

ODSTRAŇOVÁNÍ CO₂ Z BIOPLYNU ADSORPCÍ ZA VYŠŠÍCH TLAKŮ

Veronika Vrbová, Alice Procházková, Karel Ciahotný

VŠCHT Praha, Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší, Technická 5, 166 28 Praha 6
e-mail: veronika.vrbova@vscht.cz

Bioplyn vyráběný v bioplynových stanicích se nejčastěji využívá v kogeneračních jednotkách k výrobě elektrické energie. Současně vyráběné teplo se však často maří vypouštěním do vzduchu, čímž dochází k vysokým energetickým ztrátám, celková účinnost využití energie obsažené v bioplynu je nízká a obvykle nepřekročí 40 %. Z tohoto důvodu jsou vyvíjeny technologie úpravy bioplynu na biomethan. Takto upravený bioplyn, s obsahem methanu vyšším než 95 %, je možné dále uplatnit jako pohonnou látku pro vozidla (je v souladu s Bílou knihou dopravní politiky EU a Zprávou expertní skupiny EU pro budoucí alternativní paliva) nebo může být vtlačěn do místní distribuční sítě zemního plynu. Tento článek je zaměřen na testování adsorpčních metody, která se jako jedna z metod k separaci oxidu uhličitého z bioplynu úspěšně používá v provozní praxi. Je zde popsáno testování různých adsorbentů pro separaci CO₂ z modelové směsi plynů v laboratorních podmínkách i další testování vybraných adsorbentů s použitím reálného bioplynu, které bylo prováděno na Ústřední čistírně odpadních vod v Praze Bubeneč.

Klíčová slova: adsorpce, CO₂, bioplyn

Došlo 30. 7. 2012, přijato 3. 9. 2012

1. Úvod

Majoritními složkami bioplynu pocházejícího z anaerobní digesce a skládek odpadů jsou především methan a oxid uhličitý. Dalšími sledovanými komponenty, které se nacházejí v bioplynu a mohou za určitých podmínek způsobovat technologické problémy, jsou vodní pára, sulfan, siloxany, amoniak a kyslík. Pro čištění a zušlechťování bioplynu na biomethan se používají různé metody, které se liší technologickým uspořádáním i kvalitou produkovaného biomethanu.

V provozních podmínkách doposud největšího uplatnění doznaly dvě technologie, mezi které patří proces tlakové adsorpce (označované jako PSA), nebo chemická či fyzikální absorpce vodou či jiným pracím roztokem. V neposlední řadě se slibnou technologií z pohledu energetických i prostorových nároků ukazují membránová separace, která má již několik prvních komerčních nasazení. Dále se zdá velmi perspektivní i využití kryogenní metody separace oxidu uhličitého, ovšem její praktické uplatnění pro úpravu bioplynu je však zatím ve stádiu vývoje [1].

2. Teoretická část

Bioplyn vzniká při anaerobním rozkladu organických materiálů, jako je kejda, čistírenské kaly, organické frakce tuhého komunálního odpadu nebo různé druhy organických odpadních materiálů z průmyslu; významnou surovinou pro výrobu bioplynu jsou v poslední době také energetické plodiny.

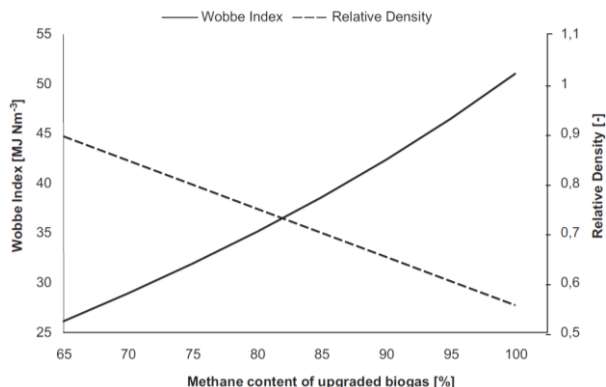
Metanizace je proces, při kterém směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá biologicky rozložitelnou hmotu bez přístupu vzduchu, kdy konečnými produkty jsou methan, oxid uhličitý, vodík, dusík a sulfan; dále v procesu zůstává nerozložený zbytek orga-

nické hmoty, který je již stabilizován a z hlediska hygienického a senzorického nezávadný pro prostředí [2]. Výroba a využití bioplynu mají několik environmentálních výhod:

