

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Ing. Juraj Kubica

Autoreferát dizertačnej práce

Parametrický model bioplynovej stanice

na získanie akademického titulu philosophiae doctor (PhD.)

v doktorandskom študijnom programe: 5.2.30 Elektroenergetika

Bratislava, január 2013

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Oddelení elektroenergetiky ÚEAE FEI STU v Bratislave.

Predkladateľ: Ing. Juraj Kubica
Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Školiteľ: prof. Ing. František Janíček, PhD.
Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Oponenti: prof. Ing. Juraj Altus, PhD.
Elektrotechnická fakulta – KVES
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 1, 010 26 Žilina

prof. Ing. Ján Gaduš, PhD.
Technická fakulta – CV OZE
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Trieda A. Hlinku 2, 949 76 Nitra

Autoreferát bol rozoslaný:

Obhajoba dizertačnej práce sa koná: o hod.
na FEI STU v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava 1.

.....
prof. RNDr. Gabriel Juhás, PhD.
dekan FEI STU v Bratislave

Obsah

Úvod	4
Tézy a ciele dizertačnej práce	4
1. Biomasa	5
Vznik biomasy	5
Energetický potenciál biomasy	5
Rozdelenie biomasy	6
Motivácia využívať biomasu	6
2. Produkty spracovania biomasy	7
Bioplyn a biometán	7
Materiály vhodné na fermentáciu	8
3. Technológie na využitie biomasy	8
Energetické využitie biomasy	8
Anaeróbna fermentácia	9
Úprava bioplynu	9
Fermentor	10
Kogeneračné jednotky	10
Palivové články	10
Typy palivových článkov	11
4. Parametrický model využitia biomasy	11
Konceptia prvkov parametrického modelu	11
Vstupné parametre modelu	11
Produkty a odpady	11
Opis modelu bioplynovej stanice	12
Vstupy bioplynového procesu	13
Experimentálna bioplynová stanica STU na suchú fermentáciu	14
Experimentálna prevádzka bioplynovej stanice	15
5. Potenciál bioplynu na Slovensku	15
Poľnohospodárska biomasa	15
Produkcia živočíšnych exkrementov	16
Bioplynové stanice na Slovensku	16
Záver	16
Vedecký a praktický prínos práce	16
Summary	17
Zoznam použitej literatúry	17
Vybrané publikácie autora	19

Úvod

Stratégia vyššieho využitia obnoviteľných zdrojov energie v Slovenskej republike [24] uvádza, že biomasa je zdroj s najvyšším využiteľným potenciálom na Slovensku. Tento potenciál sa dá využiť na energetické účely rôznymi spôsobmi, najmä na:

- a) priame spaľovanie (vykurovanie drevom, spoluspaľovanie slamy v uhoľných elektrárnach),
- b) výrobu biopalív (bioetanol, metylester repkového oleja),
- c) anaeróbnu fermentáciu bioplynu na kombinovanú výrobu elektriny a tepla.

Fermentácia biomasy na výrobu bioplynu umožňuje z rozličných vstupných zdrojov vyrábať univerzálny energetický nosič – metán – ktorý tvorí základnú zložku bioplynu.

Zároveň je biomasa obnoviteľný a domáci zdroj s veľkou celkovou kapacitou a s možnosťou regulácie jeho čerpania na rozdiel od neobnoviteľných fosílnych palív, alebo ťažko ovládateľných obnoviteľných zdrojov ako sú veterné a fotovoltické elektrárne.

Autor vyvíjal model bioplynovej stanice súčasne s prácou na projektovaní reálnych bioplynových staníc na Slovensku. Časť tohto modelu bola odvodená na základe vlastného know-how pri dimenzovaní kapacity fermentorov, objemu vyvíjaného bioplynu, hltnosti plynu do kogeneračných jednotiek a prepočte energetických aj ekonomických parametrov. Počas predchádzajúceho štúdia autor absolvoval 4-mesačnú stáž v nemeckej firme MTU-CFC v Mníchove, kde pracoval v oddelení vývoja stacionárnych palivových článkov s jednotkovým výkonom 250 kW_e. Do modelu bioplynovej stanice preto zahrnul aj porovnanie palivových článkov voči kogeneračným jednotkám so spaľovacím motorom.

Na stanovenie energetického potenciálu bioplynu na Slovensku z dostupných zdrojov biomasy (pri udržateľnej spotrebe) je nevyhnutné vytvoriť veľký počet predpokladov o takých položkách, ako sú ceny a využitie pôdy, spôsoby obhospodarovania pôdy, rozvoj priemyslu, alternatívne využitie, exportné požiadavky, ceny fosílnych palív a štátna politika. Predmetom tejto práce je zostaviť model, ktorý tieto predpoklady spojí s dostupnými údajmi a vytvorí tak pružný model na základe ktorého bude možné určiť jednak celkový potenciál pre určité územie ako aj potenciál pre jednotlivé konkrétne prevádzky, ktoré si naplánujú investori.

Tézy a ciele dizertačnej práce

Na vyhodnocovanie technickej realizovateľnosti, energetického prínosu a ekonomickej rentability bioplynových staníc vyrábajúcich bioplyn a vedľajšie energeticky využiteľné produkty je potrebné vytvoriť objektivizovaný mechanizmus posudzovania, ktorý zohľadní komplexné súvislosti medzi dostupnou vstupnou surovinou, využiteľnými technológiami na jej zužitkovanie, vplyvmi na životné prostredie, ktoré vytvárajú tieto technológie a ekonomickou rentabilitou celého komplexu.

Metódy riešenia a očakávané výsledky

1. Syntéza a presné definovanie parametrického modelu na vyhodnocovanie energetických, technických, environmentálnych a ekonomických prínosov výstavby a prevádzky bioplynovej stanice v podmienkach Slovenskej republiky.
2. Vyhodnotenie potenciálu technicky a ekonomicky dostupnej biomasy na výrobu energetických nosičov v bioplynových staniciach.
3. Aplikácia vytvoreného modelu na výpočet variantných vzorových riešení funkčných bioplynových staníc na základe výstupov z vlastného parametrického modelu.
4. Implementácia vytvoreného modelu do programu na vyhodnocovanie vstupných údajov podľa vlastného parametrického modelu.

1. Biomasa

Biomasa je organická hmota rastlinného alebo živočíšneho pôvodu. Je získavaná ako odpad z prvovýroby, alebo ako komunálny odpad. Rastlinná biomasa môže byť zámerne pestovaná vo forme energetických plodín v poľnohospodárstve a v lesníctve. Výhodne sa dá zužitkovať aj odpadová biomasa z živočíšnej výroby, alebo potravinárskeho priemyslu. Efektívne využívanie biomasy má minimálny vplyv na produkciu skleníkových plynov a na životné prostredie ako celok.

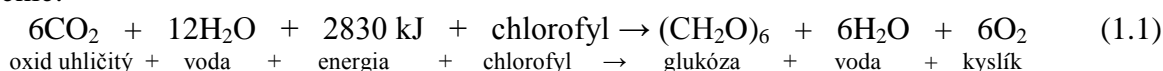
Vznik biomasy

Zelené rastliny na svoj rast potrebujú vodu zo zeme a oxid uhličitý z atmosféry, ktoré procesom fotosyntézy pretvárajú na uhľovodíky – stavebné články živých organizmov na Zemi. Slnečná energia, ktorá je hybnou silou fotosyntézy je uskladnená v chemických väzbách tohto organického materiálu.

Chlorofyl pohlcuje svetlo v červenej a modrej oblasti viditeľného spektra, a preto sa javí zelený. Behom fotosyntézy transformuje energiu svetla na chemickú energiu. [20]

Pri fotosyntéze vzniká z oxidu uhličitého a vody za spolupôsobenia enzýmov, chlorofylu a svetelnej energie veľké množstvo organických látok. Pri fotochemických reakciách sa redukuje oxid uhličitý na cukry a voda sa oxiduje za vzniku molekulového kyslíka. Každý mol fixovaného uhlíka v sebe ukladá aj 470 kJ využiteľnej energie [39].

Mechanizmus fotosyntézy prebieha nasledovne, pričom nutnou podmienkou je svetelné žiarenie:



Pri spaľovaní biomasy opätovne získavame energiu uskladnenú v chemických väzbách. Kyslík zo vzduchu sa spája s uhlíkom v rastline, pričom vzniká oxid uhličitý a voda. Tento proces je cyklicky uzatvorený, pretože vznikajúci oxid uhličitý je vstupnou látkou pre novú biomasu. [25] Alternatívne k prírodným procesom fixácie uhlíka pri fotosyntéze je syntéza atmosférického CO₂. V súčasnosti (2012) je podiel oxidu uhličitého v atmosfére 390 ppm a rastie najmä v dôsledku spaľovania fosílnych palív. Keďže z chemickej premeny oxidu uhličitého už nie je možné získať ďalšiu energiu, na jeho premenu je potrebná dodatočná energia. Tú je možné získať napríklad redukciami s vodíkom za vzniku metánu (CH₄):



Ak tento proces prebieha v ideálnych podmienkach, reakcia je exotermická a na každý mol metánu sa uvoľní 165 kJ (štandardná entalpia) [40]. Vodík potrebný na reakciu je možné získavať čiastočnou oxidáciou pri parnej reformácii.

Energetický potenciál biomasy

Na zemský povrch dopadá priemerne 220 W/m². Odhad celkovej ročnej produkcie suchej biomasy je 171 Gt ročne, pričom priemerná výhrevnosť suchej biomasy je 18,6 GJ/t. Veľká väčšina z toho množstva je samozrejme technicky nevyužiteľná. No ročná spotreba celej planetárnej civilizácie dosahuje 400 EJ, čo v porovnaní s energetickým obsahom biomasy znamená, že na pokrytie spotreby ľudstva by stačilo len cca 18 Gt suchej biomasy (približne desatina). Všetky tieto údaje sú odhady zaťažené značnou neistotou, ale zmyslom tohto číselného porovnania je poukázať na veľkosť zatiaľ nedostatočne využívaného obnoviteľného zdroja energie. [39, 41]

Oprávnenou výhradou proti vyššiemu využitiu biomasy na energetické účely je poukázanie na rastúce ceny poľnohospodárskej produkcie a na podvýživu v niektorých oblastiach. Vzhľadom na využívanie potravinárskej produkcie najmä pri kukurici a pšenici voči výrobe biopalív je dokumentovaný v odbornej literatúre. Taktiež je nevyhnutné zohľadniť množstvo energie spotrebovanej na premenu primárnej rastlinnej produkcie na finálny produkt, napríklad bioetanol – čiže započítanie energie potrebnej na obhospodarovanie poľí, na zber a dopravu úrody a na technologický proces spracovania biomasy v rafinérii.

