

Ing. Petr KRAMOLIŠ

# Bioplyn jako zdroj elektřiny a tepla

## Biogas as a Source of Electricity and Heat

Recenzent

doc. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.

*Autor podrobně popisuje celý proces výroby a využití bioplynu. Specifikuje jednotlivé fáze procesu, jejich technologické nároky a možnosti využívání bioplynu. Neméně důležitým je posouzení investičních a provozních nákladů bioplynových stanic.*

**Klíčová slova:** bioplyn, bioplynová stanice, ekonomika

*The author describes in detail the whole process of biogas production and exploitation. He specifies the individual process stages, their technological requirements and the possibilities of biogas utilization. The assessment of the investment and operation costs of biogas stations is not of minor importance.*

**Key words:** biogas, biogas station, economy

Bioplynové zařízení je přínosem jak pro společnost, tak i pro zřizovatele s ohledem na ekologický i ekonomický přínos. Ochrana životního prostředí a šetrnost k přírodním zdrojům energie upřednostňují inovační technologii využití bioplynu. Přínosy jsou především:

- výrazná redukce emisí metanu, který intenzivně působí na klima,
- vrácení biologicky hodnotných látek do přírodního koloběhu,
- zlepšení hnojivých hodnot biologicky rozložitelných vstupních substrátů,
- snížení až odstranění zápachových emisí zbytkových látek,
- získáváním elektrické energie a tepla dochází k substituci fosilních paliv.

Ekonomickými přínosy se rozumí prodej vyrobené elektrické energie a tepla, zvýšení lokální zaměstnanosti v oblastech s nedostatkem pracovních příležitostí, zlepšení místního cash-flow a stabilizace zemědělského provozu, event. finanční přínos obci v případě komunální bioplynové stanice.

### Fermentační proces

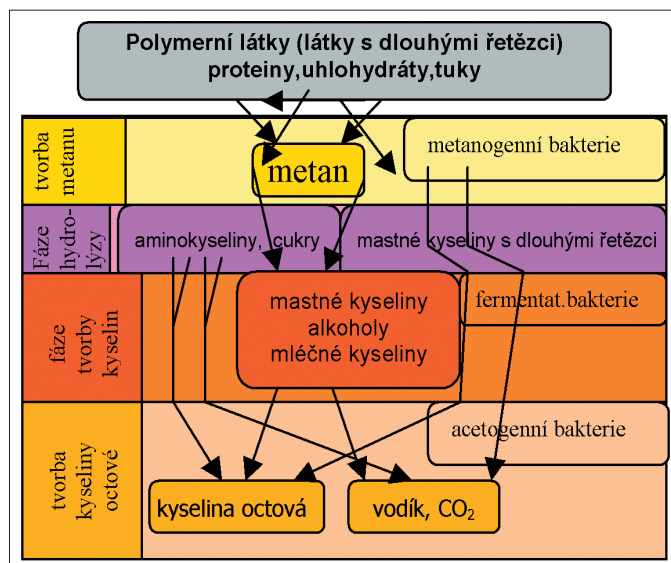
Tvorba metanu fermentací je částí koloběhu látek v přírodě. Anaerobní fermentace je proces rozkladu organické hmoty bez přístupu vzduchu, na kterém se podílí množství navzájem závislých bakterií, jež rozkládají biomasu, aby vyrobily potřebnou energii pro svůj metabolismus. Jako vedlejší produkt látkové výměny je produkován metan. V přírodě se tyto bakteriální kmeny vyskytují v bacheru přežvýkavců, jakož i v močálech, bažinách a v bahenních vrstvách vodních toků. U tohoto víceetapového rozkladu organické hmoty vznikají jako konečné produkty metan ( $\text{CH}_4$ ) a oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ).

Téměř všechny organické přírodní látky se dají anaerobně rozložit, jak je znázorněno v obr. 1.