- Jedná se o obnovitelný zdroj energie.
- Může být použit jako náhrada fosilního paliva, jehož spalováním vznikají minimální emise v porovnání s tradičními fosilními palivy.
- Získá se zároveň vysoce kvalitní digestát, který může být použit jako hnojivo.
- Jedná se o lokální výrobu energie podporující místní ekonomiku a eliminující potřebu importu surovin.

Vyrobený bioplyn se převážně využívá pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie, dále jako palivo pro získávání tepla, nebo je upravován na biomethan používaný jako palivo pro motorová vozidla nebo náhrada za zemní plyn. Náhradou tradičních paliv biomethanem vznikne řešení emitující téměř žádné pevné částice (problém dieselových motorů) a bilance CO₂ je přitom neutrální. [3].

Pro čištění a zušlechťování bioplynu je používáno několik metod pracujících na různých principech. V prvním stupni se většinou provádí odstranění nežádoucích látek, mezi které patří sulfan, siloxany, amoniak a vodní pára. Po odstranění těchto látek dochází ve druhém stupni k separaci oxidu uhličitého z bioplynu, čímž dojde ke snížení relativní hustoty a zvýšení výhřevnosti plynu; to zvyšuje Wobbeho číslo, které je na těchto parametrech závislé. Závislost Wobbeho čísla a relativní hustoty plynu na obsahu methanu v plynu jsou znázorněny na obr. 1. Výsledný biomethan obsahuje obvykle 97 – 99 % CH₄ a 1 – 3 % CO₂ a může být dále využit jako alternativa zemního plynu.



Obr. 1. Závislost Wobbeho čísla a relativní hustoty na vzrůstajícím obsahu methanu v bioplynu [4].

2.1. Separační metody pro odstraňování CO₂

Pro vtlačení biomethanu do plynovodů na zemní plyn je obsah CO₂ limitován pod 5 %, což je dáno technologickými pravidly TPG 902 02 [5].

Jedny z nejčastěji používaných technik odstraňování CO₂ z bioplynu jsou fyzikální a chemická absorpce, adsorpční metoda PSA (Pressure Swing Adsorption) a VPSA (Vacuum Pressure Swing Adsorption), membránová separace a kryogenní separace.

Využití adsorpčních materiálů je vhodné díky jejich jednoduchosti, možnosti aplikace při různých tlacích, snadné regulaci procesu a jednoduché regeneraci adsorbentů. Pro odstranění CO₂ je vhodné využití metody PSA s použitím speciálních adsorpčních materiálů na bázi uhlíkových molekulových sít.

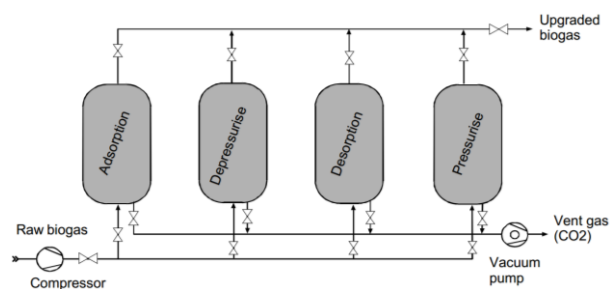
PSA (Pressure Swing Adsorption), VPSA (Vacuum Pressure Swing Adsorption)

PSA patří mezi adsorpční technologie, která se využívá z důvodů nízkých energetických potřeb a investičních nákladů ve srovnání s jinými separačními metodami, jako je například absorpce a destilace. Tato metoda je založena na adsorpci nežádoucích plynných složek na porézním sorbentu při zvýšeném tlaku a zároveň desorpci při nízkém tlaku, čímž může být sorbent regenerován a použit v následujícím adsorpčním cyklu. Zatímco absorpce, membránová separace a kondenzace slouží především k odstranění CO₂, adsorpce na pevných sorbentech, jako jsou zeolity, umožňuje selektivně nebo současně odstraňovat vodu, sulfan a další nečistoty, jako sloučeniny křemíku [6].

