO_x ve spalovacím procesu. Jak je znázorněno na Obr. 22, NO_x vznikají v oblasti hoření. V důsledku vysoké teploty v blízkosti zapalovací svíčky je zde největší koncentrace NO_x . Rychlejší turbulentní proudění u komory 3# podporuje rychlost spalování, což vede k tvorbě většího množství NO_x . Poměrně rovnoměrné rozložení TKE v komoře 2# vyvíjí relativně harmonické spalování ve válci a množství vzniklých oxidů dusíku je tak nižší. [37]

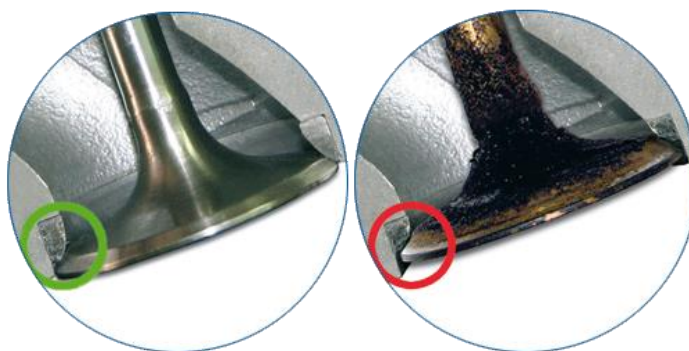


Obr. 22 Rozložení NO_x ve válci [37]



4 PROBLÉM MOTORŮ SPALUJÍCÍCH CNG

Zemní plyn je suché palivo a na rozdíl od benzínu neobsahuje přísady proti opotřebení motoru. Jeho vyšší oktanové číslo vede k vyšším teplotám ve spalovacím prostoru, které zvyšují mimořádnou zátěž horkých a suchých ventilů a ventilových sedel. [25]



Obr. 23 Ukázka zaklepaného ventilu [25]

Dochází tak k tzv. „zaklepávání ventilů“ a opotřebení ventilových sedel (Obr. 23) což vede k ztrátě tlaku ve válcích a tedy i výkonu, nepravidelnému chodu motoru, problémům při startování a hrozí podpálení ventilu. Dalšími důsledky jsou pak zvýšená spotřeba paliva a zvýšené emise motoru. Opotřebovanou hlavu válců je pak nutné opravit nebo vyměnit. [25]

Dostatečným řešením tohoto problému motorů na CNG nejsou ani sedla ventilů z kvalitnějších materiálů, jelikož jsou náchylná k selhání kvůli korozi a porušení, což potvrdil i výzkum v USA. [25]

4.1 ŘEŠENÍ

4.1.1 EXTERNÍ ADITIVACE VENTILŮ

Jedná se o externí dávkovací sadu, která do motoru dávkuje účinnou kapalinu na bázi draslíku. Tato kapalina má na motor podobný ochranný účinek jako dříve používané přísady v olovnatých benzínech, ale není škodlivá životnímu prostředí. Pokrývá ventily, drátky ventilů a sedla ventilů ochranným filmem, který je chrání proti mechanickému opotřebení a zároveň čistí celý prostor válce od karbonových usazenin. [24]

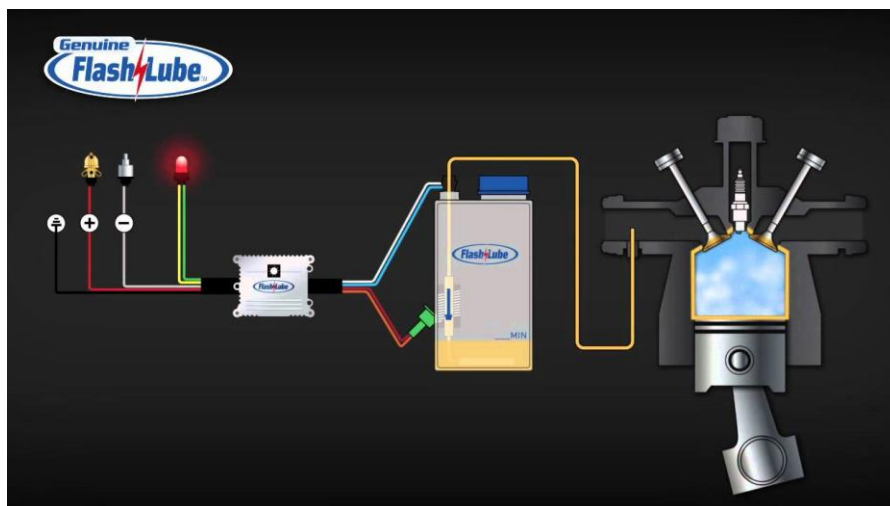
PODTLAKOVÉ DÁVKOVÁNÍ S MECHANICKOU REGULACÍ

Běžící motor vytváří ve sběrném sacím potrubí podtlak, který vzniká také ve skleněné kontrolní trubici aditivační jednotky přes propojovací hadici. Při proudu palivové směsi se aditivum rozpráší na velmi malé kapičky, které se smíchají s palivovou směsí a spolu s ní jsou nasávány do jednotlivých válců motoru, tím je zajištěna ochrana všech potřebných částí. Regulace průtoku aditiva je zajištěna přesným jehlovým ventilem ve skleněné kontrolní trubici. Při zatíženém motoru se paradoxně aditivum do motoru nedodává, jelikož v sání není potřebný podtlak. [26]



