



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

VÝROBA BIOPLYNU JAKO AUTOMOBILOVÉHO PALIVA Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE

PRODUCTION OF BIOGAS AS AN AUTOMOTIVE FUEL FROM RENEWABLE MATERIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ZDENĚK FRÜHBAUER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ DLABAJA

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Zdeněk Frühbauer

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

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

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

Výroba bioplynu jako automobilového paliva z obnovitelných zdrojů energie

v anglickém jazyce:

Production of biogas as an automotive fuel from renewable materials

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bioplyn produkovaný anaerobní fermentací lze energeticky využít několika způsoby. Pokud je upraven na kvalitu zemního plynu lze ho použít také k pohonu dopravních prostředků. Jedním z významných zdrojů materiálu pro anaerobní fermentaci mohou být i biologicky rozložitelné odpady jakožto obnovitelný zdroj energie.

Cíle bakalářské práce:

Seznámit se s procesem anaerobní fermentace se zaměřením na produkci a složení bioplynu a jeho následnou úpravou na kvalitu zemního plynu. Provéřit dostupnost a kvalitu biologicky rozložitelných materiálů, především odpadů. Vyhodnotit energetickou a ekonomickou bilanci celého procesu a porovnat výsledky s nejrozšířenějšími konvenčními palivy.

Seznam odborné literatury:

Straka, F.: Bioplyn. 1. vyd. Rícany: GAS, 2003. 517 s. ISBN 80-7328-029-9.

Dohányos, M. a kol.: Anaerobní čistírenské technologie. 1. vyd. Brno: NOEL 2000, 1998. 341 s. ISBN 80-86020-19-3.

KÁRA, J. – MOUDRÝ, I. – KOUŘA, J.: Nové technologické systémy pro hospodárné využití bioplynu, výzkumná zpráva č.: Z 2510, VÚZT, v.v.i. Praha, 2008, 53 s vč. příloh

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Dlabaja

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 19.11.2009

L.S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je ustanovit a shrnout výrobu bioplynu jako automobilového paliva z obnovitelných zdrojů energie. V úvodní části jsou zpracována data o bioplynu, jeho tvorbě a chemickém složení. Důležitou část práce tvoří popis a porovnání dnes nejpoužívanějších metod čištění, které upravují bioplyn na kvalitu zemního plynu.

Nedílnou součástí práce je seznámit se s již fungujícími projekty a dozvědět se o možnostech výroby bioplynu z biologicky rozložitelného materiálu jako obnovitelného zdroje energie.

Závěr práce se zabývá energetickou, ekonomickou i ekologickou bilancí a zhodnocuje bioplyn po všech stránkách, které rozhodují o jeho využívání ve větší míře v automobilovém průmyslu.

Klíčová slova:

anaerobní fermentace, automobilové palivo, biologicky rozložitelný odpad, biomethan, bioodpad, bioplyn, obnovitelný zdroj energie

Abstract

The aim of this thesis is to specify and summarize possibilities of biogas production as a motor vehicle fuel by using the renewable energy sources. In the first part of the thesis there are the data concerning biogas, its production and chemical composition. An important part of the thesis is a description of current most used methods of cleaning which adjust biogas to quality of natural gas.

The important part of this thesis is to introduce some of already working projects and to get knowledge about possibilities of making biogas from biologically decomposable material as a renewable energy source.

The close of the thesis deals with energy, economy and ecological audit too and values biogas through all angles which decide about its using in larger size in the car industry.

Keywords:

anaerobic digestion, automotive fuel, biodegradable waste, biogas, biomethan, biowaste, renewable materials

Bibliografická citace

FRÜHBAUER, Z. *Výroba bioplynu jako automobilového paliva z obnovitelných zdrojů energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Dlabaja.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci *Výroba bioplynu jako automobilového paliva z obnovitelných zdrojů energie* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Tomáše Dlabaji a uvedl v ní všechny použité literární a jiné odborné zdroje v souladu s právními předpisy a vnitřními předpisy Vysokého učení technického v Brně.

V Brně dne 25. května 2010

vlastnoruční podpis autora

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi byli při vypracování bakalářské práce nápomocní. Obzvláště bych chtěl poděkovat Ing. Tomášovi Dlabajovi za odborné vedení této bakalářské práce a za pohotovité a vždy věcné odpovědi na mé dotazy.

Obsah

1	Úvod	13
2	Bioplyn	14
2.1	<i>Co je bioplyn</i>	14
2.2	<i>Princip tvorby bioplynu</i>	14
2.2.1	Hydrolýza	16
2.2.2	Acidogeneze	16
2.2.3	Acetogeneze	16
2.2.4	Methanogeneze	16
2.2.5	Bakterie a jejich životní podmínky	16
	Vlhké prostředí	16
	Zabránění přístupu vzduchu	16
	Stálá teplota	17
	Hodnota pH	17
	Přísun živin	17
	Velké kontaktní plochy	17
	Další zajištění životních podmínek	17
2.3	<i>Složení bioplynu</i>	17
2.3.1	Majoritní složky	18
2.3.2	Minoritní složky	18
	Síra	18
	Halogeny	19
	Křemík	19
	Další minoritní složky	19
3	Čištění bioplynu	20
3.1	<i>Technologie úpravy bioplynu na biomethan</i>	20
3.1.1	Metoda tlakových změn (PSA – Pressure Swing Adsorption)	20
3.1.2	Tlaková vodní vypírka - PWA (pressure water absorption)	21
3.1.3	Chemická vypírka - ChemA (chemical absorption)	22
3.1.4	Membránová separace	23
3.1.5	Nízkoteplotní rektifikace	24
3.1.6	Srovnání jednotlivých metod čištění	24
4	Popis fungujících projektů	27
4.1	<i>Popis švédského tržního prostředí</i>	27
4.2	<i>Popis tržního prostředí České republiky</i>	28
4.2.1	Česká republika a bioplyn	28
4.2.2	Česká republika a biomethan	29
	Dotace na zařízení čistící bioplyn na kvalitu zemního plynu	29

4.2.3	Využitelnost a potenciál biologicky rozložitelných odpadů.....	30
5	Energetická a ekonomická bilance.....	32
5.1	<i>Skleníkové plyny.....</i>	<i>32</i>
5.1.1	Well to Wheel analýza	33
5.2	<i>Ekonomické postavení bioplynu na českém trhu</i>	<i>36</i>
5.3	<i>Náklady na pořízení automobilu spalující bioplyn</i>	<i>37</i>
6	Závěr	40
	Seznam použité literatury.....	43

1 Úvod

Bioplyn, naše budoucí záchrana. I takto, ať už s nadsázkou nebo bez ní, můžeme označovat palivo, které by mohlo, alespoň částečně, nahradit fosilní paliva. Neustálý problém se znečišťováním životního prostředí a energetickou závislostí na ropných produktech by mohl pomoci vyřešit bioplyn, který má potenciál nahradit 10 – 20 % dnes nejběžněji používaných paliv. Bioplyn má společně s vodíkem možnost v budoucnu významně navýšit podíl automobilů využívající ekologická paliva. Obě alternativy těchto paliv jsou ovšem velmi mladé a jejich potenciál a ekonomické použití se v současnosti rychle mění s novými vědeckými objevy. U vodíku se řeší především problém s jeho uskladněním, naopak u bioplynu jeho čištění.

Významným kladem technologie výroby bioplynu je zpracování a využití komunálního odpadu, odpadu z čistíren odpadních vod a odpadu ze zemědělství, lesnictví a potravinářského průmyslu. Tím lze omezovat jejich likvidaci a problémy s tím spojené, především ukládání na skládky. V práci by tak měla být zmíněna dostupnost a kvalita biologicky rozložitelných materiálů, především potom odpadů.

Zvýšený zájem o bioplyn a technologie s ním spojené nám dokládá rostoucí počet navržených bioplynových stanic a větší zájem firem. Avšak k zintenzivnění výzkumu došlo až v druhé polovině 20. století, což přineslo nejen poznání mnoha nových druhů methanogenních mikroorganismů, ale i hlubší objasnění jejich životních podmínek, nároků a optim.

Globálně se projevuje snaha o omezení vypouštění škodlivých látek do životního prostředí a jednou z ekonomicky výhodných alternativ je bioplyn. Je ekologicky přijatelnější než fosilní paliva a svými náklady na výrobu, tak i praktickým využitím může konkurovat ostatním palivům. Hlavní problém, proč stále drtivá většina vozidel využívá klasická paliva, spočívá v omezené nabídce či dokonce absenci některých alternativních paliv, včetně bioplynu. Toto se snaží změnit nejrůznější analýzy, které se v poslední době začínají objevovat. Ty zkoumají alternativní paliva jak po energetické, tak po ekonomické stránce. Analýzy související s bioplynem si proto zaslouží svoji pozornost a mělo by z nich jasně vyplývat, jak moc je bioplyn přínosný pro zlepšení životního prostředí a současně s tím bude zhodnoceno i ekonomické hledisko.

Anaerobní technologie nabízí nové možnosti, jak získat energii z takových zdrojů, o kterých si mnozí myslí, že nám pouze zatěžují životní prostředí, avšak opak může být pravdou.

2 Bioplyn

Bioplyn (*anglicky Biogas*) je v podstatě plynné palivo, které vzniká rozkladem organické hmoty za nepřístupu vzduchu. Zpravidla se jedná o směs plynů, z nichž majoritní jsou metan (CH_4) a oxid uhličitý (CO_2). Někdy jsou ale pod názvem Biogas označována všechna plynná paliva z obnovitelných zdrojů, tj. i plyny ze zplyňování. Energeticky využitelný bioplyn je průmyslově vyráběn v bioplynových stanicích, čističkách odpadních vod a vzniká také v tělesech komunálních skládek.

2.1 Co je bioplyn

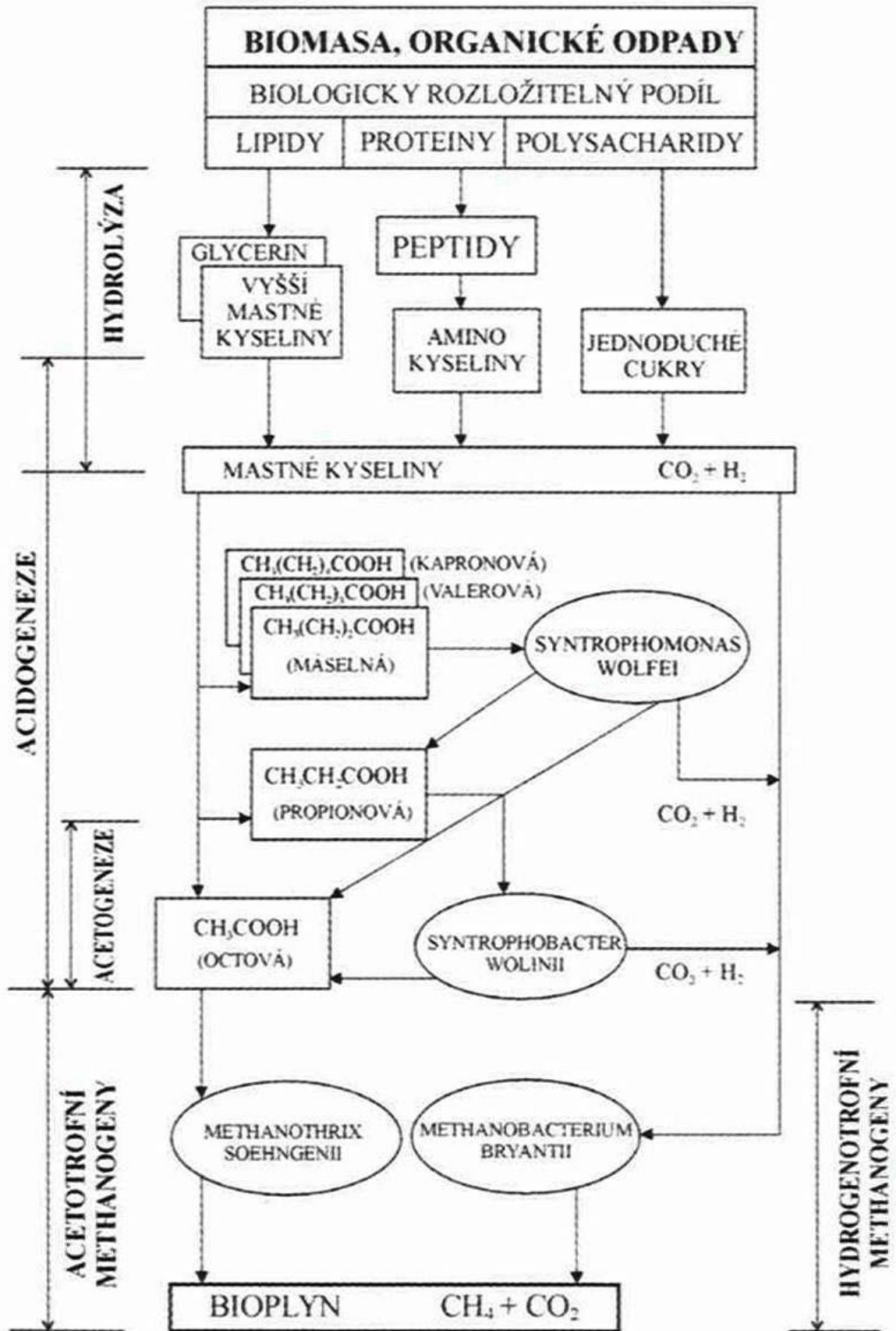
Laická a dokonce i odborná veřejnost se na definici bioplynu neshodne zcela jednoznačně. Bioplynem současná technická praxe nazývá plynný produkt anaerobní methanové fermentace organických látek známé též pod pojmy vyhnívání, anaerobní digesce, biomethanizace, biogasifikace.

Obecně můžeme bioplynem nazvat plynnou směs methanu a oxidu uhličitého. V plynném produktu dobře prosperujících methanogenních mikroorganismů představuje součet CH_4 a CO_2 hodnoty velmi blízké 100 % objemu, vždy s výraznou převahou CH_4 . Takový bioplyn můžeme považovat za „ideální“, avšak reálný bioplyn může obsahovat celou řadu dalších plynů jako N_2 , O_2 , Ar, H_2 , H_2S , N_2O , HCN, uhlovodíky a jejich deriváty (kyslíkaté či sirné). [1]

Zvláštní kapitolu tvoří tzv. skládkový bioplyn tvořící se samovolně ve skládkách odpadů. V principu jde o zcela stejné procesy, při kterých vzniká i reaktorový bioplyn, avšak složení skládkového bioplynu je proměnlivější a obsahuje navíc biologicky rozložitelné komponenty.

2.2 Princip tvorby bioplynu

Bioplyn je produkt látkové výměny methanových bakterií. K této výměně dochází, pokud bakterie rozkládají organickou hmotu. Celý rozklad je možno rozdělit na čtyři fáze. Tvorba bioplynu je znázorněna na obr. 1.