Pro metodu PSA i VPSA se používají jako adsorbenty aktivní uhlí, uhlíkatá molekulová síta, silikagel, alumina nebo zeolity. Molekuly odstraňovaných látek jsou na povrchu adsorbentu zachytávány pomocí Van der Waalsových sil. Je to cyklický proces, při kterém adsorpce probíhá za relativně vyššího tlaku a desorpce (regenerace) naopak za nižšího tlaku. Pro vyšší účinnost separace CO₂ je lepší před vstupem do adsorbéru surový plyn vysušit a odstranit H₂S. Zařízení pro tyto technolo-

gie jsou téměř identická s tím rozdílem, že u metody VPSA je použita pro desorpci vakuová pumpa.

Technologie PSA dokáže separovat z bioplynu CO₂, ale i O₂ a N₂. Selektivita adsorpce je dosažena velikostí pórů a použitím různých tlaků pro separaci. Tato technologie se skládá obvykle z tří nebo čtyř paralelně zapojených adsorbérů, kdy každý pracuje samostatně v procesu adsorpce – desorpce. Spotřeba energie pro stlačování plynu může být snížena využitím vyššího tlaku plynu z jednoho adsorbéru pro natlakování jiného adsorbéru, který je zrovna ve fázi po regeneraci adsorbentu. Schéma technologie VPSA je uvedeno na obr. 2.



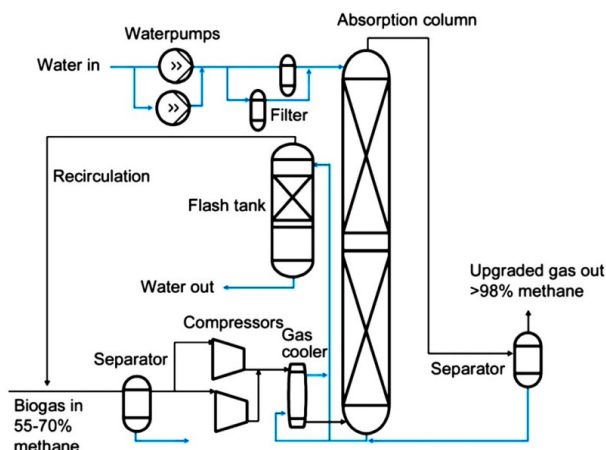
Obr. 2. Zušlechťování bioplynu za použití technologie VPSA [7].

Bioplyn zbavený síry se stlačuje na cca 0,4 - 0,7 MPa, zchladí se na teplotu 10 až 20 °C a odloučí se zkondenzovaná voda. Takto vyčištěný plyn se přivádí zespodu do adsorbéru, který obsahuje vhodný adsorbent, např. molekulové síto tvořené porézním uhlíkem v extrudované podobě. Na tomto adsorbentu se zachycuje CO₂, zbytkové obsahy H₂O a H₂S a rovněž malé množství methanu; z horní části adsorbéru vychází methan o koncentraci 95 – 98 %. Po nasycení adsorbentu a zvýšení koncentrace CO₂ na výstupu z adsorbéru se proud bioplynu přepne do druhého adsorbéru a první se regeneruje odtlakováním [8].

Fyzikální a chemická absorpce

Princip fyzikální vypírky vodou nebo jinými kapalinami je založen na rozdílné rozpustnosti plynů v kapalinách (voda, glykol – ethery). Výhodou této technologie je současné odstranění sulfanu a amoniaku, z důvodu jejich vyšší rozpustnosti než oxidu uhličitého. Absorpce probíhá za tlaku 0,6 – 0,8 MPa a teplotě 10 °C. Regenerace nasyceného pracího roztoku probíhá zvýšením teploty. Ztráty methanu jsou v tomto procesu zhruba 2 % a výsledná čistota biomethanu je 97 – 99 % CH₄ [8].

Schématické znázornění technologie absorpce CO₂ z bioplynu ve vodě je na obr. 3.