PODTLAKOVÉ DÁVKOVÁNÍ S ELEKTRONICKOU REGULACÍ (OBR. 24)

Aditivum je do motoru přiváděno opět díky podtlaku, ale jeho množství je regulováno elektronicky řídicí jednotkou, která přesně odměří dávku podle zatížení motoru pouze při provozu na zemní plyn. Existují buď sady základní, které dávkuji kapalinu do centrální komory sacího potrubí a regulace tak probíhá pro všechny válce současně, nebo pokročilejší sady, které již mají elektronické odměřování množství aditiva pro každý válec zvlášť. Tento systém přimazávání je určen pro běžné nepřepřehované motory. Jeho nevýhodou je, že je aktivní i při provozu na benzin. [27]



Obr. 24 Schéma podtlakového dávkování s elektronickou regulací od firmy Flashlube [35]

TLAKOVÉ DÁVKOVÁNÍ S ELEKTRONICKOU REGULACÍ (ELECTRONIC VALVE PROTECTOR)

Aditivum je pomocí čerpadla dodáváno mezi filtr plynné fáze a plynové vstřikovače a je tak vstřikováno společně s plynem do sacího potrubí motoru, což výrazně prodlužuje životnost vstřikovačů, které jsou aditivem čištěny a promazávány. Na rozdíl od předcházejících systémů, u kterých je aditivum nasáváno podtlakem pouze při deceleraci (brždění motorem) nebo na volnoběh, je u tohoto systému zajištěno dávkování ve všech možných režimech motoru a v odpovídajícím množství. Tím je zajištěna nejen kvalitnější ochrana motoru, ale také efektivnější a úspornější využití aditiva. Jeho množství je řízeno pouze dobou otevření vstřikovačů, kdy delší otevření vstřikovače odpovídá vyšší dávce aditiva. Výhodou tohoto systému je minimální údržba a snadná montáž. [28]

4.1.2 PŘÍSTŘIK BENZINU

V programu řídicí jednotky motoru se nastaví úroveň otáček, zatížení motoru a procento přístřiku benzínu, pokud během jízdy dojde k překročení obou zadaných parametrů, přístřik se aktivuje a zůstává aktivní do té doby, po kterou jsou obě úrovně překročeny. Při tomto aktivním programu, sníží zároveň elektronická řídicí jednotka množství vstřikovaného plynu a nahradí jej právě benzinem tak, aby byl zachován poměr směsi. Vstříknutím benzínu se sníží také tepelné zatížení motoru a dojde tak k jeho ochlazení. Výhodou tohoto systému je bezúdržbový provoz. Průměrná spotřeba benzínu na tento proces je cca 1 litr benzínu na 100 kilometrů kombinovaného provozu. [24]



5 PŘÍKLADY CNG VOZIDEL

V této kapitole jsou uvedeny příklady vozidel pro zemědělce, který by měl zájem o využití bioplynu jako paliva pro svou firemní flotilu a to jak pro zemědělské stroje jako jsou traktory, tak pro užitkové a osobní automobily.

5.1 TRAKTOR STEYR PROFI 4135 NATURAL POWER

Firma Steyr, jejímž většinovým vlastníkem je společnost Fiat představila na veletrhu Agri-technica v roce 2011 vůbec první traktor s motorem na zemní plyn. [40]



Obr. 25 Traktor Steyr Profi 4135 Natural Power [40]

Steyr Profi 4135 Natural Power (Obr. 25) je vybaven přeplňovaným motorem s palivovým systémem pouze na zemní plyn. Čtyřválcový motor o objemu 3 litry má jmenovitý výkon 100 kW/136 hp a maximální výkon 105 kW/143 hp při točivém momentu 542 Nm na výstupní hřídeli převodovky. Zemní plyn je skladován celkem v devíti tlakových nádržích o celkovém objemu 300 litrů integrovaných do karoserie traktoru. Traktor má stejnou výbavu jakou standardní Profi série včetně hydraulické kontroly zatížení dodávající průtok $113 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ a elektronicky řízeným závěsem s nosností 7 864 kg. Maximální rychlost traktoru je $50 \text{ km}\cdot\text{hod}^{-1}$. [40]



5.2 TRAKTOR VALTRA N103.4 HiTECH DUAL FUEL

Finská společnost Valtra se zabývá vývojem dvoupalivových traktorů již od roku 2008 a od roku 2013 se stala prvním sériovým výrobcem traktorů poháněných zemním plynem s označením Dual Fuel. [39]



Obr. 26 Traktor Valtra N103.4 HiTech Dual Fuel [39]

Jedním ze současně vyráběných modelů je N103.4 (Obr. 26) přestavěný pro pohon jak na naftu, tak na zemní plyn. Elektronicky řízené vstřikovače plynu fungují paralelně s klasickými vstřikovači nafty. Vstřikováním malého množství nafty se dosahuje vznícení směsi ve válci. Plynové nádrže z kompozitního materiálu jsou umístěny pod úrovní podlahy kabiny tak, aby neovlivňovaly těžiště, nesnižovaly viditelnost, světlou výšku nebo možnost užívání důležitého vybavení jako je čelní nakladač. Kapacita plynových nádrží je 192 litrů, která postačí na přibližně čtyři hodiny práce, ale je možné připojit přídatné nádrže například jako závaží v přední části traktoru. Objem nádrží na naftu je stejný jako u klasického diesellového traktoru. [39]