Obr. 1 Schéma vzniku bioplynu z biologicky rozložitelných odpadů [1]

2.2.1 Hydrolýza

Přítomné anaerobní bakterie přeměňují makromolekulární organické látky (bílkoviny, uhlovodíky, tuk, celulózu) na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě (jednoduché cukry, aminokyseliny, mastné kyseliny) pomocí extracelulárních hydrolytických enzymů (hydroláz). [1], [2]

2.2.2 Acidogeneze

Tato fáze se někdy nazývá též „kyselá“. Acidofilní bakterie provádějí další rozklad na jednoduché organické látky (nižší mastné kyseliny, alkoholy, CO₂, H₂). [1], [2]

2.2.3 Acetogeneze

V této fázi dochází ke tvorbě kyseliny octové, která je použita jako substrát pro závěrečnou fázi.

Představuje součást acidofilní fáze a probíhá až na jejím konci. Octotvorné bakterie vytvoří z produktů předchozích fází acetáty, oxid uhličitý a vodík. [1], [2]

2.2.4 Methanogeneze

Zde probíhá konečná tvorba bioplynu v alkalickém prostředí. Acetotrofní methanogenní bakterie vytvoří methan z kyseliny octové dle rovnice (1). Dále pak z oxidu uhličitého a vodíku tvoří methan hydrogenotrofní methanogenní bakterie dle rovnice (2).



2.2.5 Bakterie a jejich životní podmínky

Dnes rozlišujeme několik druhů methanococcus a methanobacterium o velikosti pouze 1 μm vyžadující různé typy péče. Všechny ale potřebují velice podobné životní podmínky:

Vlhké prostředí

Methanové bakterie nemohou žít v pevném substrátu, a proto musí být substrát zalit alespoň z 50% vodou, aby se bakterie mohli množit. [2]

Zabránění přístupu vzduchu

Primární a nejdůležitější požadavek pro rozvoj methanových bakterií je nepřítomnost kyslíku, jelikož jsou tyto bakterie striktně anaerobní. Pokud substrát

kyslík obsahuje (čerstvá kejda) musejí ho nejprve aerobní bakterie spotřebovat, k čemuž dochází k první fázi bioplynového procesu. [1], [2]

Stálá teplota

V zásadě lze říct, že čím vyšší teplota, tím rychleji proběhne proces vyhnívání a tím vyšší je produkce plynu, ovšem obsah methanu v bioplynu je nižší.

S rostoucí teplotou jsou také bakterie citlivější na teplotní výkyvy, zejména na krátkodobé výkyvy směrem dolů a to i o 1 °C v extrémním případě termofilních kmenů. [2]

Hodnota pH

Hodnota pH by se u slabě alkalického prostředí měla pohybovat okolo 7,5. Narozdíl od kyselých substrátů, kde je zapotřebí přidávat vápno, u kejdy a hnoje tento stav nastává samovolně. [2]

Přísun živin

K dosažení vyrovnaného poměru kyselosti a zásaditosti je v praxi nejlepší použít jako stály a základní substrát hnůj a kejdu díky obsahu dostatečného množství rozpustných dusíkatých sloučenin, minerálních látek a stopových prvků. Aby nedošlo k vydělování složek ze směsi, je vhodné použít přísady (tráva, kuchyňské odpadky, obsah bachoru přežvýkavců, zbytky jídla, aj.). [2]

Velké kontaktní plochy

Snažíme se dosáhnout co největších kontaktních ploch, z toho důvodu materiály jako slámu nebo bioodpad je nutno rozsekat. Zabráníme tak dlouhému vyhnívání a vytváření kalového stropu. [2]

Další zajištění životních podmínek

Je zapotřebí zajistit co možná nejrovnoměrnější přísun substrátu, aby se předešlo nadměrnému poklesu teploty v plnicí zóně. Je třeba dbát také na správné zatížení vyhnívacího procesu. Tento faktor záleží především na teplotě a udává nám, jaké množství organické sušiny může být dodáno do fermentoru, aniž by došlo k „překrmění“ bakterií a zastavení procesu vyhnívání. V neposlední řadě je vhodné substrát odplyňovat, aby byl zajištěn vyšší rozkladný výkon methanových bakterií. [2]

2.3 Složení bioplynu

Chemické složení bioplynu je jednoduché i složité zároveň. Jednoduchost spočívá v majoritním složení bioplynu. Reaktorový bioplyn je prakticky tvořen binární směsí methanu a oxidu uhličitého. Jejich poměrné zastoupení se však liší podle podmínek biomethanizace a podle kvality substrátu. Komplikované je ale zastoupení stopových prvků v bioplynu. Zde je zřejmý rozdíl mezi reaktorovými a skládkovými bioplyny.

2.3.1 Majoritní složky

U kvalitních bioplynů se v nejužším hodnocení setkáváme pouze se dvěma složkami: methan a oxid uhličitý. Další plyny jsou zde zastoupeny pouze v desetinách procenta a pocházejí z biologických pochodů (elementární dusík, oxid dusný, sulfan). Jaké bude poměrné zastoupení jednotlivých majoritních složek v bioplynu, určuje i to, zda jde o reaktorový nebo skládkový bioplyn. Skládkový odpad není ideálně plynotěsný a v takovém plynu můžeme nalézt i nezměněný přisátý vzduch. Skládkový plyn tedy kromě methanu a oxidu uhličitého může obsahovat vzdušný dusík, argon a nezreagovaný kyslík (vše původem z přisátého vzduchu).

2.3.2 Minoritní složky

Na rozdíl od majoritního složení zde najdeme velmi širokou škálu zastoupených minoritních komponent. Většina z nich je však zastoupena řádově ve stovkách miligramů na metr krychlový a menších.

Síra

Většinou se tento prvek nachází v bioplynu pouze v minoritním obsahu, výjimku tvoří sulfan (H_2S , sirovodík), což je jediná forma síry, která může přerůst do majoritních obsahů. [1]

Z technologického i uživatelského hlediska však právě sulfan představuje problém. Množství sulfanu ovlivňuje složení reakčního substrátu (tab. 1).

Za hlavní zdroj síry můžeme považovat proteiny, ale může jím být i anorganický síran. Obsah síry v bioplynu je tedy zcela úměrný tomu, kolik jí obsahuje substrát v biologicky zpracovatelné formě.

druh substrátu	obsah H_2S v bioplynu [mg/m^3]
dřevní biomasa, papír, celulóza, rostlinný odpad	do 100
kaly z čištění městských splaškových vod	300–1500
živočišné odpady (skot)	500–800
živočišné odpady (drůbež, vepř)	4000–6000
potravinářské odpady s vysokým obsahem proteinů	

Tab. 1 Obsah sulfanu v bioplynu z různých substrátů [1]

Hlavní nebezpečí sulfanu spočívá v jeho jedovatosti. Prakticky okamžitý kolaps a smrt způsobují koncentrace okolo $1,4 \text{ g}/\text{m}^3$. U skládkových plynů však tyto koncentrace prakticky nehrozí díky složení prostředí. Skládkový odpad obsahuje relativně velká množství železného odpadu. Tento kovový odpad intenzivně koroduje v průběhu tvorby karbonových kyselin. Při podmínkách methanogeneze, kdy pH nabývá hodnot 6,5 – 7,5 (i vyšších), představují železnaté ionty hlavní sorbent pro H_2S dle rovnice (3): [1]



Halogeny

Přítomnost halogenuhlovdíků v bioplynu identifikuje plyn jako skládkový a není sledována pouze s ohledem na dopad jejich emisí na životní prostředí, ale také pro jejich způsobování korozních potíží na technologických zařízeních. Dnes už není největším problémem freon z důvodu jeho značného omezení, ale mezi hlavní pozorované složky jsou řazeny sloučeniny chlóru. Zvláštní pozornost vyžaduje vinylchlorid, který má kancerogenní účinky a může se vyskytovat i ve významných množstvích.

Halogenuhlovdíky ovlivňují kvalitu především skládkových plynů. Pro skládky i pro reaktory představují rozpouštědla (chlorderivát ethanu, ethen) největší environmentální riziko. Tyto chlorderiváty je biomethanizace schopna změnit právě na nebezpečný vinylchlorid. Naproti tomu PVC je naprosto neškodným materiálem, protože biomethanizační procesy z něho nedokáží uvolnit monomer a ani halogen samotný. [1]

Křemík

O sloučeninách křemíku v bioplynu se v odborné literatuře začíná mluvit okolo roku 1995. Křemík se v bioplynu vyskytuje převážně ve formě siloxanů, které jsou známější pod nesprávně zavedeným avšak zažitým názvem silikony. Tyto látky se vyskytují v různých mazacích, leštících, avivážních či čistících prostředcích.

Skutečným problémem se křemík stal v souvislosti s životností spalovacích motorů poháněných bioplynem, kdy se začaly hledat příčiny vzniku nánosů SiO_2 ve spalovacích prostorech motorů. Nyní je otázka křemíku čistě ekonomický spor o životnosti motorů. Zatím z ne zcela jasných příčin některé motory podléhají křemičitým nánosům a některé nikoli. Dnes většina motorů poháněných bioplynem dosahuje ekvivalentní životnosti jako motory poháněné naftou nebo zemním plynem i přes to, že se u nich prokázal negativní vliv křemíku. Obecně lze shrnout, že je výhodnější plyn nečistit a pravidelně motory renovovat, protože technologie čištění bioplynu by výrazně překročila cenu motoru v investičních i provozních nákladech. [1]

Další minoritní složky

V bioplynu se můžeme setkat i mnoha dalšími prvky, které se zde však nachází pouze ve stopových množstvích jako jsou například oxid dusný, arsen, selen, tellur, rtuť a dokonce i tritium.

3 Čištění bioplynu

Obecně můžeme bioplyn využít všude tam, kde se uplatňuje zemní plyn. Před použitím je ale obvykle vyrobený surový bioplyn potřeba nejprve vyčistit, tzn. zbavit jej nežádoucích složek. Požadavky na kvalitu upraveného bioplynu jsou samozřejmě dány způsobem jeho použití. Pokud ho chceme využívat jako pohonnou hmotu pro motorová vozidla, je nutné jej vyčistit na kvalitu zemního plynu a po kompresi jej pak lze přidávat do distribuční sítě zemního plynu, resp. přímo plnit do vozidel. Takové čištění bioplynu je nákladné a společně s náklady na kompresi významně zvyšuje jeho celkové výrobní náklady, avšak vzhledem k současným cenám ostatních paliv (motorová nafta, zemní plyn), vycházejí tyto úpravy bioplynu ekonomicky výhodně, i když přehlédneme využívání různých dotací. U nás kvalitu bioplynu zajišťuje česká norma ČSN 65 6514, které vzešla v platnost k 1. 1. 2008 a která je v zásadě pouze překladem švédského standardu SS 15 54 38. [4]

Zde jsou pevně vymezeny minimální a maximální hodnoty základních složek upraveného bioplynu. A právě ve Švédsku je v provozu nejvíce upraven bioplyn. Ze surového bioplynu se odstraňuje kysličník uhličitý (CO_2), kterého je v bioplynu 25 až 40 %. Skládkového plynu je potřeba zbavit dusíku (N) v množství až 15 %. Z bioplynu vyrobeného z exkrementů zvířat nebo jatečných odpadů se odstraňuje sirovodík (H_2S), protože je toxický a má korozní účinky. Navíc při jeho spalování vzniká kysličník siřičitý, který je jedovatý. Dále bioplyn zbavujeme vody a pevných částic, které ho jako pohonnou hmotu znehodnocují. Vedle výběru vhodné technologie úpravy je důležitým faktorem kvalita surového bioplynu. [5]

3.1 Technologie úpravy bioplynu na biomethan

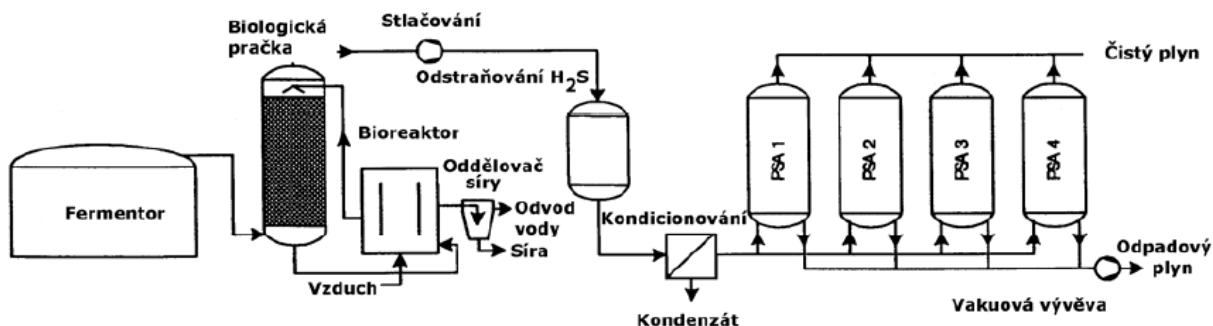
Zbavování bioplynu oxidu uhličitého (CO_2) je nejnákladnější a zároveň nejdůležitější operací v celém procesu čištění bioplynu na kvalitu zemního plynu. Na výběr jsou různé dělicí metody, které mají různou účinnost a nákladovost. Některé z nich současně odstraňují i H_2S a vodu. Postupy oddělování methanu a oxidu uhličitého (příp. dalších nežádoucích složek) můžeme rozdělit do čtyř hlavních skupin, které se liší nejen principem činnosti ale i technologickým řešením:

- adsorpce – technologie PSA
- absorpce – fyzikální (tlaková) vypírka - PWA
– chemická vypírka - ChemA (MEA, MDEA apod.)
- membránová separace
- nízkoteplotní rektifikace – kryotechnologie

3.1.1 Metoda tlakových změn (PSA – Pressure Swing Adsorption)

Tento způsob je druhý nejčastěji používaný ze současně využívaných metod. Surový bioplyn je nutno nejprve odsířit a poté v adsorpční komoře stlačit na tlak o hodnotě 8 až 10 bar. CO_2 se pod tímto tlakem za přispění Van der Walsových sil váže na molekuly aktivního uhlí nebo na adsorpční „síta“, která jsou vyrobená na

bázi aktivního uhlí. Po nasycení adsorpčního materiálu v komoře jedné se operace přesouvá do komory následující při dodržení pracovního tlaku. V „prázdné“ komoře se po snížení tlaku uvolňuje z adsorpčního materiálu CO_2 a dochází k potřebné regeneraci. Aby byl zajištěn plynulý průběh čištění je vzhledem k času potřebného pro regeneraci vhodné použít čtyři komory. [3]