Obr. 3. Zušlechťování bioplynu fyzikální absorpcí bez regenerace vody [7].

Plyn, který odchází horní částí kolony, je bohatý na methan a před dalším použitím je sušen a odorizován. Ze spodní části absorpční kolony odchází voda, ve které jsou rozpuštěny CO₂ a sulfan. Absorpční kolona je naplněna výplní, aby se zvýšila plocha kontaktu mezi kapalnou a plynnou fází. Vzhledem k tomu, že je methan částečně rozpustný ve vodě, odchází spolu s promývací vodou ze spodu kolony, a proto se v některých případech voda částečně recykluje. Na obr. 3 je znázorněna vodní vypírka bez regenerace. Pokud se používá regenerace vody, dochází ke snížení tlaku promývací kapaliny na atmosférický, kdy dojde k desorpci CO₂, poté je voda ochlazena a může být znovu využita v čistícím procesu [7].

Místo vody lze také využít polyethylenglykol (Sellecol). Výhodou tohoto procesu je vyšší rozpustnost H₂S, CO₂ a H₂O v polyethylenglykolu než ve vodě. Kromě toho má polyethylenglykol při teplotě absorpce nízký tlak par, takže ztráty chemických látek jsou velmi malé. Uspořádání technologie zušlechťování bioplynu pomocí polyethylenglykolu je stejné, jako při fyzikální vypírce vodou. Další alternativou pro separaci CO₂ chemickou absorpcí jsou aminy, kdy je oxid uhličitý absorbován v kapalině v absorpční koloně a reaguje za atmosférického tlaku s pracím roztokem. Poté je kapalina regenerována zahřátím pomocí vodní páry nebo jiného zdroje tepla. V tomto případě je sulfan odstraněn ještě před vstupem bioplynu do dané technologie, aby nedocházelo k tzv. „otravě“ pracího roztoku [7].

Membránová separace

Nově se při čištění bioplynu používají polymerní membrány ze silikonového kaučuku nebo acétátu celulózy. Další možností jsou membrány z polyimidu nebo polyetheramidu. Membránová separace je založena na selektivní propustnosti, má vysokou efektivitu, ale obvykle není schopna odolávat agresivním složkám obsaženým v bioplynu. Vysoké ztráty methanu při tomto procesu lze zabránit cirkulací plynu přes membránu. Velmi slibnou metodou se jeví zakotvené kapalné membrány s iontovými kapalinami. Výhodami těchto

membrán jsou využití vysokých toků hmoty membránou a jejich velmi vysoká selektivita. Bylo prokázáno, že iontové kapaliny jsou selektivní především pro směs methanu a oxidu uhličitého. Tyto iontové kapaliny jsou však zatím příliš drahé pro průmyslové využití a jejich hygroskopické vlastnosti způsobují, že membrány ve vlhkém prostředí rychle ztrácejí požadované vlastnosti. Jejich velmi nízká chemická reaktivita nezamezuje zanášení membrán nežádoucími látkami, které jsou v bioplynu obsaženy i jen ve stopových množstvích. Kapalné iontové membrány se pro zpracování CO₂ z bioplynu v průmyslové praxi zatím nevyužívají [9].

Membrány z acétátu celulózy se používají pro odstranění menších molekul polárního charakteru, CO₂ a vlhkosti. Surový plyn může být přečištěn až na 94 % CH₄ v jednom kroku a použitím dvou až tří dalších kroků může být dosaženo koncentrace CH₄ 96 % a více. Stopové koncentrace některých látek je nutné odstranit před membránou, např. pomocí filtru s aktivním uhlím.

Absorpční membrány byly pro zušlechťování bioplynu vyvinuty teprve nedávno. Molekuly z proudu plynu tekoucího v jednom směru, které jsou schopny se šířit přes membránu, jsou na druhé straně membrány zachycovány v protiproudu kapaliny. Kapalině je zabráněno proudění do plynu vlivem mírného přetlaku na plynové straně membrány. Tyto membrány pracují za atmosférického tlaku (100 kPa) a mají nízké pořizovací náklady. Odstranění CO₂ je velmi efektivní, již v prvním kroku dojde ke zvýšení koncentrace methanu na 96 %. Regeneraci je možno provádět zahřátím kapaliny nasycené CO₂, kdy dochází k uvolnění čistého CO₂, který lze dále průmyslově využít [8].