Tab. 2 Srovnání technických parametrů motoru při různém provozu [39]

<i>N103.4 HiTech</i>	<i>Diesel</i>	<i>Dual Fuel</i>
<i>Výkon kW / ot·min⁻¹</i>	69/2000	69/2000
<i>Výkon hp / ot·min⁻¹</i>	94/2000	94/2000
<i>Krouticí moment Nm / ot·min⁻¹</i>	460/1500	480/1400
<i>Podíl (%) Diesel / CNG</i>	100/0	17/83



5.3 TRAKTOR NEW HOLLAND T6.140 METHANE POWER

Prototyp traktoru New Holland T6.140 (Obr. 27) s motorem na zemní plyn byl představen na výstavě Agritechnica 2013. [42] Traktor je poháněn čtyřválcovým motorem o objemu 3 litry s výkonem 135 koní (101 kW) a točivým momentem 620 Nm. Zásobu zemního plynu zajišťuje 9 láhví o celkovém objemu 300 litrů, což umožňuje traktoru pracovat po dobu asi půl dne za normálních provozních podmínek. V případě potřeby má traktor i rezervní nádrž s 15 litry benzínu.



Obr. 27 Traktor New Holland Methane Power T6.140 [42]

Tlakové nádrže jsou integrovány do konstrukce traktoru tak, aby neomezovaly viditelnost ani výšku vozidla. Ve srovnání s vznětovým motorem produkuje asi o 80 % méně škodlivých látek ve výfukových plynech. Použití zážehového motoru také zjednodušuje ošetření výfukových plynů, které provádí třístupňový katalyzátor ve výfukovém potrubí. Na komerční trh zatím nevstoupil, jelikož stále běží jeho pětiletý testovací proces. Nicméně výrobce říká, že jeho cena by měla být stejná jako jeho srovnatelný dieselový model. [42]



5.4 FIAT DUCATO DODÁVKA 290 CNG

Společnost Fiat se pyšní nejširší paletou modelů s pohonem na CNG. První vůz s pohonem na CNG byl uveden na trh již v roce 1997. [43]



Obr. 28 Fiat Ducato dodávka 290 CNG [43]

Dodávka Ducato 290 CNG (Obr. 28) je nabízena s objemy zavazadlového prostoru od 10–17 m³, který není nijak omezený užitím stlačeného zemního plynu. Srdcem alternativní verze je třilitrový motor primárně určený pro spalování CNG o výkonu 100 kW a točivým momentem 350 Nm, který doplňuje šestistupňová manuální převodovka. S celkovým objemem nádrží 37 kg (289 l) při kombinované spotřebě 8,8 kg na 100 km ujede vozidlo na CNG 400 kilometrů. Cena modelu se zavazadlovým prostorem o objemu 11,5 m³ s nosností 935 kg je 620 940 Kč. V porovnání s dodávkou s naftovým motorem srovnatelného výkonu a stejným objemem zavazadlového prostoru je CNG verze o cca 140 000 Kč dražší. [43],[56]



5.5 FIAT DOBLÓ DODÁVKA

Menší užitkový vůz od Fiatu (Obr. 29) má přeplňovaný motor o objemu 1,4 l s výkonem 88 kW a maximálním točivým momentem 206 Nm. Se spotřebou 4,9 kg na 100 km a celkovým objemem pěti nádrží 16,15 kg (126 l) ujede na stlačený zemní plyn cca 330 km. O pohodovou jízdu se stará zavěšení kol McPherson vpředu a víceprvkové nezávislé zavěšení kol Multilink vzadu. [43]



Obr. 29 Fiat Dobló dodávka [43]

V čem se Dobló konkurence nevyrovná, je určitě nosnost, která činí úctyhodných 980 kg. Další výhodou je také nízké položení nákladového prostoru ve výšce pouhých 54,5 cm se šířkou mezi podběhy kol 123 cm. [43] S objemem zavazadlového prostoru 3,4 m³ vyjde Fiat Dobló s dvoupalivovým systémem benzin/CNG na 378 120 Kč, což je oproti klasické benzinové verzi se srovnatelnou nosností o zhruba 73 000 Kč více. [43],[57]



5.6 OSOBNÍ AUTOMOBIL ŠKODA OCTAVIA G-TEC

Nejprodávánější vůz od tuzemského výrobce v alternativní verzi na stlačený zemní plyn je na trhu již poměrně dlouho a prošel již mnoha redakčními testy, které zjistily, že náklady na provoz lze snížit pod 1 Kč na kilometr jízdy. [44]



Obr. 30 Škoda Octavia G-TEC [45]