Aj po zohľadnení spomínaných faktorov je však možné identifikovať také zdroje biomasy

a také technologické procesy, pri ktorých je biomasa zužitkovaná efektívne a zmysluplne. Ilustratívne uvádzame napríklad druhú generáciu biopalív, čiže alkoholy vyrábané plodín pestovaných na pôde, ktorá nie je vhodná na pestovanie potravín, alebo využitie tráv a rias. Ešte iná je problematika spracovania odpadovej biomasy, ktorá je dnes využívaná iba čiastočne (napríklad odpady z potravinárskeho priemyslu využívané ako krmoviny pre hospodárske zvieratá), alebo je jej využitie vyslovene nedostatočné (príkladom je likvidácia hnoja hospodárskych zvierat, ktorý často ohrozuje životné prostredie, hoci po využití na anaeróbnu fermentáciu je ho možné zhodnotiť ešte ako kvalitné organické hnojivo).

Z hľadiska energetického využitia biomasy sú najdôležitejšími vlastnosťami paliva výhrevnosť a spalné teplo. *Spalné teplo* Q_s [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$] aj *výhrevnosť* Q_i je teplo uvoľnené dokonalým spálením 1 kg paliva, ale systematický rozdiel medzi týmito veličinami je vo výparnom teple vody. Výhrevnosť sa vypočíta zo spálneho tepla odpočítaním *výparného tepla vody* Q_v . V mnohých prípadoch sa spalné teplo a výhrevnosť vyjadruje pomocou jednotiek $\text{kWh}\cdot\text{kg}^{-1}$. Pre prepočet platí $1 \text{ kWh}\cdot\text{kg}^{-1} = 3,6 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Výhrevnosť suchého dreva je vysoká a pohybuje sa od 18 do 19 $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Pomerne vysokú výhrevnosť má suchá slama z rôznych druhov obilnín, suché obilniny a traviny, a to v rozsahu 16,5 až 17,5 $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. V skutočnosti však biomasa obsahuje vždy najmenej 10 % vody. Vlhkosť slamy v balíkoch uskladnených v halových skladoch alebo v zakrytých stohoch dosahuje 14 až 16 %. [57] Pri horení sa táto voda odparuje a tým znižuje základnú výhrevnosť sušiny biomasy.

Rozdelenie biomasy

Biomasu môžeme rozdeľovať z viacerých hľadísk. Pre účely tejto práce sa javí ako najvhodnejšie rozdelenie podľa pôvodu:

1. Rastlinná biomasa
 - a) dendromasa (drevo, kôra, drevárske zvyšky)
 - b) fytomasa (zelené časti, slama)
2. Živočíšna biomasa
 - a) exkrementy chovných zvierat
 - b) kafilérne zvyšky
3. Priemyselné biologické odpady
 - a) odpady z potravinárskeho priemyslu
 - b) čističkové kaly

Zvlášť je potrebné zdôrazniť vlastnosti lignocelulózovej biomasy. Najčastejšie do tejto kategórie patrí dendromasa.

Motivácia využívať biomasu

Biomasa je obnoviteľný a domáci zdroj s veľkou celkovou kapacitou. Od počiatku civilizácie do obdobia priemyselnej revolúcie bola biomasa (najmä palivové drevo), dominantným zdrojom energie, ktorú ľudstvo využívalo. Na našom území má rastlinná biomasa doposiaľ veľmi významné postavenie aj z hľadiska zabezpečenia energetických potrieb spoločnosti.

Problémom fosílnych zdrojov je zvyšovanie energetickej (a ekonomickej) náročnosti ťažby. Miera energetickej náročnosti získavania suroviny sa určuje parametrom známym ako energetická návratnosť vložennej práce (ERoEI – Energy Return on Energy Investment).

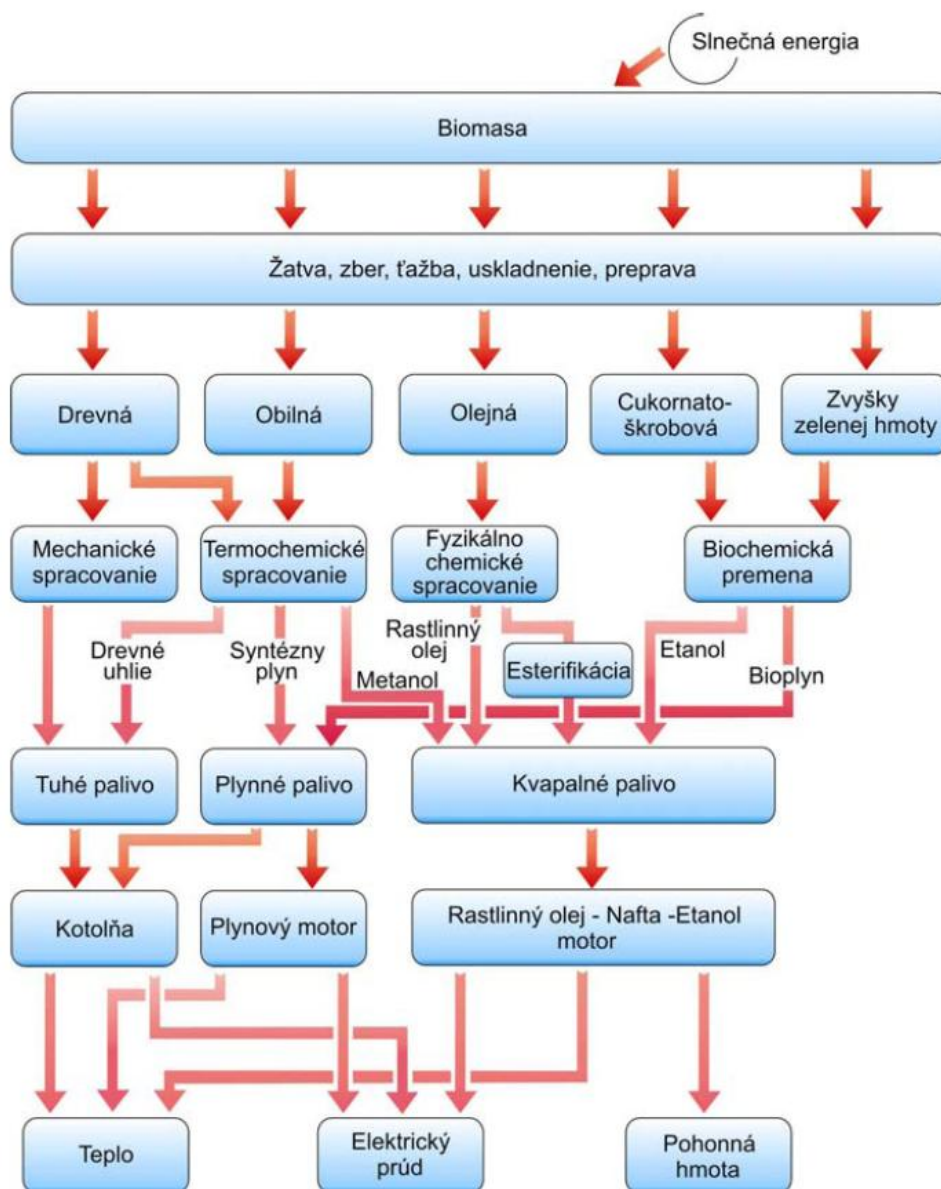
Pokles ERoEI fosílnych palív v dôsledku vyčerpávania ľahko dostupných ložísk a súčasný nárast ERoEI využitia biomasy vďaka technologickému vývoju vytvára stále väčší dopyt po energetickom využití biomasy. Je potrebné zohľadniť aj ďalšie benefity energetického využitia biomasy: je to lokálne dostupný zdroj, čím sa znižuje závislosť na importe energonosičov (tá je v prípade SR viac ako 90 %) a vytvárajú sa pracovné miesta v miestnej ekonomike; efektívne využitie biomasy umožní eliminovať biologicky rozložiteľné odpady z poľnohospodárstva, lesníctva aj komunálne odpady a kaly; podstatné zníženie emisií skleníkových plynov a toxických emisií zo spaľovania fosílnych palív aj nepriaznivé zníženie dôsledkov ťažby uhlia, ropu a zemného plynu.

2. Produkty spracovania biomasy

Energeticky využiteľné produkty spracovania biomasy môžeme rozdeliť na niekoľko základných skupín, napríklad podľa skupenstva na:

1. Tuhé spáliteľné produkty
2. Bioplyn, resp. biometán
3. Kvapalné palivá

Tieto produkty môžeme nazývať aj *sekundárne energonosiče*, keďže ide o produkty spracovania primárnej biomasy, ktoré sú vhodné na uschovanie a neskoršie uvoľnenie využiteľnej energie. Z jedného vstupného substrátu sa dajú postupne vyrábať viaceré z týchto produktov, čím je možné dosiahnuť vyššiu energetickú výťažnosť. V tejto kapitole sa venujeme jednotlivým produktom podrobnejšie.



Obr. 1: Možnosti využívania druhov biomasy, spôsoby premeny a výstupné palivo [47]

Bioplyn a biometán

Premena biomasy na bioplyn bez prístupu vzduchu a za pomoci mikroorganizmov sa nazýva anaeróbna fermentácia. Považuje sa za najlepší z biochemických postupov na spracovanie biomasy s vyšším podielom vody. Takzvaná „mokrú fermentáciu“ v bioplynových staniciach je komerčne úspešná technológia, pričom na Slovensku sú ich v súčasnosti vybudované už desiatky a ďalšie sú vo výstavbe alebo plánované. Koncovým produktom anaeróbného vyhnívania organického materiálu je bioplyn – zmes metánu, oxidu uhličitého a ďalších zložiek.

Po ďalšom čistení je možné vyrábať biometán, ktorý má technické parametre zemného plynu z distribučnej siete.

Jednotlivé stupne tvorby bioplynu majú nasledujúce charakteristiky [29]:

1. **Hydrolyza** – v prostredí sa ešte nachádza vzdušný kyslík. Polymérne organické látky (polysacharidy, tuky, bielkoviny) sa rozkladajú na jednoduchšie monoméry – alkoholy, mastné kyseliny, uvoľňuje sa vodík (H_2) a oxid uhličitý (CO_2).
2. **Acidogenéza** – spotrebuje sa zvyšný vzdušný kyslík a vytvára sa anaeróbne prostredie (bez kyslíka). Tejto fázy sa zúčastňujú fakultatívne anaerobionty – mikroorganizmy schopné existencie v prostredí s alebo bez kyslíka. Vznikajú vyššie organické kyseliny.
3. **Acetogenéza** – pomocou acidogénnych baktérií sa menia vyššie organické kyseliny a alkoholy na kyselinu octovú, H_2 a CO_2 .
4. **Metanogenéza** – záverečná fáza rozkladného procesu. Pomocou metanogénnych baktérií, ktoré sú striktné anaerobionty (schopné života len v prostredí bez prístupu vzduchu) sa kyselina octová rozkladá na metán (CH_4) a CO_2 . Niektoré kmene vytvárajú metán z H_2 a CO_2 . Táto záverečná fáza prebieha asi 5 krát pomalšie ako predchádzajúce 3 fázy, preto tomu musí byť prispôsobená aj veľkosť fermentora a dávkovanie vstupných surovín.