Kryogenní separace

Tato metoda využívá k separaci CO₂ a CH₄ různé teploty a tlaky. Methan má za atmosférického tlaku bod varu -161 °C a oxid uhličitý má bod varu -78 °C. Surový bioplyn je stlačen až na 8 MPa, komprese se provádí ve více stupních s chlazením plynu mezi jednotlivými stupni. Takto stlačený plyn musí být předem vysušen, aby nedocházelo k vymrazování vody v jednotlivých stupních. Suchý a stlačený plyn je ochlazován na minus 45 °C, ztkondenzovaný CO₂ se odstraní. V dalším kroku dojde k ochlazení na -55 °C a poté expanduje na tlak 800 – 1 000 kPa v expanzní nádobě, čímž dosáhne teploty -110 °C. Za těchto podmínek je přítomen CO₂ v pevné fázi a plynná fáze obsahuje více než 97 % CH₄. Plyn obsahující methan je před opuštěním zařízení zahříván [4].

Výhodami tohoto postupu je možnost dalšího zhodnocení zkapalněného CO₂ a vysoká čistota CH₄, která činí 99 %. Pokud se využije i nižších teplot, dochází ke zkapalnění methanu, který může být dále využit jako náhrada za LNG, které má cca 2 x vyšší koncentraci energie na jednotku objemu a jeho využití v dálkové dopravě má velký potenciál. [1].

Biologická konverze

K procesu biologické konverze CO₂ se používají různé methanogeny, které využívají CO₂ jako zdroj uhlíku a H₂ jako zdroj energie. Teplota ovlivňuje rychlost reakce, proto záleží na volbě mezofilního nebo termofilního procesu. Termofilní methanogeny urychlují rychlost methanogeneze, zatímco mezofilní bakterie posouvají rovnováhu více na stranu CO₂. Prozatím testovaná bakterie *Methanobacterium thermoautotrophicum* pracuje optimálně při teplotách 65 – 70 °C. Synteticky připravený bioplyn o složení 50 – 60 % CH₄, 30 – 40 % CO₂ a 1 – 2 % H₂S byl smíchán s vodíkem v určitém poměru H₂:CO₂. Takto připravený systém dokáže účinně odstranit oxid uhličitý i sulfan a přibližně zdvojnásobit původní obsah methanu. Upravený bioplyn obsahuje asi 96 % CH₄ a 4 % CO₂, obsah vodíku a sulfanu v plynu nebyl detekován [10].

3. Experimentální část

Pro získání informací o účinnosti zachytu CO₂ na různých adsorbentech bylo provedeno několik sad měření, jak v laboratorních podmínkách s použitím modelových směsí plynů, tak v provozních podmínkách s použitím reálného bioplynu.

Při jednotlivých experimentech byly testovány tři druhy adsorpčních materiálů s rozdílnými vlastnostmi:

- MS 13 X – syntetický zeolit, Sigma – Aldrich,
- Tamis moleculaires – molekulové síto, Caldic,
- Envisorb B+ - kombinovaný adsorbent složený z aktivního uhlí a silikagelu, Engelhard Process Chemicals GmbH.

Během laboratorních pokusů byly měřeny průnikové křivky pro oxid uhličitý z modelové směsi plynů obsahující pouze CO₂ a CH₄, která svým složením připomíná bioplyn.