Pod kapotou Octavie (Obr. 30) je ukrytý přeplňovaný motor 1,4 TSI o výkonu 81 kW opět s dvoupalivovým systémem benzin/CNG, který splňuje emisní normu Euro 6. Ekologičnost vozu zvyšuje také systém Start-Stop a rekuperace brzděné energie. Dvě nádrže na CNG pojmu celkem 15 kg (117 l) stlačeného zemního plynu. Při udávané spotřebě 3,5 kg zemního plynu na 100 km stačí toto množství na 430 km a v kombinaci s benzinovou nádrží o objemu 50 l ujede automobil až 1370 km bez tankování. Octavia je také populární svým velkým zavazadlovým prostorem, který u modelu G-TEC zaujímá 460 litrů. Cena startuje na částce 448 900 Kč a ve srovnání s benzinovou verzí ve stejné výbavě s motorem 1,0 TSI o výkonu 85 kW je to jen o zhruba 53 000 Kč více. [44],[58]



6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝSTAVBY PLNICÍ STANICE

6.1 POPIS STUDIE

Předmětem této studie jsou dva modelové případy využití bioplynu z bioplynové stanice zemědělského družstva a jejich porovnání. V obou případech jsou provedeny ekonomické analýzy pouze na zpracování bioplynu bez uvažování nákladů na jeho výrobu. Podnik využívá několik vozidel, mezi něž patří: šest traktorů Valtra, dodávka Fiat Ducato, dvě menší dodávky Fiat Dubló a dva osobní automobily Škoda Octavia. Cílem je zjistit, který z případů by byl pro provozovatele bioplynové stanice výhodnější.

První případ popisuje model, který je na bioplynových stanicích v ČR nejběžnější. Jedná se o zpracování bioplynu v kogenerační jednotce po jeho úpravě v odsiřovacím zařízení. Spalováním bioplynu v kogenerační jednotce vzniká tepelná a elektrická energie. Teplo je využíváno pro vytápění všech budov zemědělského družstva včetně fermentorů bioplynové stanice a generovaná elektrická energie je prodávána do rozvodné sítě za výkupní cenu.

Druhým případem je kombinace kogenerační jednotky, čistícího zařízení, zásobníků plynu a veřejné plnicí stanice. Kogenerační jednotka je stejná jako v prvním případě, jen nepracuje stále na plný výkon, jelikož je bioplyn regulátorem rozdělován mezi zařízení upravující kvalitu bioplynu a kogenerační jednotku. Spouštění a odběr bioplynu čistícím zařízením závisí na objemu biometanu v zásobnících, které jej dodávají plnicí stanici. Ta je k dispozici jak veřejnosti, tak podnikovým vozidlům zemědělského družstva.

6.2 ANALÝZA

6.2.1 PRVNÍ PŘÍPAD

Kogenerační jednotka Quanto D1200 od firmy Tedom pracuje stále na plný výkon 1 200 kW elektrické energie v průměru 8 000 hodin ročně. Odstávky zahrnují údržbu, případně poruchy a opravy jak samotné jednotky, tak odsiřovacího zařízení nebo bioplynové stanice. Po odečtení vlastní spotřeby elektrické energie bioplynové stanice, hospodářských a administrativních budov a ztrát při transformaci je do sítě dodáváno cca 80 % z energie vyrobené kogenerační jednotkou. Roční účtovaná energie tak dosahuje hodnoty asi 7 694,4 MWh. Při aktuální výkupní ceně elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů 3 550 Kč·MWh a výši zelených bonusů 2 700 Kč·MWh se příjem pohybuje okolo 48 mil. Kč za jeden rok. Ve výdajích jsou započítány investiční náklady na kogenerační jednotku včetně odsiřovacího zařízení a náklady na jejich provoz. (Tab. 3) [54],[61],[63]



Tab. 3 Ekonomická analýza prvního případu [54],[55],[61],[62],[63]

Roky	1.	2. a další
Příjmy		
Prodej elektrické energie	27 315 000 Kč	27 315 000 Kč
Zelené bonusy	20 775 000 Kč	20 775 000 Kč
Příjmy celkem	48 090 000 Kč	48 090 000 Kč
Výdaje		
Investiční náklady	14 785 000 Kč	0 Kč
Provozní náklady	2 694 000 Kč	2 694 000 Kč
Výdaje celkem	17 479 000 Kč	2 694 000 Kč
Zisk	30 611 000 Kč	45 396 000 Kč

6.2.2 DRUHÝ PŘÍPAD

Jelikož se bioplyn dělí mezi kogenerační jednotku a čistící zařízení, pracuje jednotka v průměru na 75 % svého plného výkonu, čemuž odpovídá výkon 900 kW s průměrnou dobou provozu 8 000 hodin ročně. Při zanedbání vlastní spotřeby čistícího zařízení a plnicí stanice je do sítě dodáváno cca 80 % výstupní elektrické energie, stejně jako v prvním případě. Za rok se tak prodá asi 5 471 MWh. Plnicí stanice slouží podnikovým vozidlům jako neomezený zdroj paliva, naproti tomu veřejnost za odebraný plyn platí částku odpovídající ceně CNG, tedy zhruba 18 Kč·m³. V průběhu jednoho dne navštíví plnicí stanici průměrně 40 vozidel a prodá se tak cca 4 m³ stlačeného biometanu. Každé podnikové vozidlo při svém provozu šetří peníze v porovnání s provozem vozidel na klasická paliva. Při ročním nájezdu osobních a užitkových vozidel 20 000 km a provozu traktorů 1000 motohodin za rok činí tato úspora téměř 12 mil Kč. Počáteční investice jsou poměrně vysoké, neboť zahrnují nákup kogenerační jednotky s odsiřovacím zařízením, zařízení na úpravu bioplynu, regulátor, zásobníky biometanu a plnicí stanici. Provozní náklady počítají s údržbou a opravami všech těchto zařízení. (Tab. 4) [43],[44],[54],[61],[59],[60]