Převážná většina energie obsažená ve výchozím materiálu zůstává zachována v podobě metanu, jen nepatrná část se využívá k vytvoření nové buněčné hmoty. Kontrolovaný průběh čtyř dílčích kroků - hydrolyza, tvorba kyselin, tvorba kyseliny octové a tvorba metanu probíhá v reaktorech (fermentorech) na výrobu bioplynu. V prvních dvou dílčích krocích probíhá změna pevné fáze na tekutinu a štěpení nasazených materiálů, vlastní proměna v metan probíhá v posledních dvou stupních.

### Každá fáze má svou vlastní populaci bakterií

Jednotlivé dílčí kroky se liší nejen co do zúčastněných mikroorganismů a vzniklých produktů, nýbrž podstatně i potřebnými životními podmínkami bakterií.



Obr. 1 Čtyři fáze tvorby bioplynu

První fáze rozkladu, hydrolyza, se vyznačuje rozkladem látek s dlouhými řetězci jako uhlohydrátů, bílkovin a tuků v látky s krátkými řetězci, ve vodě rozpustné zlomky jako jednoduché cukry, glycerin, mastné kyseliny s dlouhými řetězci a aminokyseliny.

Po tomto rozmělnění jsou meziproducty ve fázi tvorby kyselin (acidogenní fáze) přijaty fermentativními mikroorganismy a jsou dále rozkládány. Jako produkty tohoto "strávení" vzniknou převážně mastné kyseliny s krátkými řetězci.

Fáze tvorby kyseliny octové (acetogenní fáze) představuje spojovací článek mezi tvorbou kyselin a tvorbou metanu.

Zde se z produktů látkové výměny kyselinotvorných mikroorganismů tvoří výchozí látky pro metanové bakterie.

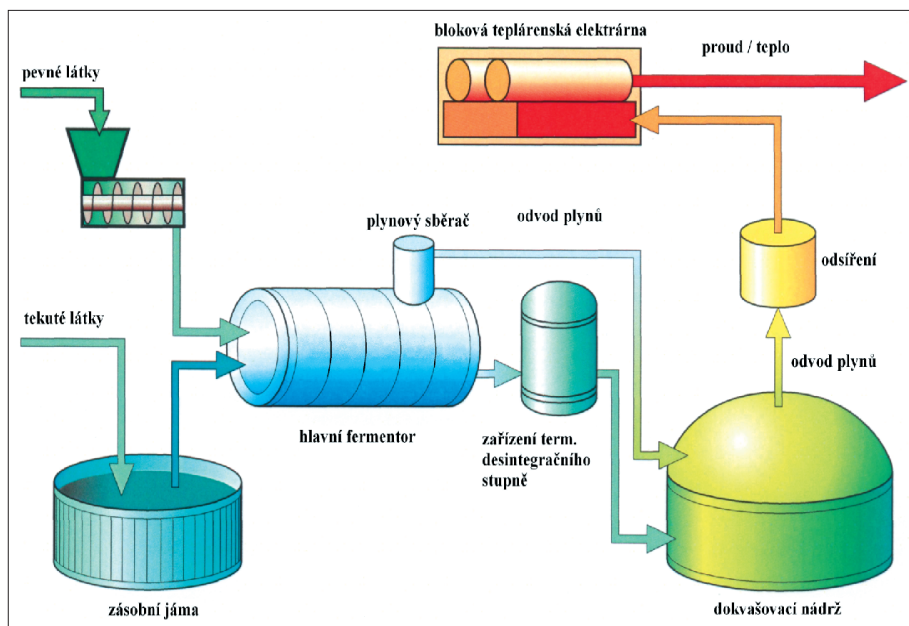
Fáze tvorby metanu představuje pak poslední stupeň vytváření bioplynu. Metanové bakterie patří k druhu archaebakterií a jsou nejstaršími živými tvory světa. Jako látkoví specialisté mohou metanogenní bakterie rozkládat jen velmi málo látek.