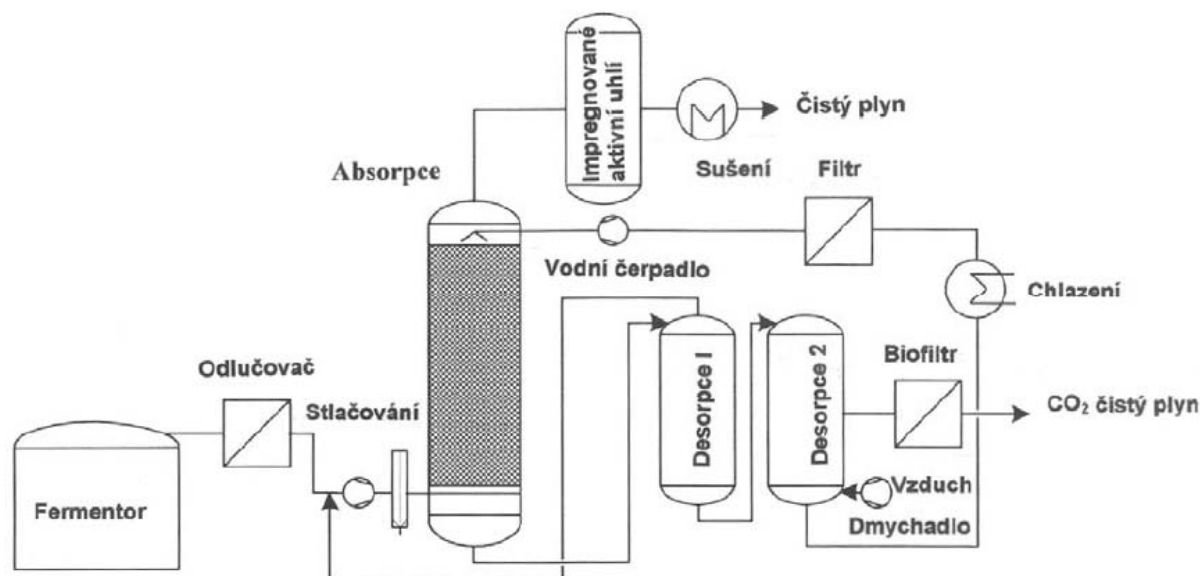
Obr. 2 Schéma zařízení pro úpravu bioplynu s využitím metody tlakových změn pro vysoké výkony [3]

3.1.2 Tlaková vodní vypírka - PWA (pressure water absorption)

Tato technologie je v současnosti nejpoužívanější z metod a využívá odlišné rozpustnosti nežádoucích složek bioplynu (při tlaku 1 bar a teplotě 25 °C má CO_2 25 krát větší rozpustnost než methan, H_2S téměř 80 krát a NH_3 dokonce více než 20 tis. krát). Nežádoucí složky jsou oddělovány absorpční metodou. Při pracovním tlaku 8 až 10 bar a teplotě 20 až 25 °C postupují proti sobě dvě media. Procesní kapalina se „nasytí“ nežádoucími složkami, zatímco methan prochází a zvyšuje tak svůj podíl ve výstupním plynu. Nejčastěji se jako pracovní medium volí voda. Schéma takové vypírky můžeme vidět na obr. 3. Abychom dosáhli co nejvyššího obsahu methanu v plynu, je tento způsob obvykle dvoustupňový. Ve vodě se však kromě nežádoucích složek nachází i 4 až 10 % CH_4 , ale po poklesu tlaku se zbytek methanu uvolní a jeho ztráty jsou tak minimální.

Pokud máme systém s uzavřeným oběhem čisté vody, je nutno zařadit ještě jeden stupeň, desorpční kolona, kde se po celkovém poklesu tlaku uvolní i všechny CO_2 a vodu je tak možno opakovaně použít. Odsiřovací zařízení se při této technologii nepoužívá, pokud ale podíl síry v bioplynu přesáhne hodnotu 300 ppm/ Nm^3 , je odsíření nezbytné. V bioplynu upraveného tímto způsobem je asi 97 % methanu.

Z důvodu lepších absorpčních vlastností se namísto vody využívají organická rozpouštědla – nejčastěji jím je Genosorb[®] nebo Selexol[®], což jsou obchodní značky chemického roztoku na bázi polyetylen glykolu od různých výrobců. [3], [4]



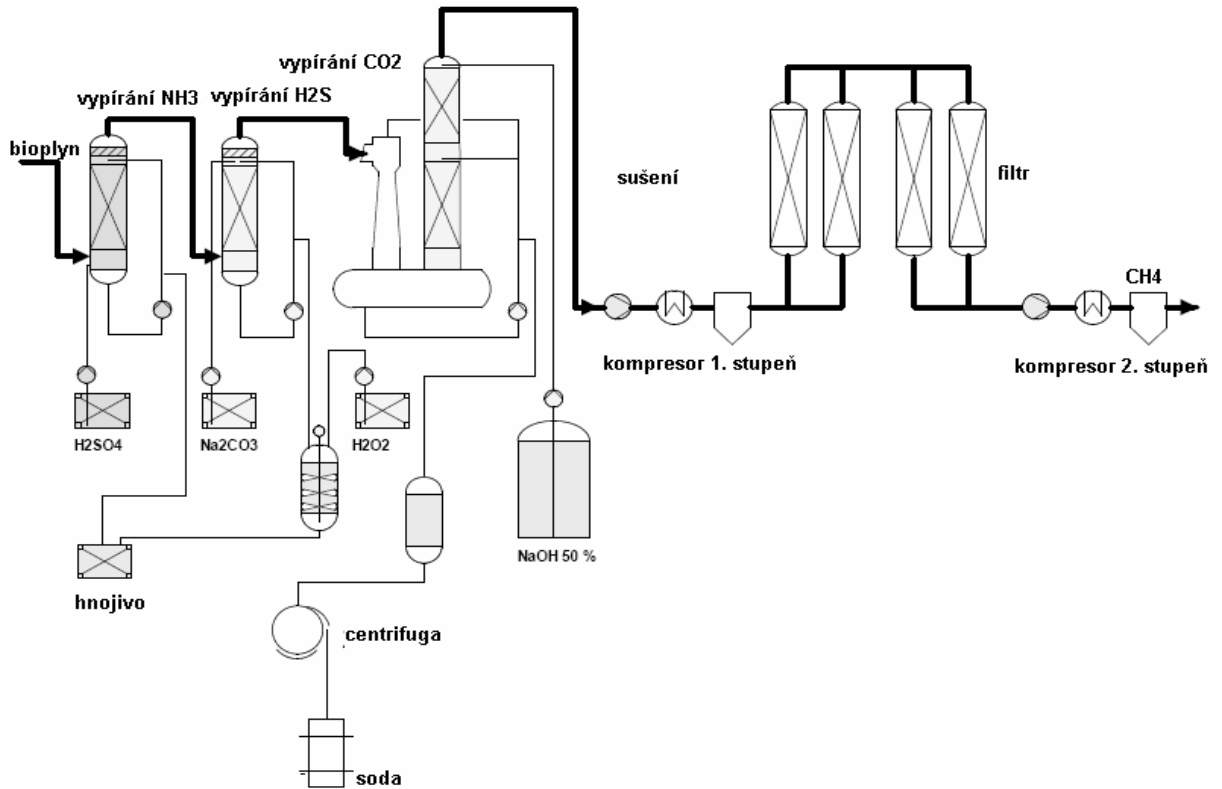
Obr. 3 Schéma zařízení tlakové protiproudé vodní vypírky bioplynu s desorpcí vody
Při použití vyčištěné vody z ČOV se desorpční zařízení nepoužívá [3]

3.1.3 Chemická vypírka - ChemA (chemical absorption)

V této technologii, podobně jako u metody vodní vypírky, postupují proti sobě bioplyn a absorpční materiál. Zde se ale jedná o čistě chemickou reakci. Výhodou oproti fyzikální vypírce je vyšší rozpustnost nežádoucích plynů, a to i při atmosférickém tlaku. Nejčastějším absorpčním médiem je zde monoetanolamin, odtud označení MEA. Další druhy sorbetů jsou uvedeny v tab. 2. Surový bioplyn na vstupu je stlačen na tlak okolo 50 kPa (k překonání odporu vodní sprchy) a vychlazen na teplotu přibližně 10 °C. Sorbent je zředěn vodou na koncentraci cca 10 – 20 %. Skoro čistý methan je odváděn z kolony nahoře, následně musí být stlačen a vysušen (zbaven vody). Regenerace sorbentu je prováděna zahřátím. Schéma této metody je znázorněno na obr. 4. Tento způsob je energeticky méně náročný než ty předchozí, protože probíhá za „normálního“ tlaku. K regeneraci kapaliny je však spotřebováno určité množství tepla. [4]

Proces	Záchyt	Činidlo	Produkt
Vypírka louhem	CO ₂ , H ₂ S	8 % NaOH	Na ₂ CO ₃ , Na ₂ S
MEA	CO ₂ , H ₂ S	Monoethanolamin	NH ₂ -C ₂ H ₄ OH
MDEA	CO ₂ , H ₂ S	Methyldiethanolamin	(HOC ₂ H ₄ NH ₃) ₂ CO ₃
Alkazidová vyp.	CO ₂ , H ₂ S	Alkazid M	–
COAAB	CO ₂ , H ₂ S	COAAB	Speciální dusíkatá sloučenina

Tab. 2 Procesy u chemické vypírky [6]



Obr. 4 Schéma zařízení chemické vypírky [6]

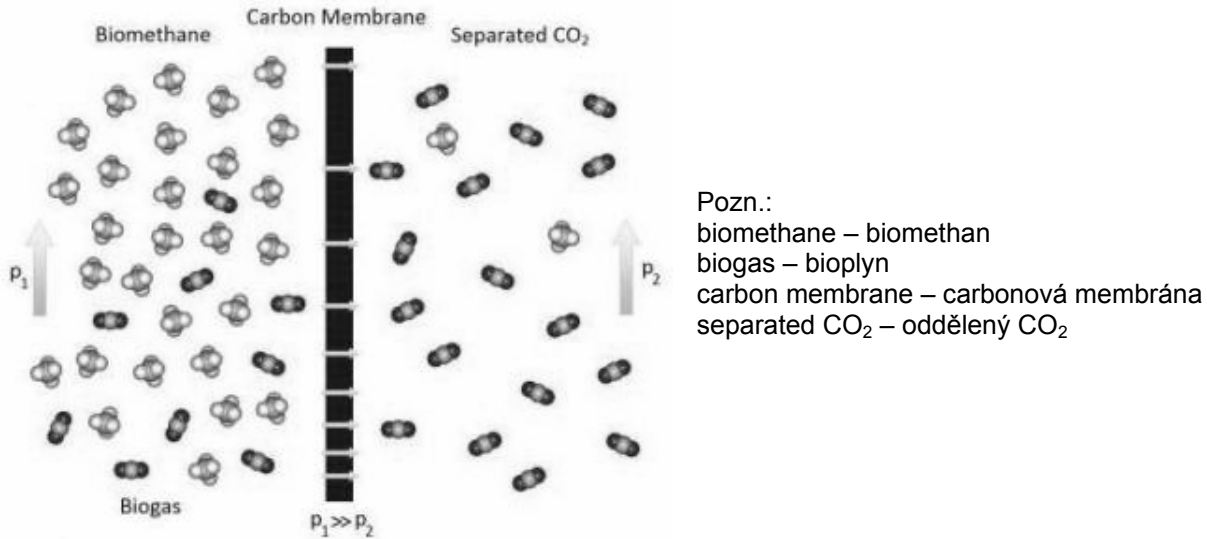
3.1.4 Membránová separace

Membránová separace je založena na jednoduchém principu odlišné průchodnosti jednotlivých složek ve směsi bioplynu tenkou membránou. Membránová síta jsou nejčastěji konstruována z polymerů. Skrze membránu snáze prochází CO_2 (podobně i zbytkový obsah H_2S a vodní páry) jako tzv. permeát, na rozdíl od většiny methanu, jenž zůstává před membránou a je odváděn na tlakové straně jako tzv. retenát. Podíl methanu v retenátu je závislý na druhu použitého materiálu membrány, jejím stáří a také tlakové úrovni. Za optimálních podmínek proces čištění probíhá při tlaku 7 až 9 bar a docílje se až 98 % obsahu CH_4 ve výsledném plynu. Vyšší míry vyčištění (a menších ztrát methanu) docílíme pomocí dvoustupňové separace. [4]

Zcela nový poznatek k tomuto způsobu čištění přinesla již třetí severská konference o bioplynu („Nordic Biogas Conference“) konající se letos v Oslu ve dnech 10. – 12. března 2010. Zde tým vědců pracujících na Norské univerzitě pro vědu a technologie (NTNU) představil zcela novou membránu vhodnou, jak pro velké tak zejména i pro malé bioplynové stanice. Doposud totiž u malých bioplynových stanic vzhledem k velké ceně a malé výrobě nebyla metoda membránové separace ekonomicky výhodná. S touto novou technologií ekonomická nevýhoda malých stanic zaniká. Jedná se o speciální karbonovou membránu (obr. 5), která má řadu výhod oproti prozatím používaným membránám. Hlavní výhody jsou: [7]

- použitelnost i pro vysokou teplotu oddělení – až $500\text{ }^\circ\text{C}$ (polymerní membrány jen cca $100\text{ }^\circ\text{C}$)
- vysoká čistota již v jediném kroku
- menší objem membrány nutný k vyčištění
- vyšší energetická efektivita

Oddělení nastává při průchodu bioplynu přes membránu. Transport nastává, pokud máme dostatečnou hnací sílu a k tomu využíváme rozdílné parciální tlaky na obou stranách membrány. [8]