Tab. 4 Ekonomická analýza druhého případu [43],[44],[54],[55],[56],[57],[58],[59],[60],[61],[62],[63],[64]

Roky	1.	2. a další
Příjmy		
Prodej elektrické energie	19 422 000 Kč	19 422 000 Kč
Zelené bonusy	14 772 000 Kč	14 772 000 Kč
Prodej CNG	25 700 Kč	25 700 Kč
Úspora na palivech	11 752 000 Kč	11 752 000 Kč
Příjmy celkem	45 971 700 Kč	45 971 700 Kč
Výdaje		
Investiční náklady	47 717 000 Kč	0 Kč
Provozní náklady	2 525 000 Kč	2 525 000 Kč
Výdaje celkem	52 242 000 Kč	2 525 000 Kč
Zisk	-6 270 300 Kč	43 446 700 Kč



6.3 ZHODNOCENÍ

Z výpočtové analýzy je patrné, že investiční náklady u druhé varianty s plnicí stanicí jsou několikanásobně vyšší než u prvního případu a tento model je zpočátku ztrátový. Po zaběhnutí projektu se ale ukazuje, že by se mohl vyrovnat prvnímu řešení, jelikož v dalších letech se rozdíl mezi nimi stáhl pouze na cca 2,5 mil. Kč. Počáteční náklady by mohly snížit například dotace na zařízení upravující bioplyn, které jsou dnes poměrně drahé. Podstatnou část příjmu zabírá úspora na palivech firemních vozidel z čehož lze usoudit, že čím větší bude firemní flotila, tím více se vyplatí investovat do úpravny bioplynu a plnicí stanice. Naopak prodej biometanu veřejnosti moc zisku nepřináší, je to způsobeno hlavně jeho nízkou prodejní cenou.



ZÁVĚR

Cílem této rešeršní práce bylo objasnit překážky, které jsou kladeny komerčnímu využití bioplynu v oblasti dopravy a nevýhody tohoto způsobu využití. Dále bylo za úkol porovnat nakládání s bioplymem u nás a ve Švédsku. Ve stěžejní části byla popsána konstrukce a provoz vozidel na stlačený zemní plyn nebo biometan. Nakonec byla zhodnocena výstavba plnicí stanice zásobované biometanem.

Na začátku bylo nutné vysvětlit co to bioplyn je, jak vzniká a jaké jsou možnosti jeho použití. Byly zde popsány metody jeho čištění a zušlechťování na kvalitu paliva pro spalování v motorových vozidlech, nevýhody tohoto způsobu použití a jejich případné odstranění. Dále byly vytyčeny faktory bránící masivnímu rozšíření tohoto paliva v oblasti dopravy. Jelikož ve Švédsku jsou ve využití bioplynu v dopravě asi nejdál z celé Evropy, bylo provedeno porovnání mezi touto zemí a Českou republikou. Ukázalo se, že mají se zpracováním bioplynu mnohem více zkušeností, než ostatní země Evropy, který si z nich mohou vzít příklad.

Další část práce byla věnovaná využití stlačeného zemního plynu v dopravě, kde byl rozebrán historický vývoj od vzniku prvních plynových motorů až po současně využívaná plynná paliva. Stanovení výhod a nevýhod stlačeného zemního plynu může být rozhodující pro případného zájemce o tento typ alternativního paliva. Dále jsou popsány plnicí stanice CNG, jejichž počet rapidně roste a s tím lze očekávat i nárůst vozidel využívajících stlačený zemní plyn.

V hlavní části práce byla rozebrána konstrukce a popsán provoz vozidel na stlačený zemní plyn, které pracují s dvoupalivovým systémem stlačeného zemního plynu a benzínu případně nafty. Ke klasickému palivovému systému je přidán palivový systém stlačeného zemního plynu. Oba dva systémy mají svou řídicí jednotku, které mezi sebou komunikují a řidič tak může pohodlně volit druh provozu. Přímé vstřikování plynu je poměrně novou technologií a podle autora práce má vysokou perspektivu a lze očekávat další vývoj v této oblasti zejména v řešení problému s homogenním rozložením směsi. Jelikož motory poháněné plynem pracují s chudou směsí, která snižuje rychlost šíření čela plamene, je třeba tuto rychlost zvýšit turbulentním prouděním plynu. To je dosaženo tvarem spalovací komory ve dně pístu, který ovlivňuje intenzitu turbulence a tím i výkon motoru.

Problém všech plynových motorů je skutečnost, že plyn neobsahuje aditiva jako u kapalných paliv a dochází tak k opotřebením ventilů a ventilových sedel v hlavě válců. Proto musí být systém vybaven přimazávacím zařízením, které chrání tyto části motoru ochranným filmem a prodlužují tak jejich životnost nebo u moderních systémů vstřikování malého množství benzínu či nafty.