Materiály vhodné na fermentáciu

Výhrevnosť bioplynu sa pohybuje okolo 20 – 25 MJ/m³. Jeden m³ bioplynu obsahuje toľko energie ako 0,6 – 0,7 l vykurovacieho oleja. Pri výrobe bioplynu z odpadových surovín vznikajúcich pri chove hovädzieho dobytku (hnoj, hnojovica) sa uvažuje s výkonom 1 kW elektrickej energie na 7 – 10 ks dobytku.

Väčšina využiteľnej energie bioplynu generovaného v bioplynových staniciach je obsiahnutá v jeho zložke – metáne (CH_4). Koncentrácia metánu obsiahnutého v bioplyne je zvyčajne medzi 45 až 72 % a mení sa i počas relatívne ustáleného stavu technológie (napríklad raz je v hnoji väčší, inokedy menší pomer slamy a exkrementov). Bioplyn ďalej obsahuje oxid uhličitý (CO_2), kremík (Si), dusík (N_2), malé množstvo síry (S) a iné nečistoty. Prítomnosť CO_2 v bioplyne je prospešná, pretože CO_2 pôsobí ak antidetonátor v spaľovacích motoroch.

Bioplyn je produkovaný hlavne v:

- Prirodzenom prostredí, ako sú mokradiny a sedimenty v tráviacom ústrojenstve živočíchov.
- V poľnohospodárskom prostredí ako sú skládky hnojovice, ktoré sú jedným z najväčších zdrojov kontaminácie prostredia organickými odpadmi. V prípade využitia celého odhadovaného potenciálu hnojovice hospodárskych zvierat na Slovensku by produkcia bioplynu predstavovala 85,2 mil. m³ ročne. Pri priemernej koncentrácii metánu 62,5 % je energetický ekvivalent uvedeného množstva 1 900 TJ ročne. [55]
- V odpadovom hospodárstve na skládkach odpadov (kde sa často nazýva aj skládkový plyn), v čističkách odpadových vôd (ČOV) a v bioplynových staniciach.
- Ako obzvlášť perspektívny spôsob získavania bioplynu sa javí byť anaeróbne vyhnívanie vodnej biomasy a využitie rias a baktérií v biologických slnečných energetických systémoch. [49]

3. Technológie na využitie biomasy

V tejto časti sa bližšie venujeme technologickým postupom, pomocou ktorých sa dá vstupná biomasa premieňať na energetické produkty. Dostupné technológie rozdeľujeme do skupín podľa procesov, ktoré pri výrobe využívame. Hlavná časť tejto kapitoly sa sústreďuje na výrobu bioplynu a ostatné technológie sú opísané len kurzívne.

Energetické využitie biomasy

Možnosti využitia biomasy na energetické účely predurčujú hlavne jej fyzikálne a chemické vlastnosti. Veľmi dôležitým parametrom je vlhkosť, resp. obsah sušiny v biomase. Hodnotu 50 % sušiny je možné považovať za hraničnú medzi procesmi mokrymi a suchými. Podľa princípu samotnej konverzie energie je možné definovať niekoľko spôsobov získavania energie

z biomasy:

- a) termochemická premena biomasy (suché procesy):
 - spaľovanie,
 - splyňovanie,
 - pyrolýza,
- b) biochemická premena biomasy (mokrý procesy):
 - alkoholové kvasenie,
 - metánové kvasenie,
- c) fyzikálna a chemická premena biomasy:
 - mechanická (štiepenie, drtenie, lisovanie, briketovanie, peletovanie, mletie, atď.),
 - chemická (esterifikácia surových rastlinných olejov),
- d) získavanie odpadového tepla pri spracovávaní biomasy (napr. pri kompostovaní, aeróbnom čistení vôd, anaeróbnej fermentácii a pod.).

Existuje teda viacero spôsobov využitia biomasy na energetické účely, v praxi prevládajú pri suchých procesoch rôzne formy spaľovania, pri mokrých procesoch výroba bioplynu anaeróbnou fermentáciou. Z ostatných spôsobov najmä výroba metylesteru z bioolejov.

Anaeróbná fermentácia

V základe je to biologický proces. Organický materiál bez prístupu kyslíka premieňame na plyn, ktorý obsahuje energiu obsiahnutú v pôvodnom materiáli. Mikroorganizmy sú schopné spracovať látky v nasledujúcom poradí: kyslík, nitráty, sulfáty, síru, železo, oxid uhličitý. Počas tohto procesu mikroorganizmy získavajú energiu pre svoj metabolizmus. Ako prvý spracovávajú kyslík (dýchanie), čo je pre nich energeticky najvýhodnejšie a nakoniec oxid uhličitý (metanogenéza).

Ak v prostredí začnú chýbať prvky ako kyslík, nitráty a síra (metanogenické prostredie), mikroorganizmy spracovávajú oxid uhličitý a produktom ich metabolizmu je metán. Konečným produktom rozkladu v metanogenickom prostredí je zmes metánu a oxidu uhličitého.

Úprava bioplynu

Bioplyn získaný z biomasy nie je dostatočne vhodný ako palivo pre klasické spaľovacie motory. Je nutné odstrániť niektoré zložky. Postup nie je jednoduchý, čistenie prebieha v niekoľkých krokoch, ale nepredstavuje technologický problém.

Obsah metánu (paliva) v bioplyne predstavuje priemerne 60 %. Zvyšnú časť tvorí prevažne oxid uhličitý (37 %) a ostatné nežiaduce zložky. Pre ďalšie použitie je nutné odstrániť:

tuhé častice, sadze: Postup je pasívny, tuhé časti odstránime prechodom plynu cez filtre, najčastejšie sieťky z nehrdzavejúcej ocele.

vodu: Voda sa z bioplynu odstraňuje, aby nespôsobovala koróziu pri ďalšom spracovaní a uskladnení. Odstrániť ju môžeme zmrazením, odparením vo výmenníku, alebo prechodom cez filtre zachytávajúce vlhkosť (napr. piesok).

amoniak: Amoniak je nežiaduci pre nádrže na uskladnenie. Jeho odstraňovanie je nutné z dôvodu emisií NO_x vo výstupnej zmesi.

oxid uhličitý: Jeho obsah znižuje energetickú hodnotu paliva. Uvoľňovaním do atmosféry neprispieva ku skleníkovému efektu, pretože obsah oxidu uhličitého v bioplyne je len taký vysoký, koľko rastliny tvoriace biomasu z atmosféry spotrebovali. Odstrániť ho môžeme absorpciou, membránami, zmrazovaním.

síru: Odstraňovanie síry (sulfán, H₂S) patrí medzi najdôležitejšie a zároveň najproblematickejšie. Jej prítomnosť spôsobuje koróziu nádrží, pri priamom spaľovaní vznikajú emisie SO_x a taktiež znižuje výkon a životnosť zariadení. Klasické fyzikálno-chemické technológie (odstraňovanie síry membránou, chloridom železitým, skvapalňovaním, absorpciou) na odstraňovanie síry pravdepodobne nahradia nové biotechnologické postupy (mikroorganizmy požierajúce síru), ktoré sú efektívnejšie a lacnejšie.

halogény: Majú veľmi negatívny vplyv na životné prostredie. Metódy na ich odstraňovanie sú podobné ako v prípade síry.

siloxány: Usádzajú sa na stenách potrubí a spaľovacích motorov. Poznáme iba fyzikálne metódy na ich odstraňovanie. Tieto procesy sú finančne náročné.

Bioplynová stanica

Bioplynová stanica je zariadenie umožňujúce energetické využitie biomasy. Biologická fermentácia premieňa organickú biomasu na plyn s veľkým obsahom metánu (bioplyn). Podľa dávkovania surového materiálu rozlišujeme bioplynové stanice na:

- **diskontinuálne** – s prerušovaným cyklom. Materiál sa do fermentora cyklicky vpúšťa a po fermentácii sa vyberie.
- **semikontinuálne** – čas medzi jednotlivými dávkami je kratší ako čas zdržania materiálu vo fermentore. Je to najpoužívanejší spôsob plnenia fermentorov pre tekutú biomasu.
- **kontinuálne** – slúžia na spracovanie tekutých odpadov s malým obsahom sušiny.

Fermentor

Fermentačný reaktor je základnou časťou bioplynovej stanice, kde prebieha biologická degradácia biomasy a uvoľňuje sa bioplyn. Konštrukčne rozlišujeme fermentory valcové s horizontálnou osou, valcové s vertikálnou osou, žľabové a guľové. Objem fermentora musí zohľadňovať výkon zariadenia, ktoré bude zužitkovať vyrobený bioplyn. Časť vyrobenej tepelnej energie sa musí spotrebovať na ohrev samotného fermentora, čím sa podstatne zlepší účinnosť anaeróbnej premeny biomasy.

Kapacita fermentorov musí byť dimenzovaná s ohľadom na:

- a) očakávanú kapacitu výroby bioplynu (a tá je závislá na hltnosti kogeneračnej jednotky, ktorá poháňa elektrický generátor),
- b) zádržného času biomasy v reaktore (obvykle 20 – 30 dní, podľa plánovaného stupňa výťažnosti biomasy a podľa druhu biokultúr naočkovaných na rozklad biomasy),
- c) dostupnú kapacitu vstupnej biomasy, čo je limitujúci faktor vzhľadom na produkčnú kapacitu zdrojov v blízkom okolí (doprava zo vzdialenejších zdrojov predražuje celý proces).

Kogeneračné jednotky

Kogeneračná jednotka sa používa na kombinovanú výrobu elektrickej energie a tepla. Je to zariadenie vhodné na distribuovanú výrobu, priamo na mieste spotreby. Na trhu existuje veľa výrobcov – kogeneračné jednotky predstavujú ustálenú a dostupnú technológiu. Dostupné sú s výkonmi od 10 kW do niekoľkých MW. Investičné náklady na kogeneračné jednotky sú vyššie v porovnaní s plynovými kotlami. [3]

V súčasnosti sa používajú plynové spaľovacie motory, vyrábané zvlášť na tieto účely. Je možné použiť aj motory na tekuté palivá. Trojfázový generátor môže byť synchronný, alebo asynchronný stroj, podľa toho, či má kogeneračná jednotka spolupracovať so sieťou, alebo pracovať iba v ostrovej prevádzke.