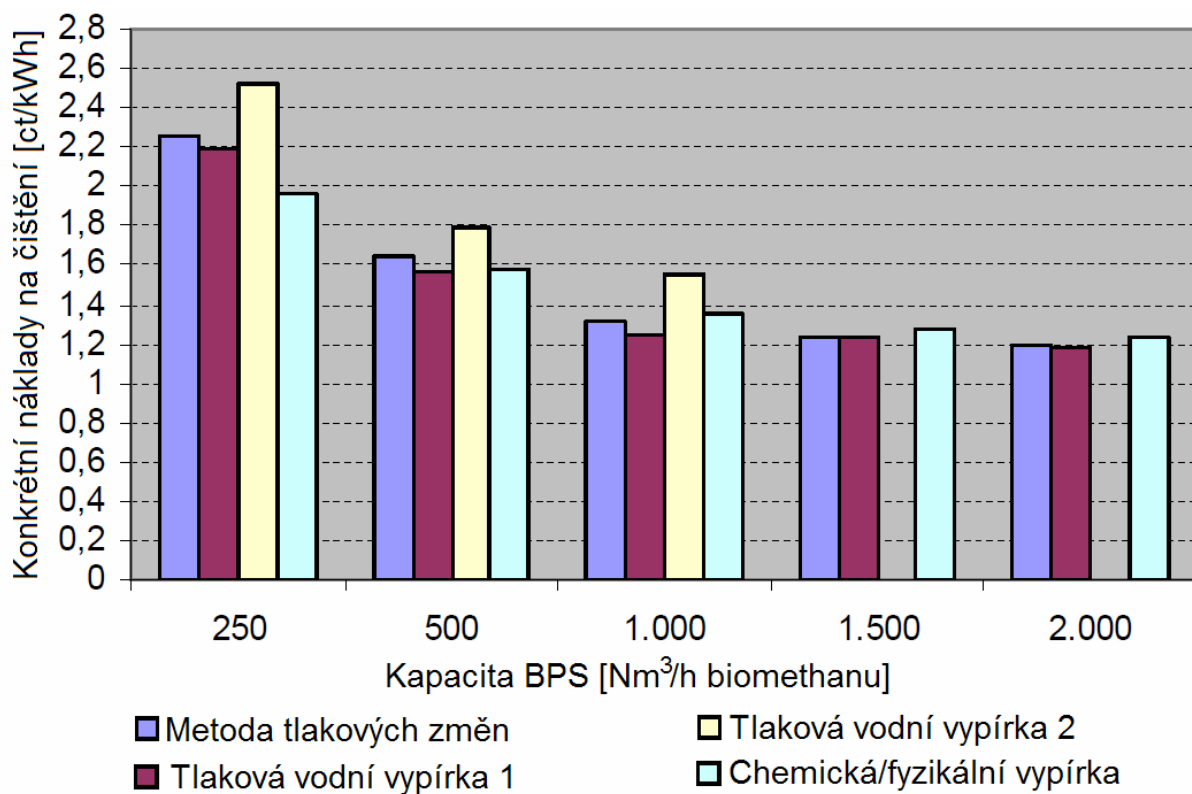
Obr. 5 Schéma karbonové membrány [8]

3.1.5 Nízkoteplotní rektifikace

V této technologii se využívá dosti rozdílných teplot varu oxidu uhličitého a methanu ($\text{CO}_2 = -78\text{ °C}$; $\text{CH}_4 = -161\text{ °C}$). Díky této skutečnosti pak můžeme jít kryogenní cestou, tj. ochlazením bioplynu na velmi nízkou teplotu (min. -80 °C), separovat CO_2 a příp. další nežádoucí složky od methanu jejich zkapalněním příp. rovnou desublimací. Velká výhoda této metody spočívá ve velmi vysoké čistotě výsledného plynu (více než 99 % CH_4) a také možnosti dále zhodnotit a využít zkapalněný CO_2 . Pokud bychom bioplyn ochladili ještě na nižší teplotu, pak dosáhneme zkapalnění i u methanu, čímž se pak může stát náhradou za LNG. Tato technologie je však finančně i energeticky náročná, a proto se jí zatím nedostalo komerčního uplatnění. [4]

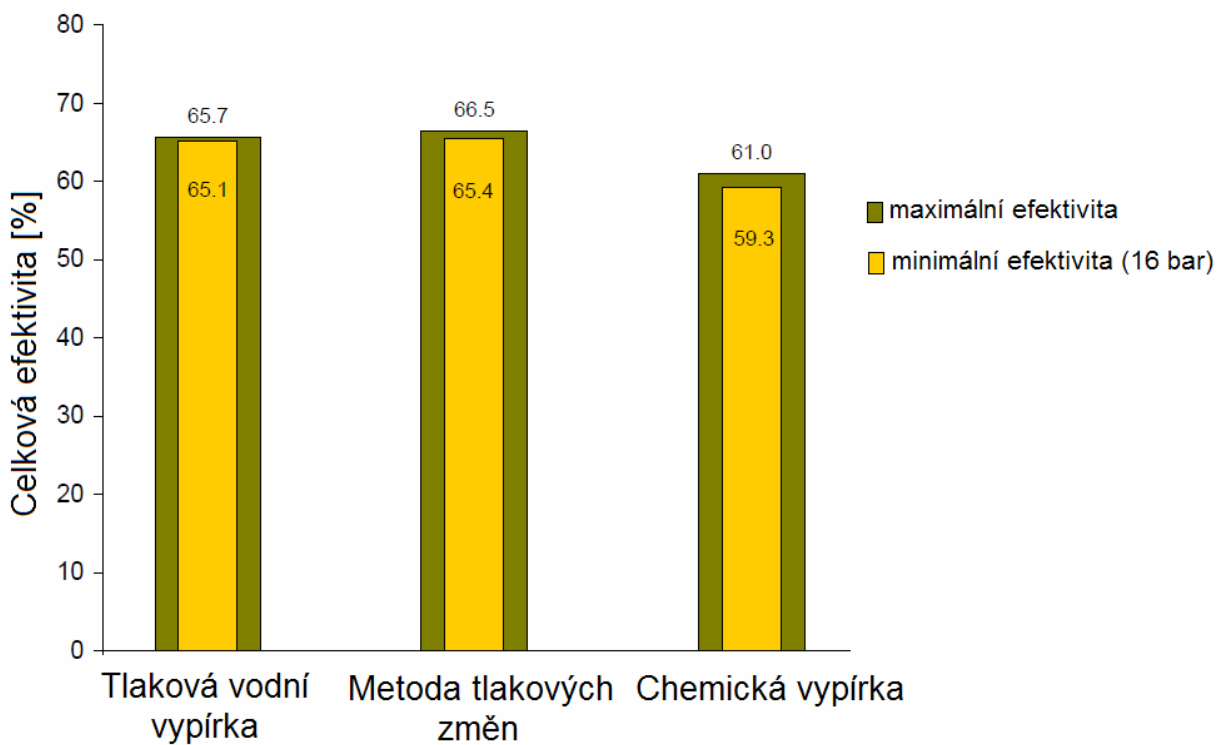
3.1.6 Srovnání jednotlivých metod čištění

Jak bylo zmíněno v úvodu, bioplyn a především pak jeho čištění je velmi mladé téma a vědci přichází se stále novými metodami. Všechny tyto metody je zapotřebí dlouhodoběji vyzkoušet v praxi, aby mohli vzniknout dostatečně objektivní názory a srovnání jednotlivých druhů čištění. A možná právě neustálý vývoj zapříčinil to, že prozatím nevznikají žádná propracovaná srovnání. Samozřejmě že popsané metody čištění mají své výhody a nevýhody, jež byly zmíněné výše. Srovnání metod čištění, které zohledňuje náklady na výrobu a vyčištění bioplynu, zobrazuje graf na obr. 6.



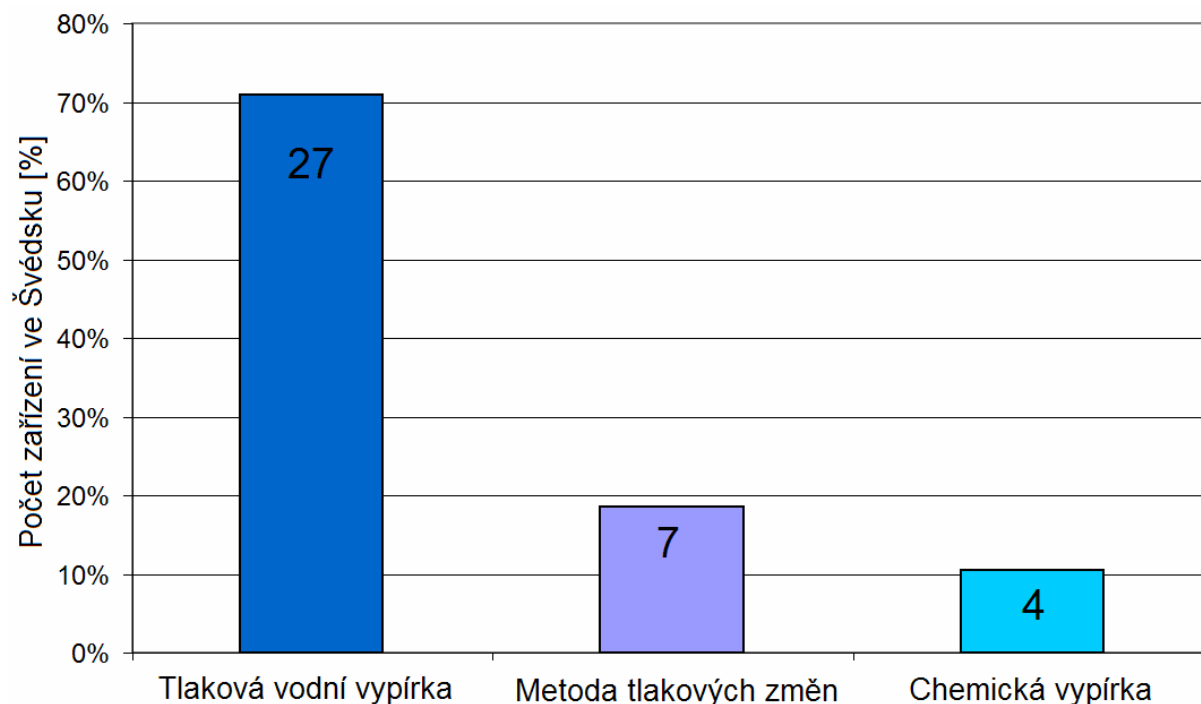
Obr. 6 Náklady na výrobu a čištění bioplynu [9]

Druhé srovnání metod na obr. 7 popisuje a srovnává energetickou efektivitu jednotlivých metod.



Obr. 7 Efektivita jednotlivých metod [10]

Třetí porovnání je inspirováno přímo z praxe ve Švédsku, kde se nachází nejvíce takovýchto zařízení. Čísla ve sloupcích uvádějí současný počet zařízení. Prozatím je v praxi nejpoužívanější tlaková vodní vypírka, která „vede“ s velkým náskokem před metodou tlakových změn a chemickou vypírkou. [11]



Obr. 8 Počet zařízení na čištění bioplynu ve Švédsku

Tlaková vodní vypírka má prozatím první místo nejspíše díky jejímu vyvážení výsledné čistoty biomethanu, ztrátám bioplynu při procesu čištění a ekonomické nákladnosti [6]. A právě tyto faktory rozhodují nejvíce o výběru nevhodnější metody.

Postupem času se objevují lepší a účinnější metody, každá ale potřebuje zavedení a odzkoušení v praxi.

4 Popis fungujících projektů

V České republice zatím nefunguje žádný projekt, který by se týkal čištění bioplynu na kvalitu zemního a jeho následného využití jako pohonné hmoty pro automobily. Vzhledem k tomuto faktu práce nejprve popisuje tržní prostředí ve Švédsku, kde si v tomto směru může kterákoliv země, včetně nás, brát inspiraci.

4.1 Popis švédského tržního prostředí

O Švédech, stejně jako o celé severní Evropě, je známo, že si potrpí na ochranu životního prostředí. I v problematice bioplynu jsou opět o něco dále. V provozu je zde 105 plnicích stanic zemního plynu (stav k 22. 4. 2010 [13]) a další jsou ve výstavbě. Navíc je stlačený zemní plyn ve velké míře míchán s bioplynem a kromě toho jsou v síti i stanice s možností tankování výhradně stlačeného bioplynu. Na švédských silnicích mají ekologická vozidla značné zastoupení. Je zde více než 10.000 vozidel s pohonem na zemní plyn nebo bioplyn. [12]

Ve Švédsku je základní filozofie používání bioplynu trochu odlišná než v jiných evropských zemích. Zatímco např. Rakousko a Německo se stejnými systémy a zákony dosud využívají bioplyn pouze pro výrobu elektrické energie (převážně kogeneraci) a využití jako pohonné hmoty pro automobily chybí. Ve Švédsku je bioplyn používán takřka výhradně jako palivo pro vozidla. [14] A to i za faktu, že Švédsko se řadí mezi země s nejvyšší spotřebou elektrické energie na hlavu, protože elektřina se zde využívá jako zdroj tepla k vytápění komerčních i bytových jednotek.

Struktura zdrojů elektrické energie je prakticky stejná jako v ostatních skandinávských zemích: asi 42 % výroby elektrické energie zajišťují atomové a 47 % vodní elektrárny, zbytek dodávají elektrárny založené na spalování fosilních a obnovitelných paliv a na využívání větrné energie. Stále však roste podíl biopaliv. Oproti předchozí dekádě se změnila struktura zdrojů energie – díky vyšším srážkám prudce vzrostl podíl hydroelektráren na úkor jak atomových tak tepelných elektráren. Struktura zdrojů obvykle kolísá i v průběhu roku s ohledem na průběh spotřeby. Na té se významně podílí topení v zimním období, kdy se v hydroelektrárnách využívají zásoby vody akumulované v létě ve vodních nádržích. Nižší spotřeba v létě umožňuje údržbu odstavených nukleárních zdrojů. [15]

Počátkem února 2009 dospěla švédská vláda k přijetí dohody, která byla uveřejněna pod názvem „Udržitelná energetická a klimatická politika pro životní prostředí, konkurence-schopnost a dlouhodobou stabilitu“. Byly vytyčeny hlavní cíle, ve kterých se mimo jiné plánuje do konce roku 2020 ukončení spalování fosilních paliv v teplárenství a o deset let později by měla skončit i závislost švédské automobilové dopravy na fosilních palivech. V dohledné budoucnosti je zapotřebí s ohledem na klimatické ohledy zachovat roli atomové energie, je však stanoven maximální celkový počet jaderných reaktorů na 10. Aby se zvýšila bezpečnost dodávek a snížila citlivost vůči externím vlivům, je třeba vyvinout další ekologicky šetrný zdroj. Pozornost se soustředí zejména na větrnou energii, obnovitelné zdroje a kogeneraci. [16] Během následujících 10 let chtějí ve Švédsku vystavět na 2000 větrných elektráren. [17]

Do roku 2050 se předpokládá dosažení zásobování Švédska energií z obnovitelných a efektivních zdrojů bez vypouštění skleníkových plynů do atmosféry. [16]

Ve Švédsku se snaží nalézt dostatek jiných zdrojů pro výrobu elektrické energie a tak vývoj v sektoru bioplynu jako pohonné hmoty pro vozidla „má zde zelenou“, je velmi hodnotný a zralý pro tržní využití, proto se vytváří celosvětový zájem o tyto zkušenosti.

4.2 Popis tržního prostředí České republiky

Zde se práce zaměřuje spíše na výrobu bioplynu a jeho situaci u nás, protože se bioplyn jako alternativní palivo pro automobily v České republice zatím nevyužívá. Vhodné ale je se podívat, jak jsme na tom v oblasti stlačeného zemního plynu, protože automobily využívající tuto pohonnou hmotu jsou zároveň potenciálními odběrateli biomethanu. V této kapitole se také prozkoumávají možnosti využití různých dotací, které podporují produkci bioplynu.