Předposlední kapitola je podkladem k vypracování případové studie, která je obsahem poslední kapitoly. V této studii byla provedena analýza výstavby plnicí stanice v zemědělském podniku. Byly vybrány typy vozidel, které jsou běžně používány v těchto podnicích. Následně byly definovány dva případy různého zpracování bioplynu, provedeny výpočty a výsledky zhodnoceny. Na základě tohoto zhodnocení autor práce usuzuje, že výhodnějším řešením by byl projekt bez kogenerační jednotky s tím, že by se biometan prodával do distribučního potrubí zemního plynu a část z něj by využívala plnicí stanice. Tento projekt by byl reálný, kdyby stát podpořil výkup biometanu nebo investici do čistícího zařízení. Jelikož byly zastaveny dotace na výrobu elektrické energie z OZE u podniků uvedených do provozu po roce 2014, nelze v dohledné době očekávat podporu tohoto řešení.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ŽÁKOVEC, Jan. *Využití plyných paliv v dopravě*. 1. vyd. Praha: GAS, 2001. ISBN 80-86176-86-X.
- [2] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
- [3] FRYBERT, Jan. *Alternativní pohony*. Brno: Integrovaná střední škola automobilní, 2015. ISBN 978-80-260-7548-6
- [4] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory*. 1. vyd. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2011. ISBN 978-80-213-2168-7.
- [5] Co je bioplyn? *Česká bioplynová asociace* [online]. České Budějovice, c2013 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/bioplyn/>
- [6] SEVEN O.P.S. *Využití bioplynu v dopravě* [online]. In: . Praha, 2009, s. 4 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.cngcompany.cz/gallery/bioplyn.pdf>
- [7] Vlastnosti BP. *Bioprofit* [online]. Lišov, c2007 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://www.bioplyn.cz/at_vlastnosti.htm
- [8] Čištění bioplynu. *ECoGas Technology* [online]. Klatovy [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.ecogas.cz/technologies/portfolio-2/>
- [9] Bioplynové stanice. *Enviton* [online]. Prštice, c2008 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/technologie-bps/>
- [10] Membránová separace bioplynu. *MemBrain* [online]. Stráž pod Ralskem, c2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.membrain.cz/membranova-separace-bioplynu.html>
- [11] Lenoir Hippomobile. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Hippomobile?uselang=de>
- [12] Zemní plyn jeho druhy. *RWE* [online]. c2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.rwe.cz/o-rwe/zemni-plyn/>
- [13] Mapa CNG stanic v ČR. *CNG+* [online]. c2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.cngplus.cz/cerpaci-a-plnici-stanice.html>
- [14] KNÍŽEK, Martin (ed.). Stanic se zemním plynem není málo, ale chybějí vhodná auta. *Hospodářské noviny* [online]. 2016 [cit. 2016-05-20]. ISSN 1213-7693. Dostupné z: <http://archiv.ihned.cz/c1-65176710-stanic-se-zemnim-plynem-neni-malo-ale-chybeji-vhodna-auta>
- [15] Statistiky. *CNG4You* [online]. c2011 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.cng4you.cz/cng-info/statistiky.html>



- [16] Škoda Octavia G-TEC. CNG+ [online]. c2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.cngplus.cz/auta/osobni-vozy/skoda-octavia-g-tec.html>
- [17] Dojezd Octavie III CNG bude rekordní. CNG+ [online]. c2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.cngplus.cz/dojezd-octavie-iii-cng-bude-rekordni.html>
- [18] Plnicí stanice CNG: CNG plnicí stanice - rychlé plnění. CNG4You [online]. c2011 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.cng4you.cz/stanice/rychleplnici-stanice.html>
- [19] Čerpací stanice CNG v ČR. Fedor Auto [online]. Prostějov, c2012 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.fedorauto.cz/cerpaci-stanice-cng>
- [20] Plnicí zařízení: CNG plnicí zařízení - pomalé plnění. CNG4You [online]. c2011 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.cng4you.cz/stanice/pomaluplnici-stanice.html>
- [21] Vydání CNG karty: CNG Card Centrum. RWE [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.cng.cz/cs/cng-card-centrum/>
- [22] PIELLISCH, Rich. Mercedes NGV To Debut At Paris Show. *Fleets and Fuels.com* [online]. New York, 2012 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.fleetsandfuels.com/fuels/cng/2012/09/mercedes-ngv-to-debut-at-paris-show/>
- [23] Products: CNG Cylinder Valves. *PT.MATESU ABADI* [online]. Jakarta Utara, c2012 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://matesu.co.id/en/product/cng-equipment/converter-kits-accessories>
- [24] Ochrana ventilových sedel. *Neptun Harfa* [online]. Praha [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.neptun-harfa.cz/Ochrana-ventilovych-sedel/3467.html>
- [25] Ochrana ventilů. *Autogas Barták* [online]. Moravské Budějovice, c2011-2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.autogas-bartak.cz/ochrana-ventilu/m381>
- [26] Ochrana ventilových sedel: Mechanické podtlakové. *Neptun Harfa* [online]. Praha [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.neptun-harfa.cz/Mechanicke-podtlakove/3881.html>
- [27] Ochrana ventilových sedel: Elektronické podtlakové. *Neptun Harfa* [online]. Praha [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.neptun-harfa.cz/Elektronicke-podtlakove/3880.html>
- [28] Ochrana motoru. *Gas expert* [online]. Praha [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.magicacoustic.cz/wordpress/prestavby-lpg-cng-e85/ochrana-motoru-ventilu-na-lpg/>
- [29] *10 let od Dobrovolné dohody k NAP ČM* [online]. In: . České Budějovice: Asociace NGV, 2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.ngva.cz/novinky/10-let-od-dobrovolne-dohody-k-nap-cm.html>