Vyrobená elektrická energia predstavuje približne 30 % dodanej energie, teplo odvádzané z motora, oleja a spalín presahuje 50 %. V prípade využitia vznikajúcej tepelnej energie celková účinnosť zariadenia presahuje 80 %.

Palivové články

Palivový článok je elektrochemický reaktor, ktorý trvalo premieňa chemickú energiu priamo na elektrickú energiu (a teplo), kým je privádzané palivo a oxidant.

Palivový článok má podobné súčasti a charakteristiky ako bežná batéria. Batéria je zariadenie na úschovu energie. Maximálna dostupná energia v batérii je určená množstvom chemických reaktantov nachádzajúcich sa v batérii samotnej. Keď sa reaktanty spotrebujú (batéria sa vybije), prestane sa uvoľňovať elektrická energia. Akumulátor umožňuje reaktanty obnoviť nabíjaním, čiže dodaním energie do batérie z vonkajšieho zdroja. Palivový článok premieňa reaktanty dodávané priebežne a jeho životnosť je obmedzená len dodávkou paliva a životnosťou jednotlivých komponentov.

Typy palivových článkov

Palivové články podľa pracovnej teploty rozdeľujeme na nízko- a vysokoteplotné. Nízko- a vysokoteplotné palivové články s vodnými elektrolytmi sú vo väčšine praktických aplikácií odkázané na vodík ako palivo. Vo vysokoteplotných palivových článkoch môžeme zúžitkovať aj ďalšie plynné zložky paliva, ako napríklad oxid uhoľnatý a metán.

Na energetické účely sa využívajú najmä vysokoteplotné palivové články, ktoré môžu byť typu MCFC (s taveninou uhličitanov), alebo SOFC (s tuhými oxidmi). Vysokoteplotné palivové články umožňujú privádzať ako palivo napríklad metán z bioplynovej stanice, ktorý sa s prispáním katalyzátora termicky rozkladá na vodík a oxid uhličitý.

4. Parametrický model využitia biomasy

Kľúčovú časť práce tvorí opis modelu na vyhodnocovanie vstupných surovín, produktov, technologického riešenia a vplyvov na životné prostredie. Model je skonštruovaný na základe koncepcie prvkov, ktoré sú charakterizované nižšie.

Koncepcia prvkov parametrického modelu

Fermentácia biomasy na bioplyn umožňuje vyrábať z rozličných vstupných surovín jednotný nosič energie, ktorým je metán – hlavná zložka bioplynu. Na návrh efektívneho systému výroby a využitia bioplynu je potrebné vyhodnotiť rôzne vstupné podmienky, ako je napríklad záber pôdy a jej cena, spôsoby obhospodarovania, použiteľná technológia, výroba vedľajších produktov, ceny alternatívnych zdrojov energie a ďalšie parametre, ktoré ovplyvňujú prevádzku bioplynovej stanice.

Každý krok v tomto modeli bude vyhodnocovaný z hľadiska troch kritérií:

1. energetická náročnosť,
2. ekonomická návratnosť,
3. ekologická stopa.

Vstupné parametre modelu

Vstupná biomasa je najkomplexnejším vstupom do celého procesu výroby bioplynu. S touto zložitou sa vyrovnáme zostavením *štruktúrovanej databázy dostupných zdrojov biomasy* na Slovensku. Táto databáza bude charakterizovať rozličné druhy rastlinných a živočíšnych produktov a odpadov, ktoré sa dajú zúžitkovať pri výrobe bioplynu. Každý druh biomasy bude určený parametrami: energetická výťažnosť na tonu suroviny, priemerné ročne dostupné množstvo na sledovanom území (SR či kraj), ekologická záťaž na životné prostredie vyjadrená v relatívnej stupnici.

Teplota a elektrina vyjadrujú celkovú spotrebu energie pre bioplynovú stanicu, ktoré je potrebné dodávať z vonkajšieho zdroja alebo spotrebúvať z vlastnej výroby v bioplynovej stanici.

Biokultúry sa pridávajú do vstupného substrátu aby naočkovali proces požadovanými bakteriálnymi kultúrami. Tieto biokultúry sa zvyčajne získavajú na výstupe z fermentora pracujúceho v stabilnej prevádzke.

Spotreba vody sa meria v rámci jej priamej spotreby na vstupe bioplynovej stanice. Spotreba vody na dopestovanie vstupnej biomasy sa nezahŕňa do tohto parametra, ale je zohľadnená v hodnotení environmentálnych dopadov daného druhu biomasy.

Produkty a odpady

Základným produktom bioplynovej stanice je samozrejme **bioplyn**, ktorý sa môže spaľovať v kogeneračných jednotkách. Technologický postup výroby energie z bioplynu je podstatný pre výpočet energetickej náročnosti celého postupu výroby bioplynu, preto sa budeme podrobne venovať aj technológiám na premenu bioplynu na elektrinu, medzi ktorými sú napríklad kogeneračné jednotky, alebo inovatívne technológie, akými sú palivové články. Bioplyn je možné využívať alternatívnymi postupmi, napríklad ho čistiť na biometán.

Ďalšou skupinou produktov zo spracovania bioplynu sú **tuhé odpady** z fermentačného procesu, ktoré sa dajú využívať ako hodnotné hnojivo. Pri rozptyle digestátu na poli môžu vznikajúť

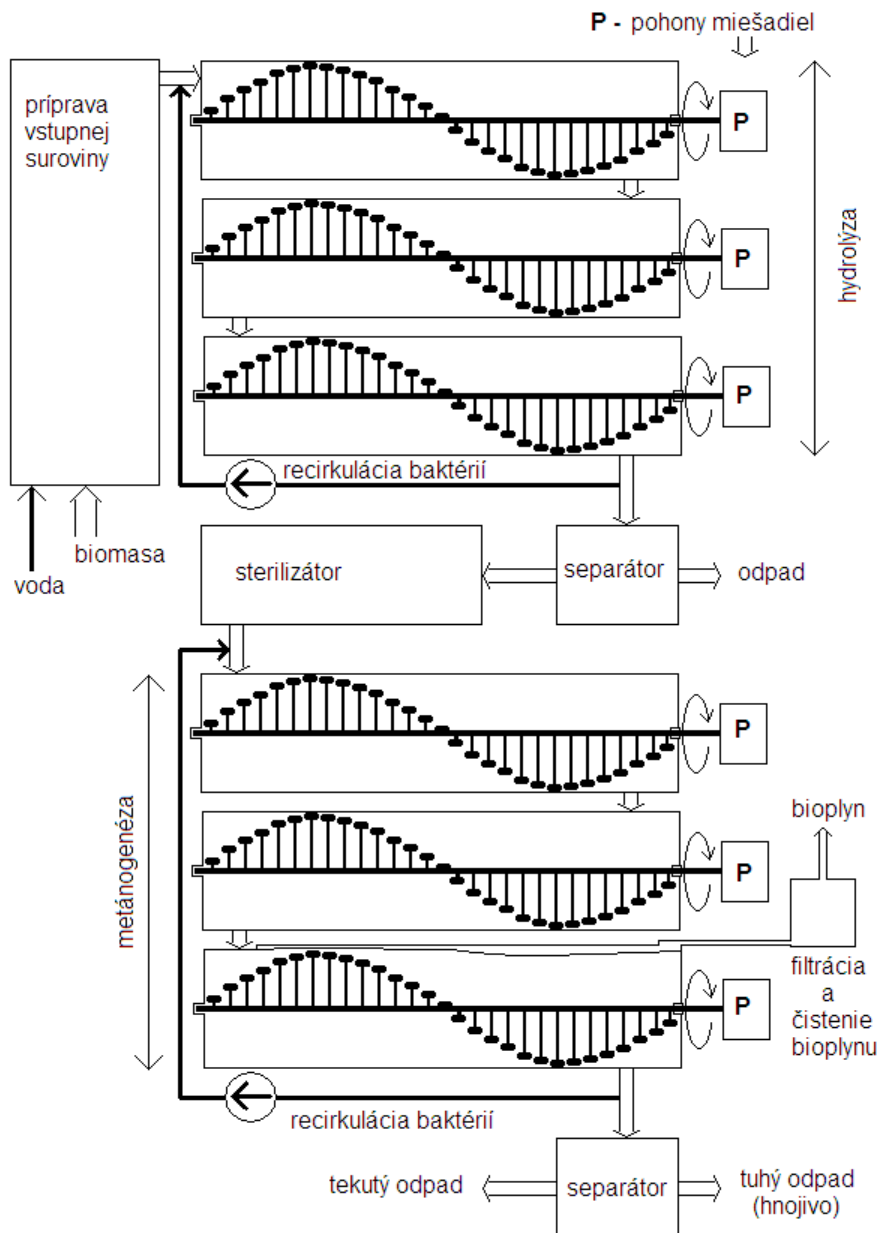
sekundárne emisie amoniaku, to je ale možné eliminovať zahŕňaním materiálu vrstvou ornice [41]. Alternatívne sa môžu sušiť, lisovať/peletkovať a spaľovať v kotloch resp. v pyrolýznych jednotkách na výrobu syntézneho plynu.

Výstupom procesu sú aj niektoré **kvapalné odpady**, ktoré je potrebné zneškodniť napríklad odvedením do čističky odpadových vôd.

Proces anaeróbnej fermentácie je uzavretý a pri správne navrhnutých postupoch nevznikajú žiadne významné **plynné emisie** do atmosféry. Počas manipulácie s biomasou sa môže v obmedzenej miere šíriť obťažujúci zápach, hoci správne sfermentovaný digestát už nezapácha. V prípade havarijných stavov sa môže do ovzdušia uvoľniť metán, čo je potrebné zohľadniť v bezpečnostných predpisoch. Plynné emisie sú z bioplynových staníc zanedbateľné.

Všetky z týchto produktov a odpadov sú charakterizované podľa ich:

- využiteľného energetického obsahu, resp. energetickej náročnosti likvidácie,
- ceny za ktorú je možné ich predávať, resp. ceny za ich likvidáciu,
- environmentálnych dopadov využitia produktov, resp. likvidácie odpadov.



Obr. 2: Vyhotovenie bioplynovej stanice s horizontálnym uložením nádrží

Opis modelu bioplynovej stanice

Tento model vznikol v spolupráci s priemyselným partnerom na kvantifikáciu vstupov a výstupov projektovanej bioplynovej stanice. Je koncipovaný ako univerzálny model, vhodný

na výpočet parametrov ľubovoľnej bioplynovej stanice.

Bioplyn cielene produkujeme v bioplynových staniciach, pričom sa snažíme o využitie potenciálnej energie zvyčajne odpadov, no v poslednej dobe čoraz častejšie i cielene pestovanej biomasy.