4.2.1 Česká republika a bioplyn

I přes zlepšující se podmínky a zvyšující se počet bioplynových stanic v posledních letech, Česká republika zaostává za vyspělejšími státy Evropské unie. Největší překážku pro rozvoj bioplynových stanic (dále jen BPS) představují investiční náklady, které jsou poměrně vysoké a bezpečnostní požadavky, které omezují rozvoj především malých BPS. [18] V České republice se však objevil ještě další důvod bránící většímu rozšíření BPS. Jedná se o nedůvěru obyvatel, kteří by měli žít v blízkosti takovéto stanice. A proto vznikají různá občanská sdružení bránící výstavbě BPS argumentující zejména zápachem, který obtěžuje obyvatele. Nutno podotknout, že v mnoha případech byla činnost občanských sdružení úspěšná. Nicméně zápach je do jisté míry předsudek, ale také problém týkající se BPS v České republice, kde se u několika stanic objevil. Problém však vychází z nedostatků a chyb v budování a provozování BPS. Například Německo a jeho nezávadný provoz cca. 4000 BPS dokazuje, že to jde i bez zápachu a tento problém nemá kvalitně provozovaná BPS. [19]

Nesmí se ale zapomenout, že i přes výše popsané překážky, došlo v posledních letech k velkému rozšíření BPS. Hlavním důvodem tohoto nárůstu bylo schválení zákona č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie z roku 2005. Tento zákon garantuje výkupní cenu elektřiny na 15 let vyrobenou z obnovitelných zdrojů energie a výrazně tak snižuje riziko investic do vybudování a provozu BPS. [18] V České republice je zatím bioplyn využíván pouze v kogeneračních jednotkách a vyrobená elektřina je prodávána do sítě za garantované ceny. V současné době máme v České republice zhruba 76 BPS a další jsou ve výstavbě [21], je to však jen zlomek potenciálu v ČR. Existuje reálná varianta, podle které by mohlo v roce 2020 být u nás na 400 BPS za předpokladu, že bude využívána zhruba třetina potenciálu zbytkové biomasy a pěstovaná biomasa z přibližně 80 – 100 000 ha zemědělské půdy. [20]

4.2.2 Česká republika a biomethan

V České republice zatím neexistuje na trhu žádná nabídka biomethanu. Potenciální odběratelé biomethanu jsou majitelé automobilů na stlačený zemní plyn, protože v okamžiku, kdy se objeví nabídka biomethanu, mohou toto alternativní palivo využívat právě vlastníci automobilů využívající CNG, nebo může být biomethan míchán se stlačeným zemním plynem.

Provoz na CNG má řadu výhod oproti konvenčním palivům, a proto se tomuto palivu dostává v řadě zemí různých zvýhodnění. A jinak tomu není ani u nás – stát dal příslib, že do roku 2012 osvobodí zemní plyn od spotřební daně a následně do roku 2020 ji postupně zvýší maximálně na 2,35 Kč/m³ (pro srovnání – spotřební daň u bezolovnatého benzínu činí asi 11,84 Kč/l). Navíc auta určená k podnikání s tímto pohonem jsou osvobozena od silniční daně. Do roku 2020 se navíc plynárenské společnosti zavázaly vybudovat minimálně 100 čerpacích stanic CNG (do začátku roku 2010 bylo zprovozněno 25 veřejných plnicích stanic). V současné době světové silnice využívá více jak 8 mil. automobilů s CNG pohonem, u nás bylo začátkem roku 2010 evidováno 1 800 vozidel, z toho: [22], [23]

- 1 500 osobních a dodávkových vozidel
- 270 autobusů
- 30 nákladních a ostatních vozidel

Argumenty pro a proti používání CNG jsou shrnuty v tab. 3.

Výhody	Nevýhody
nižší provozní náklady	omezená nabídka automobilů
nižší emise škodlivých látek	vyšší pořizovací cena vozu
vyšší bezpečnost	přísnější bezpečnostní kritéria
vyšší oktanové číslo	menší počet čerpacích stanic s CNG
nemožnost krádeže paliva	–
vyšší dotace na nákup nového vozu	–

Tab. 3 Výhody a nevýhody automobilů na CNG [22], [32]

Dotace na zařízení čistící bioplyn na kvalitu zemního plynu

Ještě donedávna nebyla žádná možnost využití dotací na zařízení čistící bioplyn na kvalitu zemního plynu. Jedinou dotovanou činností byla přeměna bioplynu na elektrickou a tepelnou energii v kogeneračních jednotkách.

Začátkem roku 2009 se dotace dočkalo i zařízení čistící bioplyn na kvalitu zemního plynu v rámci úpravy Programu rozvoje venkova ČR na období 2007 – 2013. Tento program je spolufinancován Evropskou unií z Evropského zemědělského fondu pro rozvoj venkova.

Změny se mimo jiné týkají i využívání obnovitelných zdrojů energie. Změny související s podporou zařízení na čištění bioplynu za účelem pohonu motorových vozidel jsou obsaženy v opatření osy III – konkrétně v bodech: [24]

- III.1.1 Diverzifikace činností nezemědělské povahy
- III.1.2 Podpora zakládání podniků a jejich rozvoje

V obou podopatřeních jsou podporovány stejné činnosti a to:

- bioplynové stanice
- **zařízení na čištění bioplynu za účelem pohonu motorových vozidel, plnicí stanice**
- kotelny a výtopy na biomasu
- peletárny, briketárny

Aktuální informace nejen o Programu rozvoje venkova ČR vycházejícího z Národního strategického plánu rozvoje venkova, ale i jiné možnosti dotací jsou dostupné na internetovém portále Ministerstva zemědělství eAGRI. [24]

4.2.3 Využitelnost a potenciál biologicky rozložitelných odpadů

Produkce bioplynu (včetně skládkového) se v České republice soustředila především na plyn vyrobený pomocí čistírny odpadních vod, kde se odplyňují skládky komunálních odpadů a stabilizují čistírenské kaly. Zde je v současné době z velké části (80 %) potenciál využit. Největší potenciál mají biologicky rozložitelné odpady (dále jen BRO), tzn. zpracování zemědělských obnovitelných surovin, jako jsou zvířecí fekálie a rostlinná biomasa. BRO byly v minulosti na bioplynových stanicích hojně využívány, avšak s novými předpisy (nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1774/2002 O zpracování vedlejších živočišných produktů, které nejsou určeny k lidské spotřebě) přišel ústup od těchto BPS. Tyto předpisy totiž upravují provoz, výkupní ceny a nakládání s digestátem a zvýhodňují tak BPS, které nezpracovávají BRO. Jednalo se o zjevný záměr směřující k budování a provozu specializovaných BPS zpracovávajících BRO. V takovýchto stanicích se zpracovávají převážně kuchyňské odpady (včetně olejů na smažení zejména z jídelen a restaurací), tráva z údržby zeleně, lihovarské výpalky, odpady z výroby bionafty, tuhé odpady z potravinářského průmyslu (včetně gastroodpadů a nepoživatelných potravinářských produktů) a vedlejší živočišné produkty (masokostní moučka, kafilerní tuk a jateční odpady). Část z těchto odpadů zmizí ve směsném komunálním odpadu nebo v odpadních vodách. Další podíl výše uvedených odpadů je mnohdy výhodnější kompostovat (odpady ze zeleně a separovaný domovní odpad). BPS zpracovávající odpady naplňují pouze asi 5,5 % dostupného potenciálu, u zemědělských stanic to je potom asi 16,4 %. Rozdíl od čistírenských BPS (80 %) a od odplyňovacích zařízení na skládkách (téměř 100%) je značný. Celkový dostupný potenciál je potom naplněn z 27,4 %.

V současnosti se při zpracování BRO používá anaerobní digesce. To je z důvodu nezbytné hygienizace u jatečního odpadu a odpadů z restaurací a jídelen. Problémem ale je, že kuchyňské odpady (včetně odpadů z velkokuchyní) často mizí v odpadních vodách (kuchyňské drtiče) nebo na skládkách komunálního odpadu a nebo jsou dokonce zkrmovány hospodářskými zvířaty, což je v rozporu s legislativou. Ing. Jaroslav Váňa, CSc. v jednom ze svých odborných článků píše:

„Další rozvoj anaerobní digesce BRO je závislý na separovaném sběru BRO, ale i zde je konkurence provozně levnějších kompostáren.“ [25]

Pokud se zpracovávají odpadky nebo vedlejší živočišné produkty, objevuje se další problém, kterým je zápach. Na tento fakt již bylo v této práci poukázáno. Problém se zápachem by měl být vyřešen díky právním předpisům v legislativě ovzduší, odpadů, hnojiv a také díky Metodickému pokynu Ministerstva životního prostředí o schvalování BPS před uvedením do provozu. Pokyn zajišťuje jednotný postup pro orgány státní správy při schvalování BPS, přičemž největší důraz je kladen právě na přípustnou míru obtěžování zápachem.

BPS zpracovávající odpady jsou mnohem náročnější na investiční náklady, což je dáno právě zařízeními spojené s odstraněním zápachu, jako jsou hygienizační jednotky, odsávání a filtrace zápašných plynů a zakrytí zásobníku na digestát. Jen pro představu – investiční náklady BPS zpracovávající odpady dosahují zhruba výše 210 – 230 tis. Kč/kW_{el}, u zemědělských BPS jsou pak „pouze“ 110 – 130 tis. Kč/kW_{el}.

Navíc jsou i vyšší provozní náklady takovýchto stanic, což je dáno vyšší spotřebou tepla a elektrické energie při hygienizaci, drcení BRO, zajišťování termofilního režimu fermentace a jsou i vyšší náklady při nakládání s digestátem. K uvedení digestátu jako hnojiva do oběhu není u zemědělských BPS problém, avšak u odpadářských stanic je nezbytná registrace digestátu i pro použití pro vlastní potřebu.

Do třetice jsou odpadové BPS znevýhodněny nižšími státem garantovanými výkupními cenami elektřiny dodávané do sítě než u zemědělských BPS. Stejně rozdíly jsou potom i v tzv. Zelených bonusech.

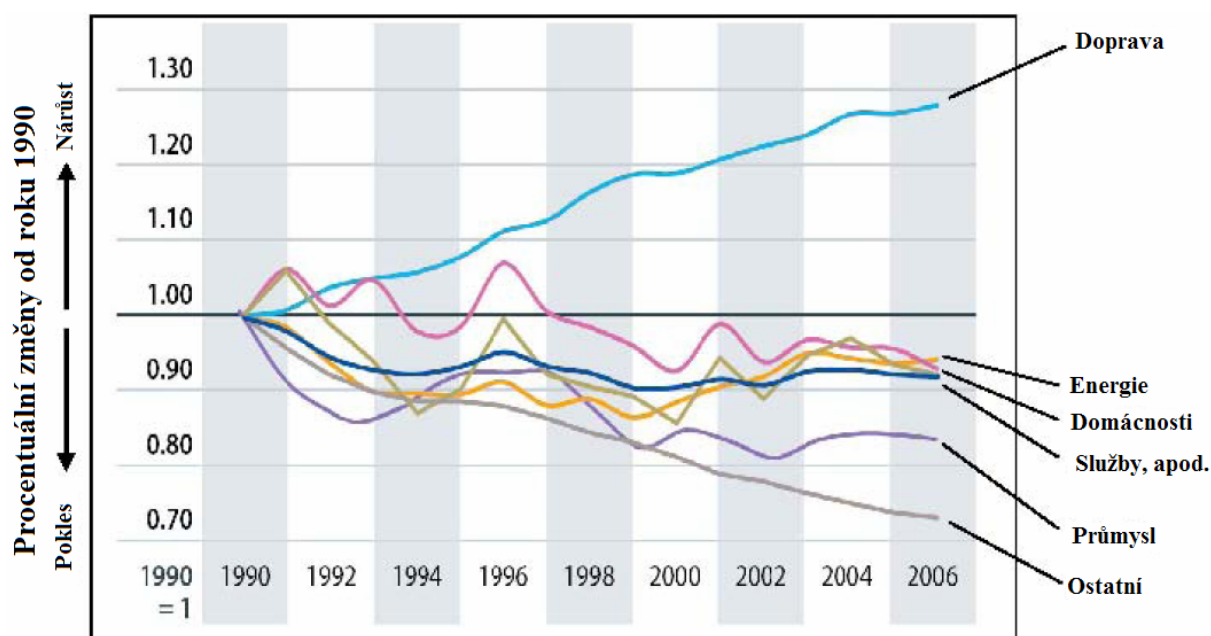
Aby bylo možné v podmínkách České republiky zvýšit zájem o budování BPS zpracovávající odpady, je zapotřebí zvýšit výkupní ceny elektřiny dodávané do sítě stejně jako Zelené bonusy. Pomocť k tomu, aby se snížilo množství BRO na skládkách komunálního odpadu, by mohlo i zvýšení ceny za skladování odpadů. [25]

5 Energetická a ekonomická bilance

Tato kapitola se zabývá různými hledisky, které mohou ovlivnit fakt, zda bude mít biomethan přední postavení z možných alternativních paliv při postupném nahrazování dnes nejběžnějších pohonných hmot. Celosvětově se lidstvo snaží o snižování množství vypouštěných škodlivin do životního prostředí. Proto tato část práce nejprve rozebírá množství emisí, což do jisté míry souvisí jak s energetickou tak i ekonomickou bilancí. I ty jsou samozřejmě v kapitole zahrnuty.

5.1 Skleníkové plyny

Z obr. 9 je zřejmé, že v sektoru dopravy zaznamenáváme neustálý nárůst produkce skleníkových plynů, proto zde je největší potenciál na její snížení.



Obr. 9 Vývoj emisí skleníkových plynů v různých sektorech od roku 1990 [26]

Mnoho majitelů starších vozů zvažuje koupi nového a „ekologičtějšího“ automobilu, k čemuž se je snaží donutit i různá daňová zvýhodnění a vyšší poplatky spojené s používáním starého a „neekologického“ vozu. Nová a stále klesající čísla vypovídající o hodnotách vypuštěného CO₂ do ovzduší přepočteného na jeden kilometr vypadají u nových automobilů lákavě, ovšem jen na první pohled a realita je bohužel jiná. Automobilový průmysl velmi rád zamlčuje faktor vlastní výroby. Během výroby automobilu se totiž uvolní do ovzduší 20 – 30 tun CO₂, což je při dnešní životnosti vozů okolo 7 let cca 20 – 25 % celkových emisí CO₂. Podle heidelberského vědce zabývajícího se ekologií, Dietera Teufela, je výhodnější vyměnit vůz nedisponující řízeným katalyzátorem za nový. V případě že vlastníme vozidlo s řízeným katalyzátorem, se z hlediska výfukových plynů koupě nového automobilu nevyplatí. [27]

5.1.1 Well to Wheel analýza

Za jednu z nejlepších současných komplexních analýz, lze považovat studii „Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context“, vypracovanou organizacemi EUCAR¹, CONCAWE² a JRC³ v r. 2003 a její zpřesnění z r. 2005. Tyto analýzy porovnávají ekologické dopady jednotlivých pohonných hmot od klasických motorových paliv (benzin, motorová nafta), po alternativní plynná (CNG, LNG, bioplyn, LPG, aj.) a kapalná (etanol, metanol, aj.) paliva z hlediska různých způsobů jejich výroby a distribuce. Analýza vlivu paliva na životní prostředí se rozděluje pro každé palivo na dvě části: [28]

- **Well to Tank (WTT) – „od zdroje do nádrže“**
tato část analýzy posuzuje energetickou náročnost a emise skleníkových plynů v krocích předcházejících konečné spotřebě paliva v automobilu
- **Tank to Wheel (TTW) – „z nádrže na kola“**
tato druhá část analýzy pak porovnává spotřebu energie a produkci skleníkových plynů ve fázi konečné spotřeby pohonné hmoty v automobilu

Obě tyto části pak tvoří celou analýzu **Well to Wheel (WTW) – „od zdroje na kola“** a zachycují tak celý „životní cyklus“ konkrétního paliva.