- [30] *Strategická výzkumná agenda* [online]. In: . České Budějovice: Asociace NGV, 2011, s. 84 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://www.ngva.cz/files/ngva/uploads/files/dokumenty/NGVA_SVA_ver_final.pdf
- [31] LAMPINEN, Ari. *Quality of Renewable Energy Utilization in Transport in Sweden*. 2015. ISBN 9789186607319
- [32] *Využití biometanu jako pohonné hmoty vykazuje ve Švédsku vyšší růst než zemní plyn* [online]. In: . České Budějovice: Asociace NGV, 2015 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.ngva.cz/novinky/vyuziti-biometanu-jako-pohonne-hmoty-vykazuje-ve-svedsku-vyssi-rust-nez-zemni-plyn.html>
- [33] MORAVEC, Adam: Již i v Česku bude automobily pohánět biometan. *Biom.cz* [online]. 2015-08-12 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/jiz-i-v-cesku-bude-automobily-pohanet-biometan>. ISSN: 1801-2655
- [34] LARSSON, M., S. GRÖNKVIST a P. ALVFORS. Upgraded biogas for transport in Sweden - Effects of policy instruments on production, infrastructure deployment and vehicle sales. *Journal of Cleaner Production* [online]. Elsevier Ltd, 2016, 112, 3774-3784 [cit. 2016-05-20]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.08.056. ISSN 09596526.
- [35] OCHRANAMOTORU.CZ | FLASHLUBE CZ. *Jak pracuje Flashlube Electronic Valve Saver Kit / OchranaMotoru.cz* [video]. In: . San Bruno: YouTube, 2012 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=kSh8pO7b3DE>
- [36] POVÝŠIL, Roman. Internetová poradna I-EKIS. In: *MPO-EFEKT.cz* [online]. Praha, 2010 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/cz/ekis/i-ekis/22849>. Dotaz číslo: 22849.
- [37] WU, Chongmin, Kangyao DENG a Zhen WANG. The effect of combustion chamber shape on cylinder flow and lean combustion process in a large bore spark-ignition CNG engine. *Journal of the Energy Institute* [online]. 2016, 89(2), 240-247 [cit. 2016-04-27]. DOI: 10.1016/j.joei.2015.01.023. ISSN 17439671. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1743967115000100>
- [38] YU, X., Z. LIU, Z. WANG a H. DOU. Optimize combustion of compressed natural gas engine by improving in-cylinder flows. *International Journal of Automotive Technology* [online]. 2013, 14(4), 539-549 [cit. 2016-04-27]. DOI: 10.1007/s12239-013-0058-3. ISSN 1229-9138. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12239-013-0058-3>
- [39] Valtra Dual Fuel tractors. *Valtra* [online]. Suolahti [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.valtra.com/dual-fuel.aspx>
- [40] Steyr Presents Dedicated Natural Gas Tractor. *NGV Global News* [online]. Austria, 2011 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.ngvglobal.com/blog/steyr-presents-dedicated-natural-gas-tractor-1130>
- [41] ŠMERDA, Tomáš, ČUPERA, Jiří, NOVÁK, Pavel: Provoz traktorového motoru na CNG nebo bioplyn. *Biom.cz* [online]. 2011-09-21 [cit. 2012-02-08]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/provoz-traktoroveho-motoru-na-cng-nebo-bioplyn>. ISSN: 1801-2655.