Pri hydrolyze sa pH zvyčajne pohybuje v rozsahu kyslosti 4 až 6 a pri metanogenéze medzi 6,8 až 7,6 pričom nesmie presiahnuť 8. Vhodné hodnoty sa volia podľa konkrétnych baktérií.

Baktériám sa lepšie darí vo vodných roztokoch, preto sa vstupná surovina po rozdrvení zvyčajne mieša s vodou. Z pohľadu optimálnej konzistencie vstupnej suroviny baktériám vyhovuje primeraná veľkosť zrna materiálu – čím drobnejšie sú kúsky, tým väčší je ich pomer povrchovej plochy ku objemu, čím sa môže podstatne urýchliť proces spracovania baktériami. Táto veľkosť však nesmie byť príliš malá.

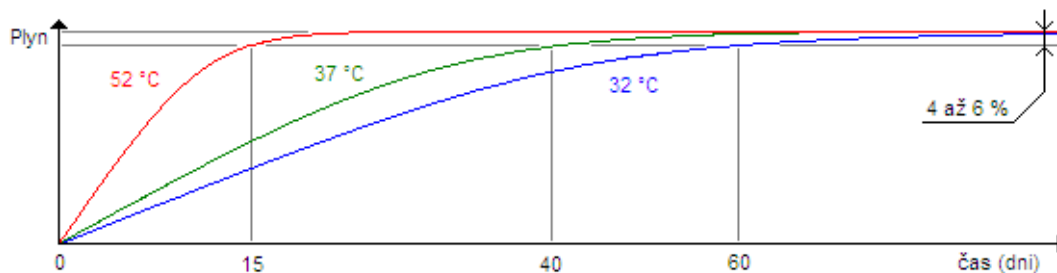
Ďalej je potrebné oddeliť zóny baktérií hydrolyzných a metanogénnych, čo dosiahneme separátorom, sterilizátorom a zmenou procesných parametrov spracúvaného substrátu úpravou na optimálne hodnoty pre metanogézu použitými baktériami. Separátor z výstupnej hmoty hydrolyzéra odseparuje prvotný odpad s obsahom 30 až 60 % vody (tá sa dá čistiť a znovu využiť v hydrolyzéry) a v médiu ponechá čo najviac cukrov. Sterilizátor zničí baktérie vyskytujúce sa v médiu, čím sa zlepši účinnosť nasadenia nových baktérií v metanogénnej zóne bioplynovej stanice. Sterilizácia môže využívať vysokoteplotnú úpravu, alebo ožiarenie média v tenkej vrstve germicídny UV žiarením cez sklenú platňu.

Substrát opúšťajúci metanizér je znova separovaný na tekutú a suchú hmotu, ktorá sa použije ako kvalitné hnojivo a voda sa po čistení znovu využije v procese. Separátor môže byť vyhotovený ako preš (napríklad rotujúca skrutkovica s kužeľovitým tvarom obalená v stacionárnom dierovanom plechu cez ktorý sa odlučuje tekutá zložka).

Intervaly parametrov procesných veličín je ideálne presne doladiť a stanoviť počas skúšobnej prevádzky.

Vstupy bioplynového procesu

V závislosti od toho, aký je dlhý optimálny čas potrebný na spracovanie vstupnej suroviny na bioplyn, rozdeľujeme vstupné suroviny na takzvané „rýchlobežné“ a „pomalobežné“. Pritom je potrebné si uvedomiť, že optimálny čas nie je čas, pokým získame všetok technicky vytťažiteľný bioplyn z jednotky vstupnej suroviny, ale ekonomicky rentabilná prevádzka kedy zdržanie materiálu v bioplynovej stanici bude efektívne (získame cca do 95 % technicky vytťažiteľného plynu). Vyššia požadovaná účinnosť by viedla ku potrebe zdržať materiál v nádobách dlhšie, čo by si vyžiadalo oveľa väčší objem nádrží (tiež vyššie tepelné straty = väčšia potreba tepla na ohrev) a teda neadekvátne vyššie investičné ako i prevádzkové náklady. Dobu zdržania materiálu v procese je možné výrazne minimalizovať i vyššou procesnou teplotou (je potrebné voliť vhodné baktérie). Systém je však v tomto prípade citlivejší na presnosť riadiaceho systému ako i fyzickej konštrukcie nádob, ich dôkladného izolovania a vyhotovenia tepelných výmenníkov. Časovú závislosť množstva extrahovaného bioplynu z vstupnej suroviny pri rôznych procesných teplotách vidíme na obr. 3.



Obr. 3: Trvanie optimálneho zdržania vstupnej suroviny v bioplynovej stanici pri rôznych procesných teplotách

„Pomalobežné“ suroviny pre výrobu bioplynu sú napríklad rôzne tvrdé a husté odpady z bitúnkov, ktoré nie je jednoduché drviť, výlisky hrozna, jablák, olív, zvyšky po výrobe papiera a podobne.

„Rýchlobežné“ sú zvyčajne tekutiny napríklad srvátka (2 až 3 % laktózy), alebo suroviny ľahko drvitel'né ako kukuričná siláž, alebo siláž z cukrového ciroku.

Ekonomické parametre na výpočet rentability projektu

Ekonomická charakterizácia projektov na prevádzku energetických celkov sa obvykle vyhodnocuje pomocou technicko-hospodárskych parametrov, ktoré vypovedajú aj o účinnosti využitia vstupných nosičov energie. Ekonomická opodstatnenosť investície do technologického komplexu sa vyjadruje pomocou dĺžky návratnosti investície (PBP – payback period, pozri vzťah 4.7), faktora čistej súčasnej hodnoty investície (NPV – net present value, pozri vzťah 4.8), vnútorného výnosového percenta (IRR – internal revenue rate, pozri vzťah 4.9) a zlomovej ceny produkovaných médií (breakdown price).

$$PBP = \frac{\text{Čistý výnos za rok}}{\text{Nutná investícia}} \quad (4.1)$$

Čistý výnos za rok sa určí ako rozdiel zisku z predaja vyrobených energetických médií a nákladov na spotrebované vstupy a na údržbu. Nutná investícia zahŕňa kapitálové náklady spojené s nákupom, inštaláciou a spozajznením zariadenia. Toto kritérium pre svoju jednoduchosť a jednoznačnú vypovedaciu schopnosť býva často prvým hodnotiacim bodom pri posudzovaní obstarania novej technológie. Vyžaduje si prognózu ročných výnosov a nákladov, ktorá sa opiera o technické parametre zariadenia, jeho predpokladané ročné využitie a predpokladané ceny paliva a vyrobených energetických médií. Je zrejmé, že pri kratšej návratnosti investície má parameter PBP väčšiu vypovedaciu hodnotu.

$$NPV = \sum_n RDPT \quad (5.2)$$

Faktor čistej súčasnej hodnoty investície (NPV) sa sumuje cez celú dĺžku plánovaného trvania projektu (n rokov). Parameter RDPT znamená ročné diskontované peňažné toky. Výpočet tohto parametra si vyžaduje zostavenie ekonomického modelu, ktorý zohľadní využitie zariadenia, ceny vstupov a predávaných produktov, infláciu, výpočet ročných ziskov z prevádzky a celkových ročných nákladov pre každý rok trvania projektu. Priaznivé sú hodnoty NPV, ktoré sú vyššie ako nutná počiatočná investícia do realizácie projektu. O investičnej atraktivite vypovedá lepšie vnútorné výnosové percento (IRR):

$$IRR = \left(\sqrt[n]{\frac{NPV}{\text{Nutná investícia}}} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (4.3)$$

kde n opäť označuje trvanie projektu v rokoch. Ak je vnútorné výnosové percento investičnej možnosti vyššie ako vnútorné výnosové percento referenčnej investičnej príležitosti s porovnateľnou rizikovosťou, takáto investičná príležitosť je označená ako výhodná. Z uvedených výpočtov je však zrejmé, že parametre NPV a IRR sú len lineárnym odhadom a v prípade nečakaných zmien ich vypovedná hodnota zlyháva. Preto súčasťou projektu štandardne býva aj citlivostná analýza, ktorá upozorní na tieto riziká.

Zlomová cena produkovaných médií hovorí o takej trhovej cene produktu (napríklad bioplynu alebo elektriny), že pri dosiahnutí tejto ceny výnosy z predaja produktu pokryjú odpisy, splátky pôžičky na financovanie projektu, prevádzkové náklady a iné nevyhnutné výdavky spolu s primeranou mierou zisku. Štátnym regulátorom (na Slovensku je to ÚRSO) býva nastavená regulovaná výkupná cena elektriny z obnoviteľných zdrojov tak, aby minimálna predajná cena zabezpečila návratnosť projektu skôr než je životnosť celého projektu.

Experimentálna bioplynová stanica STU na suchú fermentáciu

V tejto podkapitole je opísaná realizácia konkrétneho výskumného projektu, na ktorom sa autor tejto práce sa podieľal ako riešiteľ výskumných úloh aj ako manažér pri riadení projektu.

Slovenská technická univerzita v Bratislave vďaka podpore Európskej únie prostredníctvom operačného programu Výskum a vývoj Európskeho fondu regionálneho rozvoja vybudovala v roku 2011 v areáli Národného centra pre výskum a aplikácie obnoviteľných zdrojov energie experimentálnu bioplynovú stanicu na suchú fermentáciu.

Experimentálna prevádzka bioplynovej stanice

Technológia bola spustená do prevádzky v júli 2011, najprv naprázdno a následne so vsádzkou biomasy. Oneskorenie vzniklo najmä v dôsledku veľmi komplikovaného administratívneho procesu verejného obstarávania samotnej technológie a následne aj biomasy. Prevádzka je priebežne vyhodnocovaná a technológia sa doladuje aj po ukončení realizácie projektu. Prevádzka je automatizovaná, bez potreby trvalého dozoru na mieste, ale praktické skúsenosti ukázali, že prítomnosť výskumníkov je veľmi žiaduca vzhľadom na nevyhnutnosť riešiť nepredvídané stavy a potrebu doladovať nastavenie riadiacich prvkov systému. Chod technológie monitorujú výskumníci na mieste a tiež prostredníctvom vzdialeného prístupu cez internet. Údaje o prevádzkových parametroch sú zaznamenávané a spolu s ďalšími údajmi (meteorologické dáta a i.) ich spracováva odborný tím riešiteľov.

Na základe praktických skúseností s prevádzkou technológie suchej fermentácie sa výrazne zlepšujú praktické skúsenosti operátorov aj výskumných pracovníkov a tým sa buduje kompetenčná báza kádrov schopných zapojiť sa aj do následných budúcich projektov. Experimentálna povaha projektu vyžaduje kontinuálne sledovanie biochemických procesov prebiehajúcich vo fermentačnom reaktore a zároveň sú odstraňované technické nedostatky, ktoré sú zistené až počas experimentálnej prevádzky.