V následujících řádcích budu porovnána WTW analýza plyných paliv s fosilními, přičemž největší pozornost bude věnována biomethanu. U WTW analýzy se tato práce zaměřuje především na plynná paliva a jejich porovnání s palivy fosilními, přičemž největší pozornost je věnována biomethanu.

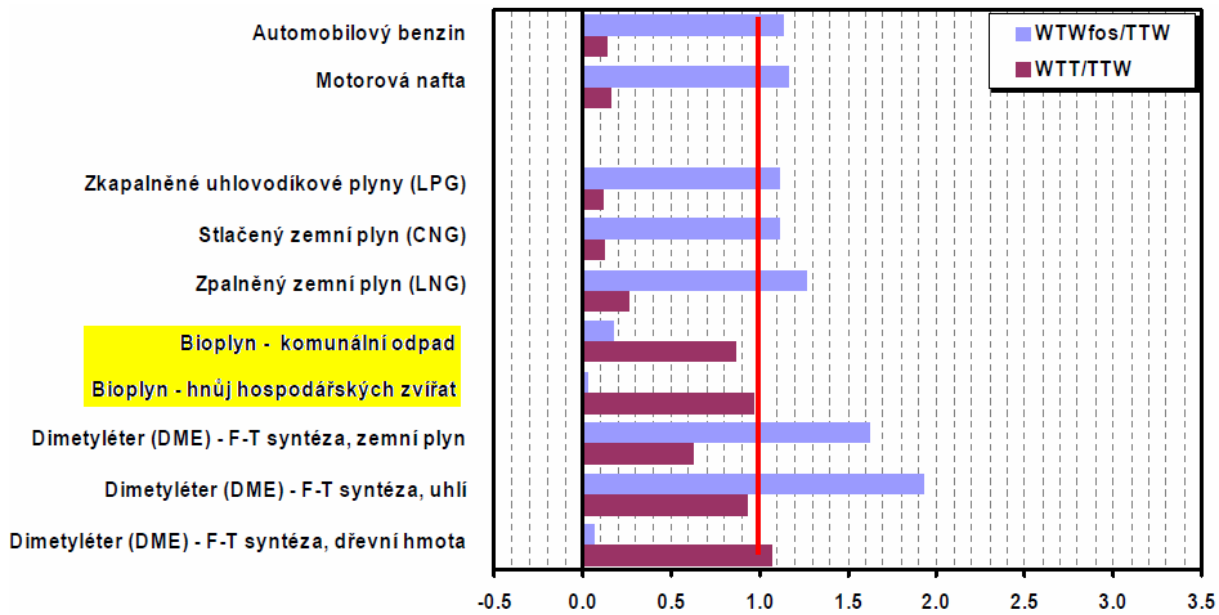
První graf WTW analýzy plyných paliv (obr. 10) ukazuje relativní porovnání spotřeby energie ve fázi výroby a distribuce (WTT) a celkové spotřeby energie z fosilních zdrojů (WTWfos). Obojí je pak vztaženo na využitelný obsah energie z paliva při spotřebě (TTW). [28]

Z grafu na obr. 10 lze vyčíst, že při výrobě a distribuci bioplynu je spotřebováno malé množství energie z fosilních zdrojů (světle modrý sloupec). U odpadového bioplynu je spotřeba fosilních paliv vyšší zejména díky potřebě pohonných hmot na dovoz komunálního odpadu na místo zpracování, nákladům na třídění a podobně. U zemědělských bioplynových stanic je s výše uvedenými úkony mnohem méně práce a tedy i energetický výdej je menší, protože „odpad“ je zpracováván v místě jeho vzniku. Z fialového sloupce zase vyplývá, že při výrobě a distribuci bioplynu spotřebujeme méně energie, než následně využijeme ve vozidle, z energetického hlediska je to tedy výhodné, i když u bioplynu vzniklého v zemědělských BPS se sloupec zastavuje těsně před hodnotou 1, která znamená vyrovnanou energetickou bilanci při výrobě a distribuci paliva a jeho následné spotřebě.

¹ The European Council for Automotive R & D

² The Oil Companies' European Association for Environment, Health and Safety in Refining and Distribution

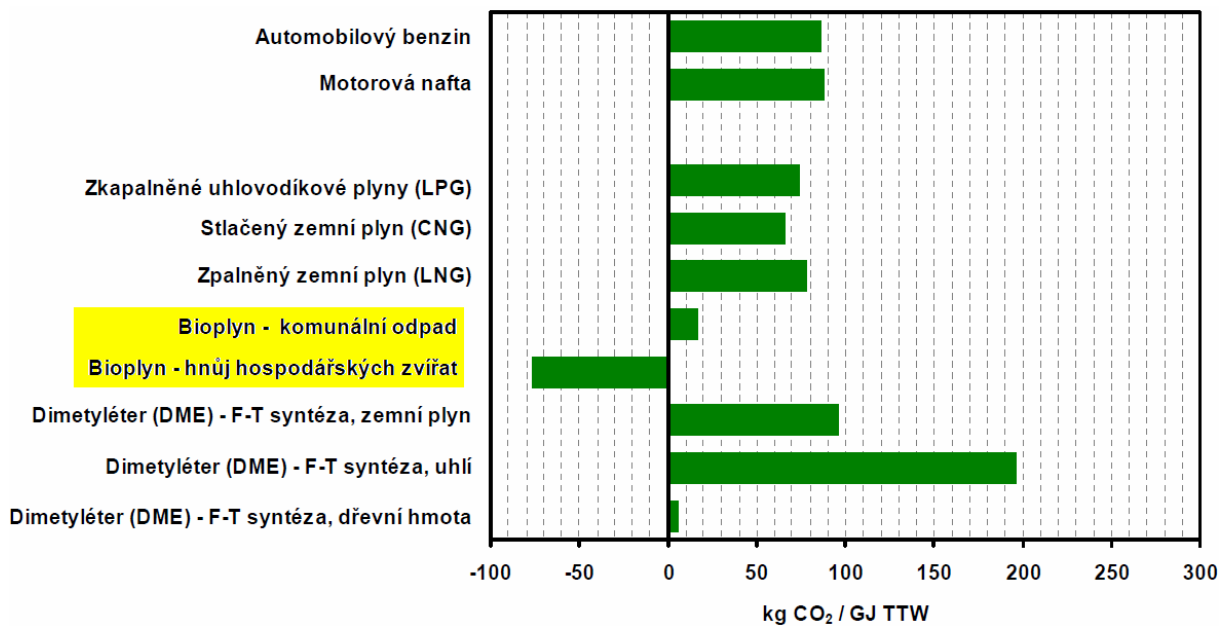
³ The Joint Research Centre of the EU Commission



Obr. 10 WTW analýza (1) [28]

Druhý graf WTW analýzy plyných paliv (obr. 11) popisuje celkové emise CO₂ spojené s výrobou a spotřebou vztahované na využitelný energetický obsah (TTW). 0

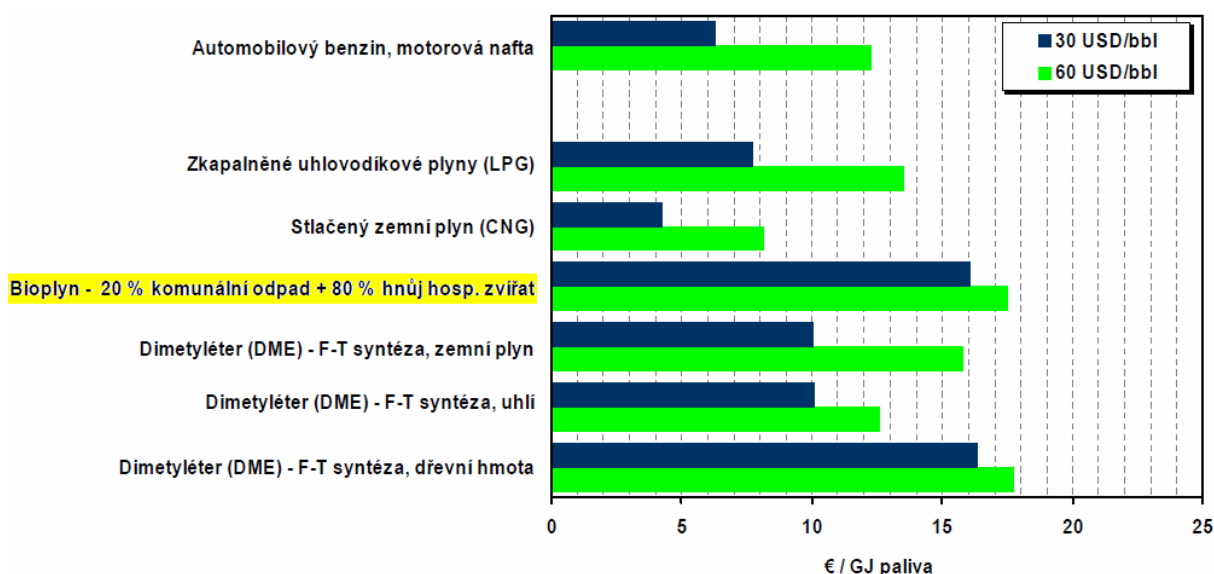
Ani v tomto měřítku si bioplyn v porovnání s fosilními palivy a dokonce i s ostatními plynými palivy nevede vůbec špatně. Dokonce u bioplynu vzniklého z hnoje hospodářských zvířat dosahují celkové emise CO₂ negativní bilance. To je dáno tím, že se využívá „materiál“, ze kterého by se při jeho samovolném rozkladu uvolnilo ještě hodně skleníkových plynů do ovzduší, ale tím že je „materiál“ využit, zpracován a následně spotřebován jako pohonná hmota dostáváme teoreticky záporné hodnoty. Toto samozřejmě platí i pro biologicky rozložitelné odpady. Ovšem oproti bioplynu vyrobenému v zemědělských BPS je zde nárůst CO₂, který je spojen s potřebou dopravit komunální odpad na místo jeho zpracování.



Obr. 11 WTW analýza (2) [28]

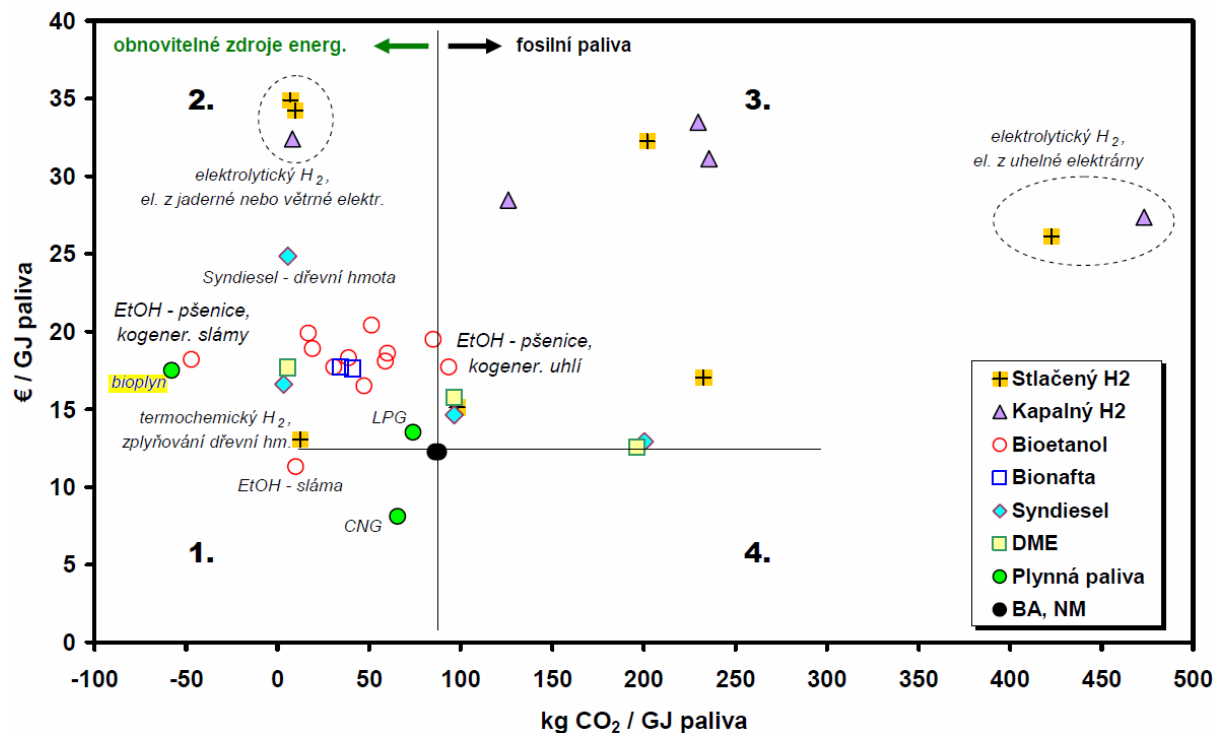
Třetí obr. 12 Well to Wheel analýzy plynných paliv porovnává výrobní náklady pro různé druhy pohonných hmot v závislosti na ceně ropy. [28]

V tomto grafu je v podstatě nejlépe vidět závěr, který byl odvozen i z předchozích dvou grafů. Pokud je odpad zpracováván v místě jeho vzniku, což bývá u zemědělských BPS pravidlem, je závislost na fosilních palivech prakticky minimální. Tento fakt dokládají takřka stejné velikosti obou sloupců (modrá a zelená barva). V grafu je znázorněna i hypotéza velkého cenového nárůstu ropy. Znamená to, že i kdyby se rapidně zvýšila cena ropy, výrobní cenu biomethanu to ovlivní jen minimálně. Méně příznivý pro bioplyn je ovšem druhý fakt, výrobní náklady patří k největším ze všech plynných paliv, což je způsobeno prozatím dosti nákladným čištěním bioplynu na kvalitu zemního plynu. To se ale může změnit objevením nové a ekonomicky výhodnější metody čištění.