K testování v laboratorních podmínkách byla použita aparatura, jejíž hlavní část tvořil adsorbér o objemu 0,314 dm³ (délka adsorbéru 1 000 mm a jeho průměr 20 mm). Adsorbér byl naplněn vybraným sorbentem a evakuován vakuovou pumpou po dobu 15 minut. Poté byl adsorbér natlakován směsí plynů na potřebný tlak, po otevření jehlového ventilu začal modelový plyn procházet adsorbérem, dále přes plynoměr a přes analyzátor, kterým byla sledována koncentrace CO₂ v plynu za adsorbérem. Zároveň byl ve stejných časových intervalech na plynoměru odečítán objem plynu prošlý adsorbérem. K testování byl použit modelový plyn z tlakové láhve o složení 35 % CO₂ a 65 % CH₄. Měření průnikové křivky CO₂ bylo ukončeno, když jeho koncentrace v plynu za adsorbérem dosáhla hodnoty 35 %. Nárůst hmotnosti adsorbentu po ukončení pokusu způsobený sorpcí CO₂ byl zjištěn gravimetricky; množství naadsorbovaného CO₂ při jednotlivých pokusech bylo rovněž vypočítáno integrací příslušné změřené průnikové křivky.

V druhé etapě testování byly s použitím reálného bioplynu prováděny podobné testy na aparatuře instalované na ÚČOV Praha. Zde se nachází nová úpravná bioplynu, která byla uvedena do provozu v roce 2008. Úpravná je vybavena dvěma chladiči, dvěma ohříváky a třemi adsorbéry s aktivním uhlím pro odstraňování siloxanů z bioplynu. Bioplyn nejprve prochází skrz oba chladiče, kde se zchladí na 5 až 8 °C a tak se zbaví podstatné části vlhkosti. Potom se v ohříváku ohřeje zpět na 25 až 30 °C a vstoupí do prvního adsorbéru a následně do druhého adsorbéru s aktivním uhlím. V adsorbérech se zachycují siloxany a také některé další org. látky, které jsou v bioplynu obsaženy. Po výstupu z druhého adsorbéru se plyn v dalším ohříváku ohřeje na teplotu cca 40 °C a pak již odchází ke spotřebičům (motory kogeneračních jednotek). Úpravná bioplynu na ÚČOV je svým technickým řešením výjimečná v ČR i v Evropě [11].

K experimentům na ÚČOV Praha byla použita aparatura, která se skládala ze dvou adsorbérů o délce 1 000 mm a průměru 40 mm z antikorozi oceli. Plyn byl do testovacího zařízení odebírán z bioplynového potrubí za prvním ohříváčem. Vstupní koncentrace oxidu uhličitého v bioplynu se pohybovala okolo 35 %. Průtok plynu adsorbérem byl regulován pomocí jehlového ventilu a měřen bubnovým plynoměrem umístěným za adsorbérem. Nastavený průtok bioplynu do adsorbéru byl cca 100 dm³/h.

Po nasycení adsorbentu v prvním adsorbéru byl plyn přepnut do druhého adsorbéru. V prvním adsorbéru byl spuštěn proces desorpce CO₂ za použití vakuové pumpy; desorpce byla prováděna po dobu 15 minut. Poté byl tok bioplynu opět přepnut do prvního adsorbéru a probíhala nová adsorpce CO₂ v tomto adsorbéru. Měření bylo opakováno se stejným adsorbentem celkem pětkrát. Měření probíhala při reálném přetlaku bioplynu v potrubí 0,005 MPa.

Další část experimentů byla prováděna na stejných adsorbentech ve stejné aparatuře za zvýšeného tlaku bioplynu do 0,6 MPa. Bioplyn byl na potřebný tlak komprimován pomocí jednostupňového pístového kompresoru. Adsorbované množství CO₂ při jednotlivých pokusech bylo vypočteno ze změřených průnikových křivek pro CO₂ a objemu plynu prošlého přes adsorbér.

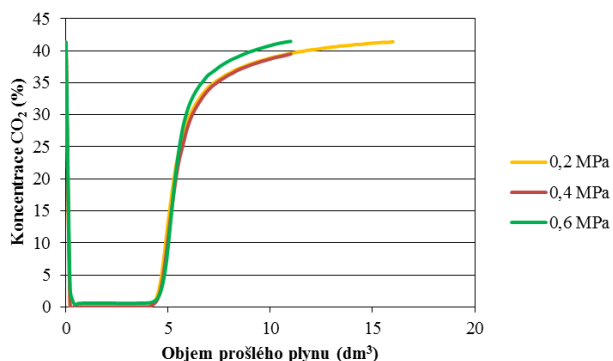
4. Výsledky měření

Příklad průběhů průnikových křivek pro CO₂ změřených na laboratorní aparatuře s použitím modelové směsi plynů a adsorbentu Tamis Moleculaires je na obr. 4.