5. Potenciál bioplynu na Slovensku

Maximálna (teoretická) resp. potenciálna produkcia plynu na Slovensku sa odhaduje na 15 PJ, z čoho 10 PJ pochádza z využitia poľnohospodárskych exkrementov a 5 PJ z ostatných zdrojov organických odpadov. Reálna potenciálna výroba bioplynu resp. vymenovaných plynov na Slovensku predstavuje cca 6,5 PJ v poľnohospodárskom sektore a 3 PJ v oblasti odpadov [5]. Využívaním bioplynu na výrobu elektrickej energie by teoreticky bolo možné pokryť 4,5 % spotreby elektrickej energie v SR. Podľa dokumentu MH SR [24] je celkový technický potenciál bioplynu na Slovensku 6,9 PJ pri ročnej výrobe 1 900 GWh.

Poľnohospodárska biomasa

Výmery poľnohospodárskej pôdy, na ktorých sa pestujú hlavné poľnohospodárske plodiny, predstavujú v súčasnej dobe aj najväčší zdroj produkovanej biomasy. Je to biomasa, ktorá vzniká ako odpad pri hlavnej výrobe, vo forme slamy, odrezkov pri reze ovocných drevín alebo vinnej révy. Osobitnú skupinu tvorí produkcia sena a drevnej hmoty z krov na trvalých trávnych porastoch.

Celková produkcia slamnatej biomasy vyprodukovanej pri pestovaní husto siatych obilnín (pšenica, jačmeň, raž, ovos a tritikale) pestovaných na výmere 637 752 ha, predstavuje hmotnosť 1 671 961 t. Z tejto produkcie biomasy je možné, podľa odborných odhadov (po odpočítaní slamy na kŕmenie, podstielanie) využiť na energetické účely cca 40 %, to znamená cca 669 000 ton.

Produkcia ostatných druhov rastlinnej biomasy (slama pri pestovaní kukurice na zrno, repky, slnečnice a drevnej hmoty z TTP, sadov a vinohradov) produkovanej na ploche s výmerou 872 946 ha, predstavuje hmotnosť 1 839 048 ton. Z tejto produkcie biomasy môžeme využiť na energetické účely asi 70 %, čo predstavuje hmotnosť asi 1 287 333 ton.

Energetický potenciál pôdohospodárskej biomasy je značne vysoký a predstavuje teoreticky 20,4 % ročnej spotreby energie v Slovenskej republike, ktorá je 800 PJ. [54]

Z teoretického množstva energie vyrobenej spaľovaním biomasy 28,6 PJ by bolo možné za priaznivých podporných mechanizmov využiť v odvetví poľnohospodárstva 10 až 30 %. Na trhové účely vo forme paliva (balikovaná slama, brikety, pelety) alebo energie (teplo, elektrina) by bolo možné využiť 10 až 20 % hlavne predajom paliva, poprípade tepelnej energie pre komunálnu sféru (obce). V prípade nahradenia časti fosílnych palív biomasou aj vo veľkých energetických zdrojoch (teplárne, elektrárne), by podiel biomasy ponúkanej na trh mohol predstavovať 30 – 50 %.

Produkcia živočíšnych exkrementov

Produkcia exkrementov hospodárskych zvierat predstavuje ročne hmotnosť 9 554 790 ton od hovädzieho dobytku, 1 751 056 ton výkalov ošípaných a 845 040 ton trusu od hydiny.

Celková hmotnosť exkrementov predstavuje hodnotu 12 150 886 ton ročne. Túto produkciu môžeme v celom objeme použiť na energetické účely a zvyšky po fermentácii ako hnojivo.

Bioplynové stanice na Slovensku

V roku 2012 bolo na Slovensku celkove 110 bioplynových staníc pri ČOV a na poľnohospodárskych družstvách, s celkovým inštalovaným výkonom 91,5 MW. Poľnohospodárske prevádzky so živočíšnou výrobou majú najvhodnejšie podmienky z hľadiska zdrojov biomasy, vlastného využitia vyrobenej elektrickej aj tepelnej energie a využitia vyhnitého materiálu na poľnohospodárske účely. V posledných rokoch sme boli svedkami prudkého nárastu počtu poľnohospodárskych bioplynových staníc. Investori výstavby aj poľnohospodárske družstvá začali ťažiť z nevyužitého potenciálu rastlinnej a živočíšnej biomasy. Stále je však hlavnou incentívou investorov predaj elektriny za garantované výkupné ceny, ktoré stanovuje ÚRSO. Veľká časť nových bioplynových staníc má inštalovaný výkon 0,999 MW, aby maximálne využili vyššiu výkupnú cenu pre inštalácie s výkonom do 1 MW.

Záver

Energetická bezpečnosť je v súčasnosti jedným z najčastejšie opakovaných pojmov v súvislosti s transformáciou energetickej základne, ktorá musí zohľadňovať nielen dostatok energetických zdrojov, ale dôraz sa kladie aj na environmentálnu šetrnosť a efektívne využívanie dostupných zdrojov. Výroba bioplynu z biomasy predstavuje jednu z dôležitých možností, ako využiť významný a doposiaľ nedostatočne využívaný zdroj energie a zároveň podporiť decentralizovanú výrobu v blízkosti miest spotreby aj dodržiavať záväzky Slovenskej republiky v oblasti ochrany životného prostredia.

Model bol počas jeho vývoja v praxi využitý pri návrhu bioplynovej stanice v Hurbanove v spolupráci s priemyselným partnerom a neskôr pri modelovaní experimentálnej bioplynovej stanice na suchú fermentáciu v laboratóriu NC OZE v Bratislave. Boli pri tom využité aj poznatky autora z návrhu predchádzajúceho projektu bioplynovej stanice v Siladiciach, ktorý však nebol realizovaný. Neskôr autor model využil pri konzultovaní návrhu bioplynovej stanice pre mesto Sereď. Model umožňuje pri návrhu bioplynovej stanice vopred spočítať materiálové nároky na vstupnú biomasu a odhadnúť množstvo generovaného bioplynu.

Keď sa rozrastie využívanie bioplynových technológií do väčších rozmerov, budú citel'né pozitívne dôsledky, ako je ekologizácia spracovania odpadov, rast zamestnanosti na vidieku, zvýšenie celkovej energetickej efektívnosti krajiny a obmedzenie závislosti na dovoze energetických nosičov zo zahraničia.

Podpora decentralizovanej výroby energie v mieste spotreby a rozšírenie využívania bioplynu je jedným z prvých krokov na ceste k vodíkovej energetike s nasadením palivových článkov, ktoré predstavujú jeden z očakávaných budúcich vývojových smerov svetovej energetiky. Významným príspevkom bude aj motivácia rozvíjať domáci výskum, vývoj, aj priemyselnú výrobu v tomto segmente, ktorý združuje špičkové technológie s vysokou pridanou hodnotou.

Vedecký a praktický prínos práce

Hlavným prínosom je komplexné rozpracovanie metodiky na posúdenie energetických nákladov a celkovej výroby v bioplynových staniciach s aplikáciou na slovenské špecifiká.

Práca má praktické využitie jednak na úrovni návrhu konkrétnych projektov bioplynových staníc na fermentáciu biomasy (najmä pokiaľ sú vstupným materiálom poľnohospodárske odpady), ale takisto nájde využitie pri modelovaní energetickej politiky regiónu alebo štátu.

Model bol počas jeho vývoja v praxi využitý pri návrhu bioplynovej stanice v spolupráci s priemyselným partnerom a neskôr pri modelovaní experimentálnej bioplynovej stanice na

suchú fermentáciu. Model umožňuje pri návrhu bioplynovej stanice vopred spočítať materiálové nároky na vstupnú biomasu a odhadnúť množstvo generovaného bioplynu.

V rámci porovnania výsledkov modelu bol aplikovaný aj kanadský výpočtový model RET Screen, ktorý slúži ako všeobecný modelovací algoritmus na výpočty v oblasti obnoviteľných zdrojov a energetickej efektívnosti, pričom získané výsledky si neodporujú.

Počas výskumnej fázy autor realizoval aj výpočty vplyvov na životné prostredie na modelových príkladoch bioplynových staníc pomocou softvérového balíka SimaPro. Po zvážení rozsahu problematiky a kapacitných možností však bola táto časť vyčlenená na neskoršiu implementáciu a výpočet LCA nie je súčasťou aktuálneho parametrického modelu. Realizované výpočty v programe SimaPro potvrdili zistenia publikované v literatúre, že bioplynové stanice, ktoré spracovávajú odpadovú biomasu z poľnohospodárstva, majú prakticky za všetkých počiatkových podmienok vysoko pozitívny vplyv na životné prostredie z hľadiska metodiky LCA.

Summary

The thesis deals mainly with biogas production facility model. There is summarized the current state of art regarding the biomass use for biogas production in specific Slovak conditions. There are also analyzed adjacent technologies relevant for biogas production if they can be utilized in parallel as waste utilization.

The main part of the thesis is dedicated to the design of biogas generation model for standard and novel designs of biogas power plants, with emphasis placed on agricultural waste disposal. For analyzing of the biogas potential in Slovakia, analysis of available biomass sources is executed. The design of the model was performed as reverse calculation of existing biogas plants with their material and energy inputs and outputs. The accuracy of design calculations were verified by measuring of parameters and load characteristics of real biogas plants, where author contributed during their planning.

The core of research work consists of analyses of material flows in biogas complex, optimization of waste energy usually dumped, thermal analysis and analysis of economy of the whole project. There is also presented the practical evaluation of various aspects of distributed biomass energy production for national economy and sustainable development. The final part of thesis is devoted to the analysis of existing biogas plants in Slovakia.