Obr. 12 Porovnání výrobních nákladů pro různá alternativní plynná paliva a různé způsoby jejich výroby v závislosti na ceně ropy [28]

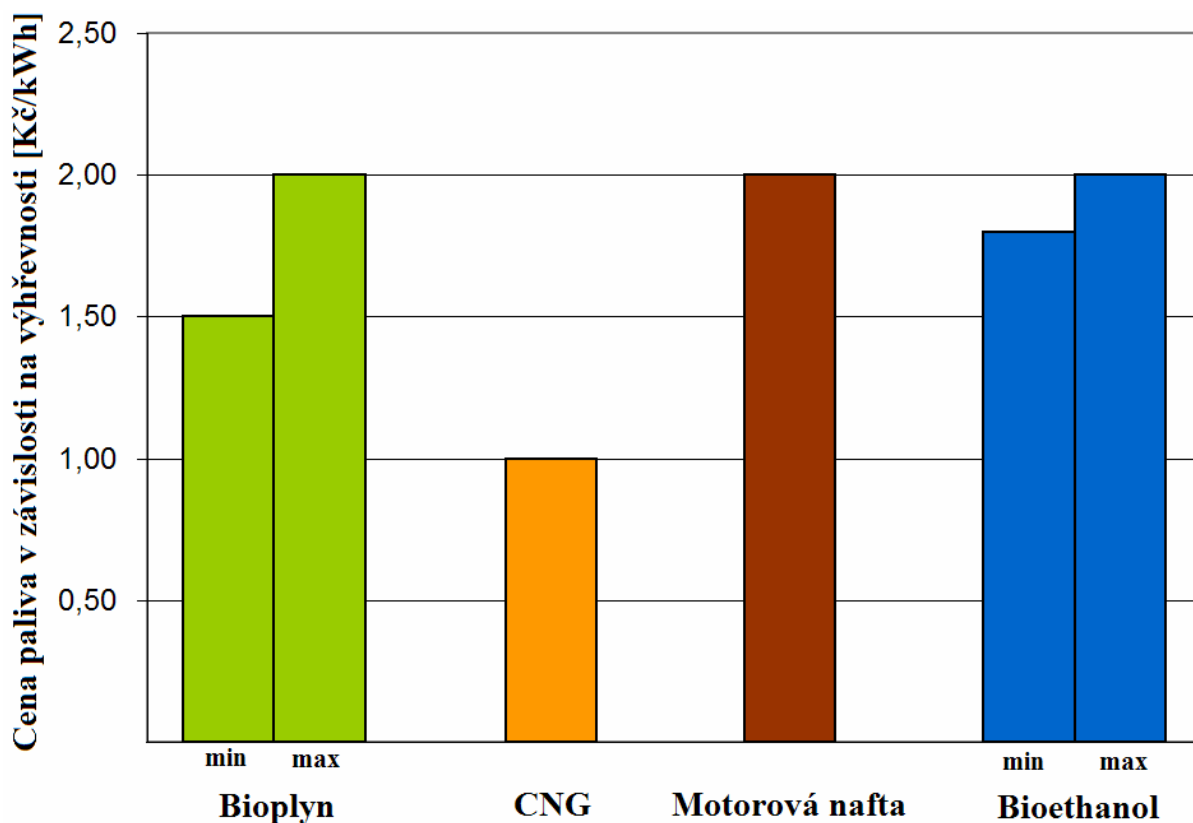
Poslední graf na obr. 13 související s WTW analýzou shrnuje ve vzájemných souvislostech výrobní náklady alternativních paliv a produkci skleníkových plynů v celém procesu výroby, distribuce a spotřeby alternativních pohonných hmot. Uvádí úsporu CO₂ s navýšením provozních nákladů na ujetí vzdálenosti 100 km v osobním automobilu různé technické úrovně. Z dat vyplývá poměrně velká finanční náročnost úspory skleníkových plynů v porovnání s fosilními palivy. Ideální je oblast 1. kvadrantu, nižší emise CO₂ společně s nižší výrobní cenou paliva v porovnání s klasickými pohonnými hmotami na ropné bázi. Reálně však do této kategorie patří pouze CNG. Nejhorší oblastí je pak logicky 3. kvadrant, kde obě sledované veličiny rostou. Se zvyšující se cenou ropy se vodorovná osa kříže bude přesouvat směrem nahoru a mezi ekologicky i ekonomicky výhodné se dostanou i další alternativní paliva, mezi které je řazen i bioplyn. Je potřeba připomenout, že graf uvažuje situaci odpovídající ceně ropy 60 USD/bbl. [28] V současnosti se její cena pohybuje okolo 68 USD/bbl.



Obr. 13 Porovnání výrobní ceny alternativních paliv a emisí skleníkových plynů při jejich použití jako motorových paliv [28]

5.2 Ekonomické postavení bioplynu na českém trhu

O současné výrobní ceně bioplynu a jeho situaci na trhu už mnohé vypovídají grafy v předešlé kapitole. Podle zkušeností z Německa by se mohl biomethan v ČR dodávat do plynovodní sítě v reálném intervalu od 1,50 – 2,00 Kč/kWh. Výsledná cena bioplynu respektive biomethanu může být značně proměnlivá. To záleží na mnoha faktorech, především na ceně vstupního substrátu. V případě kukuřice, která se musí pěstovat, náklady na biomethan činí asi 0,80 Kč/kWh. V případě odpadu by bioplynové stanice mohly také inkasovat poplatek za jejich „zneškodnění“, avšak v praxi je většina substrátů přijímána bezplatně nebo i nakupována v případě konkurenčního boje. Cenové srovnání s některými palivy pak nabízí obr. 14. [29]



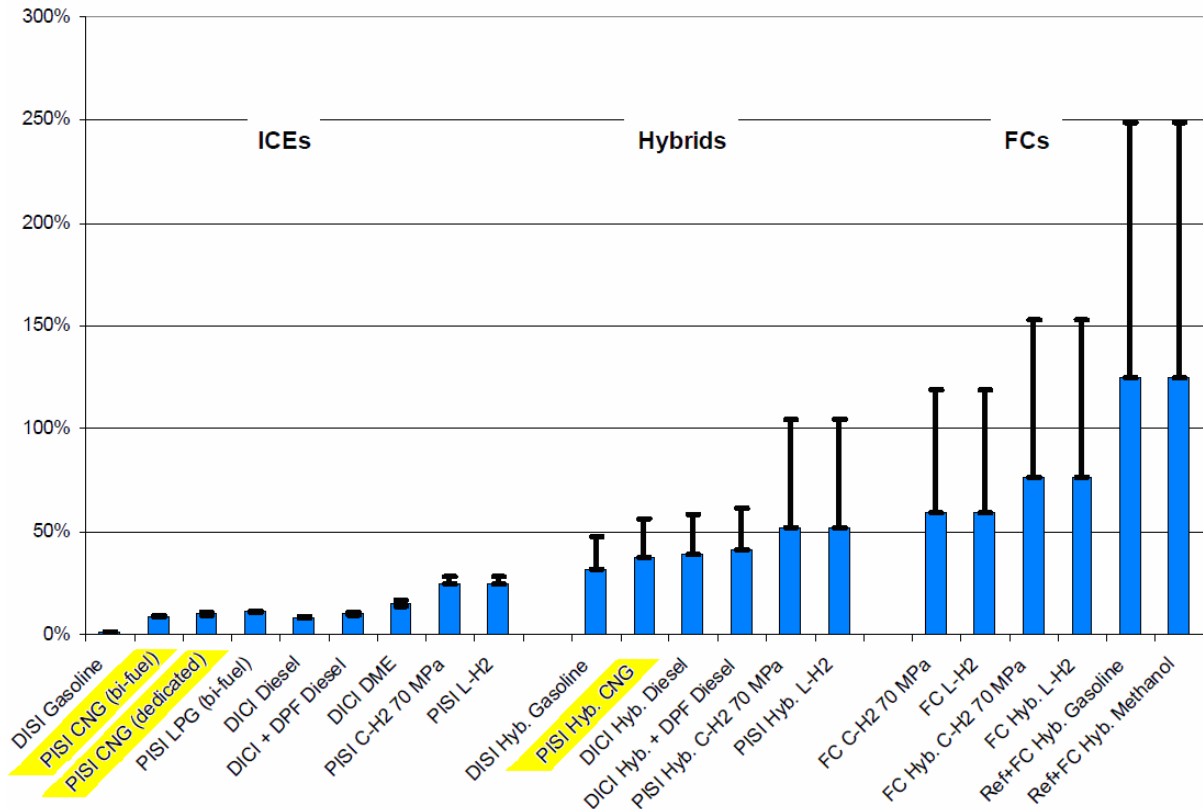
Obr. 14 Porovnání cen paliva v závislosti na výhřevnosti

Minimální a maximální hodnoty vymezují reálný interval ceny současného stavu na trhu s palivy. U bioplynu se jedná o hodnotu, za kterou jsou BPS schopny prodávat biomethan do rozvodné sítě zemního plynu. U zemního plynu je to potom nákupní cena maloobchodních odběratelů (bez DPH) stejně jako u bioethanolu a motorové nafty, u které sice není započteno DPH, ale cena je včetně spotřební daně. [29]

Už i z letmého pohledu na graf je zřejmé, že využívání bioplynu v dopravě není ekonomicky nijak nevýhodným řešením. Bioplyn je konkurenceschopným palivem, ale problém je se slabým postavením zemního plynu v dopravě v ČR podobně jako s jeho rozvodnou sítí.

5.3 Náklady na pořízení automobilu spalující bioplyn

Aby bioplyn byl použitelný jako palivo pro automobily musí být v podstatě ve formě čistého methanu. Tuto podobu má i stlačený zemní plyn, a proto můžeme biomethan tankovat do vozidel, které jsou určeny pro CNG. O kolik se prodraží koupě nového vozu využívající alternativní palivo, je vidět v následujícím grafu na obr. 15, který popisuje navýšení ceny vozu v procentech pro různá paliva. Navíc uvažuje více možností technologií při využití konkrétního paliva.



Obr. 15 Procentuální nárůst maloobchodní ceny vozidla oproti vozidlu využívající benzín (PISI) [30]

- pozn.: ICE – spalovací motor
 Hybrid – hybridní motor (kombinuje spalovací motor s elektromotorem)
 FC – motor využívající palivové články (tyto články vyrábí elektřinu z energie uvolněné při chemické reakci; jako palivo se nejčastěji používá vodík)
 PISI – spalovací zážehový motor využívající bodové vstřikování
 DICI – spalovací vznětový motor využívající přímé vstřikování
 DISI – spalovací zážehový motor využívající bodové vstřikování
 DPF – filtr pevných částic
 DME – di-methyl-ether
 L-H2 – tekutý vodík
 C-H2 – stlačený vodík
 bi-fuel – využívá alternativní palivo s možností přepnutí na klasické palivo
 dedicated – využívá pouze alternativní palivo

S grafu lze soudit, že zvýšení nákladů na pořízení automobilu spalující zemní plyn není v porovnání s jinými technologiemi nijak závratné. Modré sloupce sahají do výše minimálního nárůstu nákladů oproti vozidlu spalujícího benzín (PISI), černě je pak ohraničen cenový interval, ve kterém se náklady mohou pohybovat v důsledku zvolené výrobní technologie.

V následující tab. 4 je pro lepší představu uvedeno srovnání cen stejného modelu automobilu v podobné výbavě. První disponuje spalovacím motorem, další vznětovým a poslední verze automobilu jezdí na stlačený zemní plyn. Zajímavým ukazatelem je návratnost investice přepočtená na najeté kilometry. [31] Každý si ale nemůže dovolit koupit nového automobilu, a proto má majitel možnost přestavby svého automobilu na CNG. Cena takovéto přestavby se pohybuje okolo 60 tisíc Kč. Návratnost takové investice je při současných cenách paliv asi 4 roky, pokud majitel ujede denně průměrně 30 km. Avšak tato přestavba má oproti vozům přímo stavěným na CNG některé nevýhody: [32]

- dojezd na CNG pouze 200 – 250 km (toto řeší zachování původního palivového systému – jedná se tedy o dvoupalivový systém)
- zmenšení užité hodnoty (nádrže na CNG jsou umístěny v zavazadlovém prostoru)

Celkové shrnutí výhod a nevýhod automobilů, které jako pohon využívají stlačený zemní plyn, bylo již provedeno v kapitole 4.2.2 v tab. 3.

typ	výkon [kW]	spotř. [l,kg]	Kč/km	cena [Kč]	návr.1 [km]	návr.2 [km]
1,4 TSI	90	6,6	1,86	598 400	x	x
2,0 TDI	103	5,6	1,47	669 900	181 472	x
1,4 EcoFuel TSI	110	4,5	0,95	724 600	139109	106 586
* návr.1 návratnost vztažená k benzínové verzi 1,4 TSI						
* návr.2 návratnost vztažená k dieselové verzi 2,0 TDI						
* ceny PHM shodné v celém seriálu kvůli možnosti porovnání (benzín = 28,20; nafta = 26,20; CNG = 21,20)						

Tab. 4 Srovnání cen různých variant automobilu Volkswagen Passat [31]

6 Závěr

Tato bakalářská práce shrnuje základní problematiku výroby a využití bioplynu jako automobilového paliva z obnovitelných zdrojů energie. Nedílnou součástí práce je vyzdvihnout přínos bioplynu vyrobeného z biologicky rozložitelných odpadů, protože pro jejich využití je zde veliký potenciál. Obecně není moc možností, jak nakládat s odpadem a plní se tak skládky komunálních odpadů. Proto je v práci prozkoumán ekologický i energetický přínos zpracovávání odpadů v bioplynové stanici.

Začátek práce je věnován samotnému bioplynu, jeho vzniku a složení. Největší podíl v bioplynu patří methanu, avšak kromě CO_2 se zde nachází i další stopové prvky. A právě těchto prvků společně s CO_2 musíme bioplyn zbavit, aby výsledným produktem čistý biomethan.

A proto se další část práce zaměřuje na čištění bioplynu. Uplatnění bioplynu v automobilovém průmyslu má mnoho společného jako uplatnění stlačeného zemního plynu. Avšak aby se surový bioplyn stal použitelným palivem pro automobily, musí se vyčistit, tzn. zbavit nežádoucích složek. Vyčištění bioplynu je ekonomicky nákladné, nicméně v důsledku rostoucí ceny fosilních paliv a také s vývojem efektivnějších čistících technologií dokáže biomethan konkurovat právě klasickým i jiným alternativním palivům. Samotné čištění bioplynu je podřízeno české normě, která vzešla z normy švédské. A právě tato země disponuje největším počtem bioplynových úpraven a mnoholetými zkušenostmi s čištěním. Z kvality surového bioplynu vychází výběr vhodné technologie úpravy. Metody se od sebe odlišují svojí podstatou. Využívají se jak fyzikální tak i chemické děje. Mezi v současnosti používané technologie patří metoda tlakových změn, tlaková vodní vypírka, chemická vypírka a membránová separace. Z důvodu velké finanční nákladnosti je potom bez komerčního uplatnění metoda nízkoteplotní rektifikace. Technologie úpravy bioplynu na biomethan je nejnákladnější, ale zároveň nejdůležitější krok v celé cestě od počátečního substrátu biologicky rozložitelného materiálu až po palivo v nádrži automobilu. Zcela nový poznatek přináší metoda membránové separace, která je založena na principu odlišné průchodnosti jednotlivých složek ve směsi bioplynu tenkou membránou. Tato technologie by díky objevu nové karbonové membrány mohla zcela změnit současný náhled na jednotlivé metody čištění při výběru nejvýhodnější technologie. Hlavní výhodou karbonové membrány je vysoká čistota v jediném kroku. Neustálý vývoj a mladost tohoto oboru zapříčiňuje změny v technologiích i metody nové. Současně používané úpravy jsou porovnány v grafech.