- [42] ZŁOTY, Piotr. Methane-powered New Holland T6.140 tractor. *gazeo.com* [online]. Łódź, 2014 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://gazeo.com/automotive/vehicles/Methane-powered-New-Holland-T6.140-tractor,article,7866.html>
- [43] *Katalog Natural Power - CNG* [online]. In: . Praha: Fiat, 2012, s. 12 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://www.fiatprofessional.cz/images/mod_catalog/pdf/134_1_CNG_program_katalog_2012_www.pdf
- [44] ŠKODA Octavia G-TEC. *ŠKODA* [online]. Mladá Boleslav, 2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/models/octavia-g-tec>
- [45] AUTOXAN. *2014 Skoda Octavia 1.4 G-TEC - Exterior and Interior Walk-around* [video]. In: . San Bruno: YouTube, 2014 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=s-vLT3h3kms>
- [46] MIRZAEI, M., M. MALEKAN a E. SHEIBANI. Failure analysis and finite element simulation of deformation and fracture of an exploded CNG fuel tank. *Engineering Failure Analysis* [online]. 1306, 30, 91-98 [cit. 2016-05-21]. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2013.01.015. ISSN 13506307. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630713000253>
- [47] *Westport and Delphi Sign Joint Development Agreement to Commercialize Natural Gas Injector Technology* [online]. Vancouver: ETruckKing, 2014 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://etrucking.com/forum/content.php?884-Westport-and-Delphi-Sign-Joint-Development-Agreement-to-Commercialize-Natural-Gas-Injector-Technology>
- [48] ZŁOTY, Piotr. *SPFI - direct natural gas injection* [online]. Łódź: gazeo.com [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://gazeo.com/automotive/technology/SPFI-direct-natural-gas-injection,article,7626.html>
- [49] Kit CNG Infinity. *BLUEMEC* [online]. Padova [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.bluemec.com/kit-cng-infinity.html>
- [50] Ceny aut na CNG klesají, zájem roste. *E.ON: EkoBonus* [online]. 2014 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.ekobonus.cz/ekologicka-doprava/auta-na-plyn/ceny-aut-na-cng-klesaji-zajem-roste>
- [51] CNG filling valves. *GASITALY S.r.l.* [online]. Brescia, c2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: http://www.gasitaly.com/cngfilling?example=1&cat_id=43&page_num=1
- [52] WEH® Fuelling Nozzle TK17 CNG for cars (NGV1). *WEH* [online]. c2016 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.weh.com/weh-fuelling-nozzle-tk17-cng-for-cars-ngv1-single-handed-operation-twin-hose-system-200-bar.html>
- [53] VOŘÍŠEK, Tomáš: Resuscitace biopaliv - biometanem. *Biom.cz* [online]. 2009-10-12 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/resuscitace-biopaliv-biometanem>. ISSN: 1801-2655.



- [54] TEDOM. Technická specifikace: Tedom Quanto D1200, bioplyn, protihlukový kryt. Třebíč, 2016.
- [55] NOVOTNÝ, Dalibor. Nabídka kogenerační jednotky a GTS TEDOM č. 6534 - 1. Třebíč, 2016.
- [56] *Ceník Ducato dodávka 290* [online]. In: . Praha: FIAT CHRYSLER AUTOMOBILES ČR, 2016, s. 5 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: http://www.fiatprofessional.cz/images/mod_catalog/pdf/445_1_Ducato_VAN_290_cenik%20%282%29.pdf
- [57] *Ceník Doblo dodávka* [online]. In: . Praha: FIAT CHRYSLER AUTOMOBILES ČR, 2016, s. 4 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: http://www.fiatprofessional.cz/images/mod_catalog/pdf/431_1_Doblo_VAN_cenik.pdf
- [58] *Škoda Octavia ceník* [online]. In: . Mladá Boleslav: ŠKODA AUTO, 2016, s. 4 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/SiteCollectionDocuments/skoda-auto/ke-stazeni/octavia-cenik.pdf>
- [59] Ceny CNG v České republice. CNG+ [online]. c2016 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.cngplus.cz/ceny-cng.html>
- [60] Vývoj ceny benzínu, nafty, aktuální cena a podrobný graf. Kurzy.cz [online]. Praha, c2000-2016 [cit. 2016-05-24]. ISSN 1801-8688. Dostupné z: <http://www.kurzy.cz/komodity/benzin-nafta-cena/>
- [61] MORAVEC, Adam: Analýza ročního provozu bioplynové stanice. *Biom.cz* [online]. 2013-06-03 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/analiza-rocniho-provozu-bioplynovy-stance>. ISSN: 1801-2655.
- [62] DVOŘÁČEK, Tomáš: Ekonomika bioplynových stanic pro zpracování BRO. *Biom.cz* [online]. 2010-07-19 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/ekonomika-bioplynovych-stance-pro-zpracovani-bro>. ISSN: 1801-2655.
- [63] ČESKÁ REPUBLIKA. *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu .. podpora pro podporované zdroje energie*. In: . Jihlava: Energetický regulační úřad, 2014, ročník 14. Dostupné také z: http://www.eru.cz/documents/10540/613886/ERV_4_2014/4f60ee4b-5bfa-4636-846f-5c7dee3d8683
- [64] CHMÁTAL, Pavel. TVAJA CNG S.R.O. *Cena veřejné plnicí stanice*. Praha, 2016.
- [65] KAJAN, Miroslav: Výroba a využití bioplynu v zemědělství. *Biom.cz* [online]. 2002-11-26 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyroba-a-vyuziti-bioplynu-v-zemedelstvi>. ISSN: 1801-2655.



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Ar	argon
CAN	sběrnice
CNG	stlačený zemní plyn
CO ₂	oxid uhličitý
ČOV	čistírna odpadních vod
ČPS	Český plynárenský svaz
ČR	Česká republika
ENI	Státní správa tlakových nádob
EU	Evropská unie
H ₂	vodík
H ₂ O	voda
H ₂ S	sulfan (sirovodík)
HCN	kyanovodík
CH ₄	metan
LNG	zkapalněný zemní plyn
MEA	monoetanolamin
MHD	městská hromadná doprava
N ₂	dusík
N ₂ O	oxid dusný
NO	oxid dusnatý
NO _x	oxidy dusíku
NTC	termistor s negativním teplotním koeficientem
O ₂	kyslík
OSN	Organizace spojených národů
OZE	obnovitelné zdroje energie
PS	plnicí stanice
TKE	turbulentní kinetická energie
USA	Spojené státy americké