Zoznam použitej literatúry

- [1] EG&G Services, Parsons Inc.: *Fuel Cell Handbook*, 6th ed., U.S. Department of Energy, Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory, Morgantown, WV, 2002
- [2] ENGLER, R.: *Economics and Environmental Impact of Biogas Production as a Manure Management Strategy*. [online]. 2002. <<http://files.harc.edu/Sites/GulfcoastCHP/Publications/EconomicsImpactBiogasProduction.pdf>>
- [3] GADUŠ, J., ŠÁRGOVÁ, S.: *Possibilities of biomass co-fermentation*. In: EKOTREND 2005, Zborník z medzinárodného vedeckého stretnutia, ZF Jihočeská univerzita České Budějovice, 2005. s.70. ISBN 80-7040-783-2.
- [4] HOOGERS, G. (ed.): *Fuel cell technology handbook*. CRC Press, 2003. ISBN: 0849308771
- [5] HORBAJ P.: *Energetický potenciál bioplynu v SR*. [online] 2003 <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1540&h=203&pl=49>>
- [6] MIKOLAJ, D., HORBAJ, P.: *Zjednodušený výpočet množstva bioplynu vznikajúceho z exkrementov v poľnohospodárstve, grafické určenie návratnosti investície a vhodného typu kogeneračnej jednotky*. [online] 2003 <<http://czbiom.ecn.cz/index.shtml?x=133627>>
- [7] JAHNÁTEK, L., JANIČEK, F., SMITKOVÁ, M., KUBICA, J.: *Trends of Power Engineering in the World and in Slovakia*. In: Control of Power Systems '08 : 8th International Conference. Štrbské Pleso, Slovak Republic, 11.-13.6.2008. - Bratislava : Slovak University of Technology in Bratislava, 2008. - ISBN 978-80-227-2883-6. - CD-Rom
- [8] JANIČEK, F., DARUĽA, I., GADUŠ, J., REGULA, E., SMITKOVÁ, M., POLONEC, L., ĽUDVÍK, J., KUBICA, J.: *Obnoviteľné zdroje energie 1 : Technológie pre udržateľnú budúcnosť*. - Bratislava : Renesans, 2007. - 171 s. - ISBN 978-80-969777-0-3
- [9] JANIČEK, F., GADUŠ, J., KUBICA, J., SMITKOVÁ, M.: *Project of Agricultural Biomass Utilization for Energy Production in Siladice Village*. In: Energomatika, 1st International Expert and Scientific Conference : Praha, 17. – 18. 4. 2007. – Prague, CZ : Wirelesscom, 2007. – ISBN 978-80-239-9076-8. – CD-ROM

- [10] JANÍČEK, F., KUBICA, J.: *Využívání bioplynu na kombinovanou výrobu elektriny a tepla na Slovensku*. In: Electric Power Engineering 2007 : International Scientific Conference. Kouty nad Desnou, Czech Republic, 12.-14.6.2007. – Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita v Ostravě, 2007. – ISBN 978-80-248-1391-2. – CD-Rom
- [11] JANÍČEK, F., KUBICA, J.: *Utilization of Biogas in Combined Generation of Electrical Energy and Heat in Slovakia*. In: *Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej*. – ISSN 1429-1533. – Z. 60, Nr. 323 (2008), s. 125 – 128
- [12] KAČMÁRY, Š. et al.: *Nové a obnoviteľné zdroje energie* in *Prognóza rozvoja a využívania vedy a techniky do roku 2015*. Trnava 2003
- [13] KUBICA, J., LUDVÍK, J.: *Palivové články v slovenských podmienkach* in *Energetika* 3/2004
- [14] KUBICA, J., LUDVÍK, J.: *Fuel Cells and Its Utilization* in *Proceedings of Student EEICT 2004* (p. 462), FEI STU, Bratislava
- [15] KUBICA, J., LUDVÍK, J.: *Palivové články a ich využitie*. Konferencia ŠVOČ 2004, FEI STU, Bratislava
- [16] KUBICA, J., LUDVÍK, J.: *Porovnanie kogeneračných jednotiek a palivových článkov*. Konferencia ŠVOČ. Bratislava, FEI STU, 2005
- [17] KUBICA, J., LUDVÍK, J.: *Ekonomické porovnanie bioplynovej stanice*. Konferencia ŠVOČ. Bratislava, FEI STU, 2006
- [18] KUBICA, J., PÍPA, M.: *Parametrical Model of Biogas Station*. In: *Electric Power Engineering 2008 : Proceedings of the 9th International Scientific Conference*. Brno, Czech Republic, 13. – 15. 5. 2008. – Brno : Brno University of Technology, 2008. – ISBN 978-80-214-3650-3., s. 65 – 66
- [19] KUBICA, J., PÍPA, M.: *Vodík ako vedľajší produkt pri výrobe biobutanolu*. In: *EE časopis pre elektrotechniku a energetiku*. - ISSN 1335-2547. - Roč. 14, č. 3 (2008), s. 48-49
- [20] MARKO, Š., DARUĽA, I., SMOLA, A., ŠIMUNEK, P.: *Energetické zdroje a premeny*. Alfa, Bratislava 1989
- [21] MINOVSKI, D., KUBICA, J.: *Development of Small Hydro Power Plants in Republic of Macedonia and Slovak Republic*. In: *COSMO Energyefficiency Conference 2008 : Skopje, Macedonia, 16.-17.5.2008*. - Skopje : COSMO Trade Center, 2008. - ISBN 978-9989-2769-4-1.
- [22] Ministerstvo hospodárstva SR, Ministerstvo pôdohospodárstva SR, Ministerstvo životného prostredia SR: *Správa o pokroku v rozvoji obnoviteľných zdrojov energie, vrátane stanovenia národných indikatívnych cieľov pri využívaní obnoviteľných zdrojov energie* <<http://www.economy.gov.sk/pk/1125-2004-001/ma.htm>>
- [23] Ministerstvo hospodárstva SR: *Návrh energetickej politiky SR*. [online]. MH SR. 31/01/06. [cit: 2006-09-12]. Dostupné na internete: www.economy.gov.sk
- [24] Ministerstvo hospodárstva SR: *Stratégia vyššieho využitia obnoviteľných zdrojov energie v SR*. [online] Bratislava, 2006 <<http://www.hospodarstvo.sk/index/go.php?id=2255>>
- [25] PASTOREK, Z., KÁRA, J., JEVÍČ, P.: *Biomasa – obnoviteľný zdroj energie*. FCC PUBLIC s.r.o., Praha 2004, s. 288, ISBN 80-86534-06-5
- [26] PASTOREK, Z., WOLF, J.: *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha 1993. ISSN 0231-947
- [27] SASSE, L.: *Biogas Plants*. Vieweg & Sohn, Braunschweig/ Wiesbaden 1988, s. 85, ISBN 3-528-02004-0
- [28] SCHULZ, H., EDER, B.: *Bioplyn v praxi – Základy, plánování, stavba zařízení, příklady*. Nakladatelství HEL, Ostrava-Plesná 2004, s. 166, ISBN 80-86167-21-6
- [29] STRAKA, F. a kol.: *Bioplyn – příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů*. Říčany: GAS s.r.o., 2003, s. 517. ISBN 80-7328-029-9
- [30] URBAN, F., KUČÁK, L., JEDINÝ, L., DARUĽA, I., PÍPA, M., KUBICA, J.: *Kombinovaná výroba elektriny a tepla – stanovenie metodiky na delenie energetickej bilancie : Závěrečná správa*. Bratislava : STU v Bratislave, 2008. – 68 s.
- [31] *Zemědělská technika a biomasa 2005*. Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha 2005. ISBN 80-86884-07-4
- [32] DÜRRE, P.: New insights and novel developments in clostridial acetone/butanol/ isopropanol fermentation. in *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 49 (1998) pp. 639–648.
- [33] FRIEDL, A., QURESHI, N., MADDOX, I. S.: Continuous ABE fermentation using immobilized cells of *Clostridium acetobutylicum* in a packed bed reactor and integration with product removal by pervaporation in *Biotechnol. Bioeng.* 38 (1991) pp. 518–527.
- [34] LEEPER, S. A.: Membrane separation in the production of alcohol duele by fermentation, in: W.C. McGregor (Ed.), *Membrane Separations in Biotechnology*, Marcel Dekker, 1986, pp. 161–200.
- [35] LIU, F., LIU, L., FENG, X.: Separation of ABE from dilute aqueous solutions by pervaporation. in *Separation and Purification Technology*, 42 (2005) pp. 273–282.
- [36] LOGOTKIN, I. S.: *Technology of acetone–butanol production* (po rusky). Pisshprom Isdat, Moscow, 1958
- [37] RAMEY, D., YANG, S.-T.: Production of Butyric Acid and Butanol from Biomass. Report for the US Department of Energy, Morgantown, WV 2004
- [38] ZVERLOV, V. V., BEREZINA, O., VELIKODVORSKAYA, G. A., SCHWARZ, W. H.: Bacterial acetone and butanol production by industrial fermentation in the Sovin Union: use of hydrolyzed agricultural waste for biorefinery. in *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 71 (2006) pp. 587–597.
- [39] Waldron, K.: *Bioalcohol Production - Biochemical Conversion of Lignocellulosic Biomass*. Woodhead Publishing 2010, ISBN: 978-1-61344-385-9.
- [40] Klass, D. L.: *Biomass for Energy, Fuels and Chemicals*. Academic Press 1998, ISBN: 978-0-12410-950-6.

- [41] Dewulf, J., Van Langenhove, H. (ed.): *Renewables-Based Technology: Sustainability Assessment*. John Wiley & Sons 2006, ISBN: 0-470-02241-8
- [42] Roosa, S. A.: *Sustainable Development Handbook*. (pp: 150), 2008. Online dostupné: http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=2406
- [43] BRUGLIERI, M., LIBERTI, L.: *Optimal running and planning of a biomass-based energy production process*. in *Energy Policy* 36 (2008), Elsevier, pp. 2430–2438.
- [44] SIMEONOV, I.: *Mathematical modeling and parameters estimation of anaerobic fermentation processes*. In: *Bioprocess Engng.*, vol. 21 (1999), pp. 377-381.
- [45] GALAVA H. V., ANGELIDAKI, I., AHRING, B. K.: *Kinetics and modeling of anaerobic digestion process*. In *Adv. Biochem. Engng. Biotechnol.*, vol. 81 (2003), pp. 57-93.
- [46] HARTMANN, H., THUNEKE, K., HOLDRICH, A., ROZMANN, P.: *Handbuch bioenergie - kleinanlagen, Bundesministerium für Verbraucher Schütz, Ernährung und Landwirtschaft . Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., 2003. ISBN 3-00-011041-0*
- [47] PETRÁŠ, P.: *Zdroje a energetický potenciál biomasy vyprodukovaný v odvetví pôdohospodárstva*, [online] Publikované 21.08.2007, Dostupné na internete: <http://www.zdruzeniepcola.org/view.php?cislocianku=2007082104>
- [48] KÁRA, J., SRÁMEK, V., HUTLA, P., STESKAL, F., KOPICKÁ, A.: *Využití biomasy pro energetické účely*, CEA, Praha, 1997
- [49] OCHODEK, T.; KOLINIČNÝ, J.; JANÁSEK, P.: *Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti palív z biomasy*, VŠB TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1207-X.
- [50] GEFFERT, P.: *Bioplyn a splyňovanie biomasy*, [online] Publikované 15.3.2007, Dostupné na internete: www.enviro.gov.sk/servlets/files/16037
- [51] JANÁSEK, P.: *Výzkum parametrů ovlivňujících spalování biomasy*. Dizertačná práca. Ostrava: VŠB, Výskumné energetické centrum, 2006
- [52] ORAVEC, M.: *Potenciál drevnej biomasy, ekologické a ekonomické dopady jej energetického využitia*, [online], Dostupné na internete: www.nlcsk.org/images/docs/seminar_energia/3_Oravec/oravec.ppt
- [53] *Mapy a základné údaje o potenciály biomasy*, [online], Publikované 16.3.2007, Dostupné na internete: http://www.access-ret.net/info/pdfs/d13_sk.pdf
- [54] MINISTERSTVO PÔDOHOSPODÁRSTVA: *Akčný plán využívania biomasy na roky 2008-2013*, November 2008, [online], Dostupné na internete: <http://www.mpsr.sk/sk/index.php?start&language=sk&navID=2&navID2=2&sID=26&id=1214>
- [55] GADUŠ, J.: *Bioplyn – jeho výroba a využitie v podmienkach Slovenska*. Mechanizačná fakulta, SPU v Nitre, 19.2.2008
- [56] VIGLASKÝ, J.: *Perspektívy biomasy a tuhých biopalív v sektore energetiky*, [online], Dostupné na internete: <http://www.asb.sk/2008/07/03/stavebnictvo/tzb/perspektivy-biomasy-a-tuhych-biopaliv-v-sektore-energetiky.html>
- [57] HAVARLAND, B.: *Technical and Economical Evolution of Energetic Biomass*. In: *Nové trendy v prevádzke výrobnéj techniky*, FVT Prešov 22. - 23. 11. 2000, s. 354 - 359, ISBN 80-7099-618-8