Práce dále poukazuje na popis fungujících projektů. Jak už bylo zmíněno, Švédsko je zemí, která disponuje množstvím bioplynových úpraven. Ve Švédsku funguje 105 plnicích stanic na CNG a další jsou ve výstavbě, to jsou služby pro více jak 10 tisíc vozidel, které využívají stlačený zemní plyn nebo biomethan. Ve Švédsku je bioplyn používán výhradně jako palivo pro vozidla. V roce 2009 přijala tamní vláda dohodu: „Udržitelná energetická a klimatická politika pro životní prostředí, konkurence-schopnost a dlouhodobou stabilitu“, která má vytyčeny hlavní cíle v ukončení spalování fosilních paliv v teplárenství a měla by skončit i závislost švédské automobilové dopravy na klasických pohonných hmotách. Česká republika zaostává v počtu bioplynových stanic. Největší překážkou jsou investiční náklady a bezpečnostní požadavky. Mimo tyto uvedené se ČR potýká i s nedůvěrou obyvatel.

I přes tyto překážky se v posledních letech uvedlo do provozu 76 bioplynových stanic a další jsou ve výstavbě. Od bioplynu je k biomethanu však ještě veliký kus cesty. V ČR ale zatím neexistuje žádná nabídka biomethanu, protože u nás nefunguje žádné zařízení na čištění bioplynu a ten prakticky všechen končí v kogeneračních jednotkách, ve kterých se vyrábí elektrický proud. Biomethan mohou využívat majitelé automobilů na stlačený zemní plyn a toto palivo má řadu zvýhodnění stejně jako automobily, které ho využívají. Mezi nejzajímavější výhody patří současná absence spotřební daně a absence silniční daně pro podnikatele. Spotřební daň se sice od roku 2012 bude vztahovat i na CNG, ale do roku 2020 závratně nenaroste a nebude ani zdaleka dosahovat hodnot jaké jsou u fosilních paliv. Zajímavější je také státní dotace na nákup nového vozu. Tzv. „šrotovné“ je u automobilů na alternativní pohon 2x vyšší a činí 60 tisíc Kč s tím, že cena vozu nepřesáhne 700 tisíc Kč.

Plynárenské společnosti se zavázaly, že se v dohledné době zvýší počet čerpacích CNG stanic. Výhodou automobilů na stlačený zemní plyn jsou nižší provozní náklady, nižší emise škodlivých látek a vyšší bezpečnost. Jedinými nevýhodami jsou vyšší pořizovací náklady a omezený výběr vozidel, ten ovšem neustále narůstá a už v současnosti dokáže výrobci automobilů uspokojit i náročného zákazníka.

Produkce bioplynu v ČR se soustředila především na plyn získaný z čistírny odpadních vod. Největší potenciál však mají biologicky rozložitelné odpady. Biologicky rozložitelnými materiály rozumíme odpady s nejrůznějších odvětví průmyslu, vedlejší živočišné produkty i rostlinou biomasu. Velké rezervy jsou jak u zemědělských bioplynových stanic, tak i u stanic zpracovávající odpady. Oba typy bioplynových stanic jsou však mnohem náročnější na investiční náklady. Může se zde totiž objevit zápach a právě investice narůstají o zařízení, které nežádoucí zápach odstraňují. Vyšší jsou i provozní náklady a v neposlední řadě jsou tyto stanice znevýhodněny státem, který stanovil nižší výkupní ceny elektřiny a nižší Zelené bonusy. Aby bylo možné potenciál biologicky rozložitelného odpadu jako substrátu pro výrobu bioplynu využít, je zapotřebí udělat nějakou změnu, aby se tyto stanice staly lákavé pro případné investory. Prvním krokem by měla být zvýšená výkupní cena elektřiny dodávané do sítě i Zelených bonusů. Pokud bude zpracováván biologicky rozložitelný odpad v bioplynových stanicích, znamená to i snížení množství tohoto odpadu na skládkách komunálního odpadu. Zajímavá možnost by byla navýšit cenu za skladování odpadů na skládkách a takto „podpořit“ bioplynové stanice zpracovávající odpad, který by zde byl k „uložení“ zdarma.

Pokud se mají snížit emise skleníkových plynů, musí se pozornost soustředit na sektor dopravy. Ta je totiž jediným odvětvím, ve kterém dochází k neustálému nárůstu. A právě bioplyn je vhodnou volbou, pokud má být snížena produkce CO₂. Zejména pak bioplyn pokud pochází ze zemědělských nebo odpadářských bioplynových stanic. Ze současných analýz, ve kterých se uvažuje jak výroba, tak i spotřeba bioplynu, je zřejmá úspora skleníkových plynů oproti klasickým palivům. Tyto analýzy jsou komplexní a zahrnují mimo jiné i dopravu materiálu na místo zpracování, která je nákladná a je při ní produkováno CO₂. Důvodem snížení emisí skleníkových plynů je i využití odpadu jako substrátu, protože při samovolném rozkladu odpadu se produkuje CO₂. Úspora skleníkových plynů je však finančně poměrně náročná. S postupným růstem ceny ropy je ale reálná ekonomická i ekologická přínosnost biomethanu. Z celkového energetického hlediska je pak biomethan taktéž výhodné palivo, protože energie, kterou spotřebujeme na výrobu

a distribuci této pohonné hmoty, je nižší než energie vyprodukovaná při spalování biomethanu.

Bioplyn má potenciál nahradit 10 – 20 % fosilních paliv a alespoň částečně tak pomoci ke zlepšování čistoty životního prostředí, zejména pak se snižováním emisí skleníkových plynů a s nimi souvisejícími globálními problémy.

Seznam použité literatury

- [1] STRAKA, F.: Bioplyn. 1. vyd. Říčany: GAS, 2003. 517 s. ISBN 80-7328-029-9.
- [2] SCHULZ, H., Eder, B.: Bioplyn v praxi. 1. české vydání. HEL, Ostrava 2004. 168 s. ISBN 80-86167-21-6.
- [3] KÁRA, J. – MOUDRÝ, I. – KOUŘA, J.: Nové technologické systémy pro hospodárné využití bioplynu, výzkumná zpráva č.: Z 2510, VÚZT, v.v.i. Praha, 2008, 53 s. vč. příloh
- [4] Využití bioplynu v dopravě [online]. Citováno dne: 2010-04-03. Dostupné z <http://www.madegascar.eu/fileadmin/dam/madegascar/downloads/czech_repubblic/MadeGasCar-desky-final.pdf>
- [5] SLADKÝ, V.: Metody úpravy bioplynu na kvalitu zemního plynu. Biom.cz [online]. Zveřejněno dne: 2009-03-30 [cit. 2010-04-03]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/metody-upravy-bioplynu-na-kvalitu-zemniho-plynu>>. ISSN: 1801-2655.
- [6] Čermáková J., Tenkrát D., Prokeš O.; Překážky a bariéry využití bioplynu v kvalitě ZP [online]. Zveřejněno dne: 2008-04-08 [cit. 2010-04-03]. Dostupné z <http://redubar.eu/system/files/Bioplyn_2008_Cermakova_Tenkrat_Prokes.pdf>
- [7] FORBORD, G.: Membrane filtration and potential for small scale upgrading of biogas [online]. Zveřejněno dne: 2010-03-11 [cit. 2010-04-03]. Dostupné z <<http://nordicbiogass.ezpublish.no/content/download/69657/592204/file/Forbord.pdf>>
- [8] The Carbon Membrane [online]. Citováno dne: 2010-04-03. Dostupné z <<http://www.memfoact.no/carbonmembrane.html>>
- [9] SCHMUDERER, M.: Overview, operational experience and perspectives of biogas upgrading technologies [online]. Zveřejněno dne: 2010-02-05 [cit. 2010-05-17]. Dostupné z <http://www.madegascar.eu/fileadmin/dam/madegascar/downloads/2010/Madegascar_FC_-_Feb_5_-_4_-_MatthiasSchmuderer.pdf>
- [10] GRAF, F.: Biomethane injection into the gas grid – present status and trends in Germany [online]. Zveřejněno dne: 2010-02-05 [cit. 2010-05-17]. Dostupné z <http://www.madegascar.eu/fileadmin/dam/madegascar/downloads/2010/Madegascar_FC_-_Feb_5_-_2_-_FrankGraf.pdf>
- [11] PETERSSON, A.: Overview of upgrading technologies [online]. Zveřejněno dne: 2010-03-11 [cit. 2010-04-03]. Dostupné z <<http://nordicbiogass.ezpublish.no/content/download/69655/592200/file/Petersson.pdf>>
- [12] Tankování CNG ve Švédsku [online]. Citováno dne: 2010-04-26. Dostupné z <http://www.cngcompany.cz/63-svedsko/_sweden>
- [13] Att tanka din gas bil: Aktuella priser [online]. Citováno dne: 2010-04-26. Dostupné z <<http://www.gasbilen.se/Tanka/AktuellaPriser.aspx>>
- [14] Bioplyn jako pohonná hmota [online]. Zveřejněno dne: 2010-02-02 [cit. 2010-04-26]. Dostupné z <<http://intranet.zas-me.cz/opr/bioplyn-jako-pohonna-hmota.pdf>>
- [15] Švédsko: ekonomická charakteristika země [online]. Citováno dne: 2010-04-26. Dostupné z <<http://www.businessinfo.cz/cz/sti/svedsko-ekonomicka-charakteristika-zeme/4/1000810/>>

- [16] CHARVÁT, J.: Nová Švédská energetická politika [online]. Zveřejněno dne: 2009-02-17 [cit. 2010-04-26]. Dostupné z <http://www.mzv.cz/stockholm/cz/obchodne_ekonomicky_usek/ekonomicke_inf ormace/nova_svedska_energeticka_politika.html>
- [17] Švédsko postaví 2000 nových větrných elektráren [online]. Zveřejněno dne: 2010-03-08 [cit. 2010-04-26]. Dostupné z <<http://www.ekobydleni.eu/vetrna-energie/svedsko-postavi-2000-novych-vetrnych-elektraren>>
- [18] MUŽÍK, O., KÁRA, J.: Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. *Biom.cz* [online]. Zveřejněno dne: 2009-03-04 [cit. 2010-04-26]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>>. ISSN: 1801-2655.
- [19] VÁŇA, J.: Je možno odstranit nedostatky brzdící další rozvoj bioplynu v České republice. *Biom.cz* [online]. Zveřejněno dne: 2007-10-08 [cit. 2010-04-26]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/je-mozno-odstranit-nedostatky-brzdici-dalsi-rozvoj-bioplynu-v-ceske-republice>>. ISSN: 1801-2655.
- [20] BAČÍK, O.: Bioplynové stanice: technologie celonárodního významu. *Biom.cz* [online]. Zveřejněno dne: 2008-01-14 [cit. 2010-04-27]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stance-technologie-celonarodniho-vyznamu>>. ISSN: 1801-2655.
- [21] Mapa bioplynových stanic, CZ Biom, 2009 [online]. Citováno dne 2010-04-27. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/produkty-a-sluzby/bioplynove-stance>>
- [22] CNG auto [online]. Citováno dne 2010-04-27. Dostupné z <<http://www.cngauto.cz/o-cng/>>
- [23] Zemní plyn v dopravě: Česká republika [online]. Citováno dne 2010-04-27. Dostupné z <http://www.cng.cz/cs/zemni_plyn/fakta/ceska_republika.html>
- [24] CZ Biom, : Podpora využívání obnovitelných zdrojů energie v rámci Programu rozvoje venkova pro rok 2009. *Biom.cz* [online]. Zveřejněno dne: 2009-04-13 [cit. 2010-05-04]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/podpora-vyuzivani-obnovitelnych-zdroju-energie-v-ramci-programu-rozvoje-venkova-pro-rok-2009>>. ISSN: 1801-2655.
- [25] VÁŇA, J.: Bioplynové stanice na využití bioodpadů. *Biom.cz* [online]. Zveřejněno dne: 2010-05-10 [cit. 2010-05-17]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stance-na-vyuziti-bioodpadu>>. ISSN: 1801-2655.
- [26] CHRISTOPHER, M.: The environmental benefits of CNG and biomethane – reasons for energy agencies and policymakers to deal with this issue [online]. Zveřejněno dne: 2010-02-04 [cit. 2010-05-17]. Dostupné z <http://www.madagascar.eu/fileadmin/dam/madagascar/downloads/2010/Madagascar_FC_-_Feb_4_-_2_-_ChristopherMaltin.pdf>
- [27] WALTER, C., STUPAVSKÝ, V.: Velký CO₂ podvod. *Biom.cz* [online]. Zveřejněno dne: 2008-12-15 [cit. 2010-05-17]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/velky-co2-podvod>>. ISSN: 1801-2655.
- [28] ŠEBOR, G., POSPÍŠIL, M., ŽÁKOVEC, J.: Technicko – ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě [online]. Praha, červen 2006. Citováno dne: 2010-05-17. Dostupné z <<http://www.kraj-lbc.cz/public/doprava/prezentace07/pdfs/12b.pdf>>
- [29] VORÍŠEK, T.: Resuscitace biopaliv - biometanem. *Biom.cz* [online]. Zveřejněno dne: 2009-10-12 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/resuscitace-biopaliv-biometanem>>. ISSN: 1801-2655.

- [30] Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context [online]. Říjen 2008. Citováno dne: 2010-05-20. Dostupné z <<http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/V3.1%20TTW%20Report%2007102008.pdf>>
- [31] SOUKUP, P.: Vše o CNG (11) - Volkswagen Passat TSI EcoFuel [online]. Zveřejněno dne: 2009-09-29 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z <<http://www.hybrid.cz/clanky/vse-o-cng-11-volkswagen-passat-tsi-ecofuel>>
- [32] NOVOTNÝ, T.: CNG: Kolik stojí přestavba vozu? Vyplatí se? [online]. Zveřejněno dne: 2010-01-13 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z <<http://www.nazeleno.cz/technologie-1/lpg-a-cng/cng-kolik-stoji-prestavba-vozu-vyplati-se.aspx>>