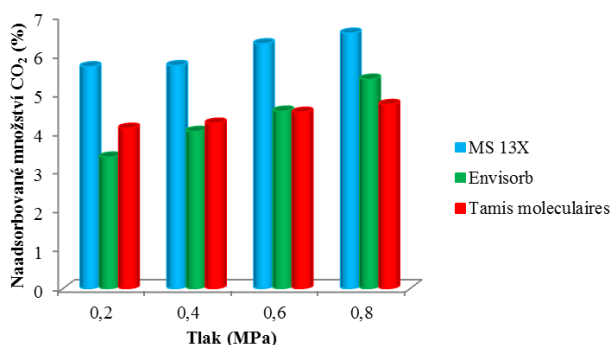
Adsorpční kapacity testovaných adsorbentů pro CO₂, vypočtené integrací průnikových křivek naměřených s použitím modelové směsi plynů v laboratorních podmínkách, jsou uvedeny na obr. 5.

Příklad průnikových křivek CO₂ změřených s použitím adsorbentu Tamis Moleculaires na experimentální aparatuře umístěné na ÚČOV Praha při různých tlacích bioplynu je znázorněn na obr. 6. Adsorpční kapacity jednotlivých testovaných adsorbentů zjištěné měřením

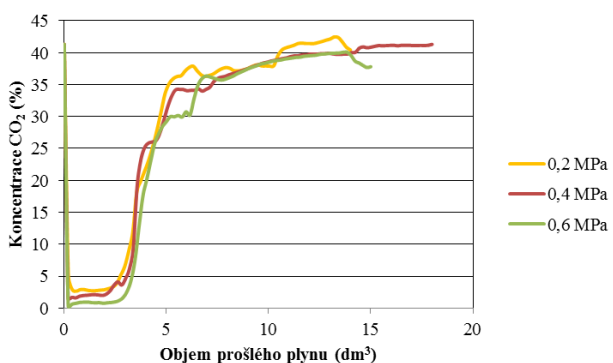
s použitím reálného bioplynu při různých tlacích jsou znázorněny na obr. 7. Tyto adsorpční kapacity byly opět vypočteny integrací naměřených průnikových křivek pro CO₂.



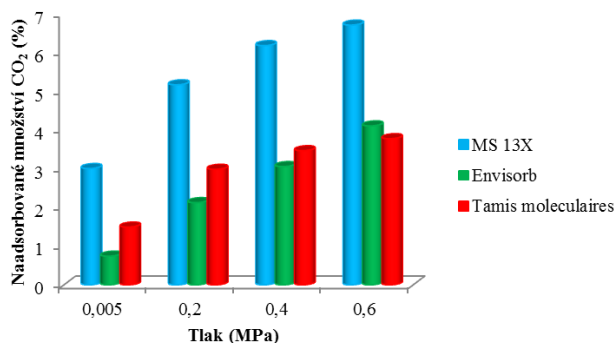
Obr. 4. Ukázka průnikových křivek pro CO₂ změřených s použitím modelové směsi plynů v laboratorních podmínkách s použitím adsorbentu Tamis Moleculaires



Obr. 5. Adsorpce CO₂ při různých tlacích měřena v laboratorních podmínkách pomocí modelového plynu



Obr. 6. Ukázka průnikových křivek pro CO₂ změřených s použitím reálného bioplynu při různých tlacích na adsorbentu Tamis Moleculaires na ÚČOV Praha



Obr. 7. Zachycené množství CO₂ pro jednotlivé adsorbenty při různých tlacích bioplynu na ÚČOV

5. Závěr

Pro měření s reálným bioplymem při nižších tlacích plynu poklesly u všech adsorbentů adsorpční kapacity zhruba na polovinu ve srovnání s laboratorními pokusy, což může být způsobeno vlhkostí, která je přítomna v bioplynu. Při vyšších tlacích se pokles adsorpční kapacity již tolik neprojevil, protože kompresí plynu na vyšší tlaky došlo patrně k částečné kondenzaci vodní páry z plynu a celkové množství vody v plynu tedy bylo nižší, než při měření za nižších tlaků plynu.