Vybrané publikácie autora

1. Janíček, F. -- Daruľa, I. -- Gaduš, J. -- Regula, E. -- Smitková, M. -- Polonec, Ľ. -- Ľudvík, J. -- Kubica, J. -- Michalík, M. -- Bindzár, M., *Obnoviteľné zdroje energie 1. Technológie pre udržateľnú budúcnosť* (2. vydanie). Pezinok: Renesans, s.r.o., 2009. 174 s. ISBN 978-80-89402-04-5.
2. Janíček, F. -- Daruľa, I. -- Gaduš, J. -- Regula, Eugen -- Smitková, M. -- Polonec, Ľ. -- Ľudvík, J. -- Kubica, J. -- Michalík, M. -- Bindzár, M., *Renewable Energy Sources 1 : Technologies for a Sustainable Future*. Pezinok: Renesans, s.r.o., 2009. 184 s. ISBN 978-80-89402-05-2.
3. Janíček, F. -- Gaduš, J. -- Šály, V. -- Daruľa, I. -- Regula, Eugen -- Smitková, M. -- Kubica, J. -- Pípa, M. -- Bindzár, M., *Obnoviteľné zdroje energie 2. Perspektívne premeny a technológie*. Pezinok: Renesans, s.r.o., 2010. 186 s. ISBN 978-80-89402-13-7.
4. Kubica, J., *Biomasa v porovnaní s ďalšími obnoviteľnými zdrojmi na Slovensku*. In *Elektroenergetika 2007 : 4th International Scientific Symposium*. Stará Lesná, Slovak Republic, 19.-21.9.2007. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2007, s. 238--246. ISBN 978-80-8073-844-0.
5. Kubica, J. -- Pípa, M. -- Janíček, F., *Design of Experimental Biogas Plant Using a Dry Fermentation Process*. In *Cirák, J. -- Perný, M. -- Smitková, M. Power Engineering 2011. Renewable Energy Sources 2011 : Tatranské Matliare, Slovakia, June 7-9, 2011*. Bratislava: Slovak University of Technology in Bratislava, 2011, ISBN 978-80-89402-38-0.
6. Pípa, M. -- Kubica, J. -- Janíček, F. -- Timár, P., *Dry Fermentation for Production of Electric Energy at STU in Bratislava*. In *Power Engineering 2010. Renewable Energy Sources : 1st. International Scientific Conference OZE. Tatranské Matliare, SR, 18.-20. 5. 2010*. Bratislava: STU v Bratislave, 2010, ISBN 978-80-89402-24-3.
7. Janíček, F. -- Kubica, J. -- Jahnátek, Ľ. -- Kubala, M. -- Špok, M., *Energetická politika v podmienkach prijatia zákona o obnoviteľných zdrojoch energie*. In *Energomatika 2009 : Mezinárodní odborná a vědecká konference*. Praha, Czech Republic, 9.-10.9.2009. Praha: Technologies & Prosperity, 2009, ISBN 978-80-87205-09-9.

8. Kubica, J. -- Pípa, M., Hydrogen as a by-Product of Biobutanol Production. In Kozáková, A. ELITECH '09 : 11th Conference of Doctoral Students. Bratislava, Slovak Republic, 25.5.2009. Bratislava: STU v Bratislave FEI, 2009, ISBN 978-80-227-3091-4.
9. Pípa, M. -- Kubica, J. -- Janiček, F., Improving the Efficiency of Primary Energy Utilization in Systems with Cogeneration Units. In Power Engineering 2010. Renewable Energy Sources : 1st. International Scientific Conference OZE. Tatranské Matliare, SR, 18.-20. 5. 2010. Bratislava: STU v Bratislave, 2010, ISBN 978-80-89402-24-3.
10. Daruľa, I. -- Kubica, J. -- Ľudvík, J. -- Smitková, M., Palivové články. In Racionalizácia rozvodu a spotreby elektrickej energie v budovách : Zborník z konferencie. Bratislava, SR. 6.4.2006. Bratislava: TYPHOON, 2006, s. 67--75. ISBN 80-969403-1-7.
11. Kubica, J. -- Ľudvík, J. -- Smitková, M., Palivové články sú atraktívne. Quark : magazín o vede a technike Roč. 12, č. 9. s. 32--33. ISSN 1335-4000.
12. Kubica, J. -- Pípa, M., Parametrical Model of Biogas Station. In Electric Power Engineering 2008 : Proceedings of the 9th International Scientific Conference. Brno, Czech Republic, 13.-15.5.2008. Brno: Brno University of Technology, 2008, s. 65--66. ISBN 978-80-214-3650-3.
13. Janiček, F. -- Daruľa, I. -- Gaduš, J. -- Kubica, J. -- Smitková, M., Parametrický model bioplynovej stanice - PD Siladice. Odpady : Odborný časopis pre podnikateľov, organizácie, obce, štátnu správu a občanov Roč. 8, č. 7. s. 7--10. ISSN 1335-7808.
14. Pípa, M. -- Kubica, J. -- Janiček, F., Pokusná bioplynová stanica so suchou fermentáciou a KGJ. In Electric Power Engineering 2010 : Proceedings of the 11th International Scientific Conference. Kouty nad Desnou, Czech Republic, 12.-14.5.2009. Brno: Brno University of Technology, 2010, s. 351--353. ISBN 978-80-214-4094-4.
15. Janiček, F. -- Kubica, J., Prečo nám elektrina pomáha?. In Detská univerzita aj pre dospelých : 5. ročník Detskej Univerzity Komenského. Bratislava: Perex, 2007, s. 55--63. ISBN 978-80-969807-0-3.
16. Pípa, M. -- Kubica, J. -- Janiček, F., Project of Experimental ORC Unit for Use of Excess Heat from the Cogeneration Unit. In Cirák, J. -- Perný, M. -- Smitková, M. Power Engineering 2011. Renewable Energy Sources 2011 : Tatranské Matliare, Slovakia, June 7-9, 2011. Bratislava: Slovak University of Technology in Bratislava, 2011, ISBN 978-80-89402-38-0.
17. Kratochvíl, K. -- Kubica, J. -- Pípa, M., Skúsenosti z doterajšej prevádzky kogeneračnej jednotky PETRA 250 C, inštalovanej v UZ Gabčíkovo. In Janiček, F. -- Reváková, D. -- Daruľa, I. -- Kubica, J. -- Šulc, I. Energetika - ekológia - ekonomika : 8. celoštátna konferencia s medzinárodnou účasťou. Vysoké Tatry - Nový Smokovec, 27.-29.5.2009. Bratislava: STU v Bratislave, 2009, ISBN 978-80-89402-08-3.
18. Kubica, J., Technologický model výroby a spracovania bioplynu. Diplomová práca. Bratislava: STU FEI, 2006. 43 s.
19. Janiček, F. -- Kubica, J., Utilization of Biogas in Combined Generation of Electrical Energy and Heat in Slovakia. Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej : Seria: Elektryka Z. 60, Nr. 323. s. 125--128. ISSN 1429-1533.
20. Kubica, J. -- Pípa, M., Vodík ako vedľajší produkt pri výrobe biobutanolu. EE časopis pre elektrotechniku a energetiku Roč. 14, č. 3. s. 48--49. ISSN 1335-2547.
21. Pípa, M. -- Kubica, J., Výroba bioplynu metódou suchej fermentácie biomasy. In Janiček, F. -- Reváková, D. -- Daruľa, I. -- Kubica, J. -- Šulc, I. Energetika - ekológia - ekonomika : 8. celoštátna konferencia s medzinárodnou účasťou. Vysoké Tatry - Nový Smokovec, 27.-29.5.2009. Bratislava: STU v Bratislave, 2009, ISBN 978-80-89402-08-3.
22. Kubica, J. -- Pípa, M., Využitie odpadového tepla z kogenerácie na zvýšenie podielu vyrábanej elektrickej energie pomocou organického Rankinového cyklu. In Janiček, F. -- Reváková, D. -- Daruľa, I. -- Kubica, J. -- Šulc, I. Energetika - ekológia - ekonomika : 8. celoštátna konferencia s medzinárodnou účasťou. Vysoké Tatry - Nový Smokovec, 27.-29.5.2009. Bratislava: STU v Bratislave, 2009, ISBN 978-80-89402-08-3.
23. Janiček, F. -- Kubica, J., Využívanie bioplynu na kombinovanú výrobu elektriny a tepla na Slovensku. In Electric Power Engineering 2007 : International Scientific Conference. Kouty nad Desnou, Czech Republic, 12.-14.6.2007. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita v Ostravě, 2007, ISBN 978-80-248-1391-2.
24. Pípa, M. -- Kubica, J. -- Janiček, F., Zvyšovanie využitia primárnej energie v systémoch s kogeneračnými jednotkami. In Electric Power Engineering 2010 : Proceedings of the 11th International Scientific Conference. Kouty nad Desnou, Czech Republic, 12.-14.5.2009. Brno: Brno University of Technology, 2010, s. 229--232. ISBN 978-80-214-4094-4.
25. Pípa, M. - Kubica, J. - Janiček, F.: Project of Experimental ORC Unit for Use of Excess Heat from the Cogeneration Unit. In: Power Engineering 2011. Renewable Energy Sources 2011 : Tatranské Matliare, Slovakia, June 7-9, 2011. - Bratislava : Slovak University of Technology in Bratislava, 2011. - ISBN 978-80-89402-38-0. - USB flash