Z testovaných adsorbentů vykazoval nejvyšší adsorpční kapacitu pro CO₂ při všech měřených tlacích adsorbent molekulové síto 13X. Tento adsorbent je primárně určený svou strukturou pro separaci CO₂. Využitelná adsorpční kapacita tohoto adsorbentu pro CO₂ při tlaku 0,6 MPa činí 70 g CO₂/kg adsorbentu. Prozatím byly testovány pouze tři adsorpční materiály, ale vzhledem ke vzrůstajícímu zájmu potenciálních uživatelů technologií čištění bioplynu na biomethan by bylo vhodné v práci dále pokračovat a najít vhodný adsorpční materiál pro separaci CO₂ pomocí technologie PSA.

Opakované testy prováděné s použitím reálného bioplynu nepotvrdily očekávanou postupnou deaktivaci adsorbentu vlivem současné adsorpce vody v porézni struktuře adsorbentu.

Poděkování

Autoři příspěvku tímto děkují vedení ÚČOV Praha za umožnění provádět tato měření. Dané výzkumné aktivity byly financovány z účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum MŠMT č. 21/2012.

Literatura

1. <http://www.svn.cz/sites/www.svn.cz/files/desky-final.pdf>, staženo březen 2010
2. Straka F. a kol.: Bioplyn, příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů; II. Rozšířené vydání a doplněné vydání, Gas s.r.o. Říčany, Praha 2006

3. Petersson A., Wellinger A.: Biogas upgrading technologies – developments and innovations, IEA Bioenergy, October 2009, staženo z: http://www.iea-biogas.net/_download/publ-task37/upgrading_rz_low_final.pdf, listopad 2010
4. Ryckebosch E., Drouillon M., Vervaeren H.: Techniques for transformation of biogas to biomethane, *Biomass and Bioenergy* 35, 1633 – 1645, 2011
5. Technická pravidla TPG 902 02: Jakost a zkoušení plyných paliv s vysokým obsahem metanu, GAS s.r.o., 2006
6. Alonso-Vicario A., and collective: Purification and upgrading of biogas by pressure swing adsorption on synthetic and natural gas, *Microporous and Mesoporous Materials* 134, pages 100 – 107, 2010
7. <http://www.sgc.se/dokument/evaluation.pdf>, staženo: březen 2012
8. www.cngcompany.cz, staženo: březen 2012
9. Poloncarzova M., Vejrazka J., Vesely V., Izak P., Effective Purification of Biogas by a Condensing – Liquid Membrane, *Angewandte Chemie*, Volume 123, Issue 3, pages 695 – 697, January 17, 2011
10. Strevett K. A., Vieth R. F., Grasso D.: Chemotrophic biogas purification for methane enrichment: mechanism and kinetics, *Chem Eng J Biochem Eng J*, 71 – 79, 1995
11. Pospěch L.; Zkušenosti s bioplynem na ÚČOV v Praze; Konference Bioplyn 2009, České Budějovice, 8. – 9. dubna 2009

Summary

*Veronika Vrbova, Alice Prochazkova, Karel Ciahotny
Institute of Chemical – Technology. Prague*

Separation of CO₂ from biogas by adsorption at higher pressures

Biogas produced in biogas stations is mostly used in cogeneration units for the production of electrical energy. At the same time the heat produced, however, often discharges into the ambient air, leading to high energy losses; the total efficiency of energy use in a biogas plant is therefore low and usually does not exceed 40 %. For this reason, technologies for the biogas upgrading to the biomethane are being developed. Such modified biogas containing methane in the concentration higher than 95 % can be used as fuel for vehicles, or may be injected to the local gas distribution network. This article is aimed at the testing of the adsorption method that is one of the methods successfully used for the separation of carbon dioxide from biogas in operational practice. The testing of the different adsorbents for the separation of CO₂ from the model gas mixtures in the laboratory conditions and further testing of the same adsorbents using real biogas produced at the Central waste water treatment plant in Prague Bubeneč is described.