Všechny druhy umí proměňovat oxid uhličitý, většina vodík, jen některé kyselinu octovou a metanol. Metanové bakterie jsou striktními anaeroby; vzdušný kyslík brzdí jejich činnost látkové výměny, popř. bakterie zabíjí.

## Dvoustupňová zařízení jsou pro bakterie optimální

Jako výsledek čtyřstupňového rozkladu vzniká bioplyn. Zatímco se při aerobním rozkladu uhlík z výchozí látky následně stává převážně biomasou, při fermentaci se uhlík promění z 60 až 90 % v bioplyn. Bioplyn představuje směs z 50 až 70 % metanu, 30 až 50 % kyslíčnicku uhličitého jakož i stop sirovodíku, vodíku a dusíku.

Zásadně mohou proběhnout všechny čtyři kroky rozkladu v jedné nádobě. Mluvíme pak o jednostupňových zařízeních. Specifické podmínky prostředí jednotlivých skupin mikroorganismů však vyžadují v jednostupňových zařízeních určitý kompromis. Pro směsnou kulturu musí být v tomto případě přednostně splněny požadavky metanových bakterií. Metanové bakterie jsou citlivější a mají menší rychlost růstu. U jednostupňového procesu se zmenšuje rychlost rozkladu a výkon rozkladu.



Obr. 2 Sestava technologických zařízení

Dvoustupňové systémy naproti tomu umožňují prostorové oddělení prvních dvou fází hydrolyzy a tvorby kyselin od obou posledních fází tvorby kyseliny octové a tvorby metanu. Teplota hraje v biotechnických procesech tvorby bioplynu důležitou úlohu. Bakterie tvořící kyseliny pracují optimálně při 30 °C, naproti tomu metanové bakterie pracují při 35 až 37 °C (mezofilní oblast) popř. 50 až 65 °C (termofilní oblast). Vyšší teploty vedou v závislosti od substrátu k vyššímu rozkladu, kratším časům prodlevy, vyšší výtěžnosti plynu a umožňují menší rozměry zařízení. Současně však stoupá citlivost vůči vykyvům v přísunu substrátu, v množství přísunu a v provozní teplotě. Oblast teploty je proto nutno volit s ohledem na stabilitu procesu, hospodárnost a na substrát, který je nutno zfermentovat.

### Bakterie mají různé nároky na pH

Vedle teplotního optima mají mikroorganismy i optimální pH. Pro hydrolyzující a fermentativní bakterie je optimum mezi pH 4,5 až 6,3, zatímco metanové bakterie dávají přednost neutrálnímu prostředí kolem pH 7. S klesající hodnotou pH stoupá toxicita produktů výměny látkové (sirovodík a těkavé mastné kyseliny), tlumící účinek čpavku naproti tomu přibývá při stoupající pH hodnotě. Hodnota pH ovlivňuje i rozpustnost oxidu uhličitého ve fermentační tekutině a tím i složení bioplynu.

Růst bakterií je u anaerobních procesů podstatně pomalejší ve srovnání s aerobními procesy. Aerobní mikroorganismy, jako například *Escherichia coli*, zdvojnásobí počty buněk v průběhu patnácti až dvaceti minut. Doba zdvojnásobení, zvaná generační dobou, je u přísně anaerobních metanových bakterií pět až patnáct dnů, u bakterií tvořících kyseliny kolem jednoho až čtyř dnů. Tyto hodnoty velmi závisí od substrátu a životních podmínek. Energeticky bohaté substráty, jako například metanol, snižují generační dobu tvůrců metanu na asi dva dny.

### Funkce bioplynové stanice

Všeobecně je princip u všech bioplynových stanic (BS) stejný. Výchozími organickými látkami (substráty) jsou tekuté nebo tuhé odpady zvířat (kejda, mrvy), fytomasy (travní, kukuřičné siláže, celé rostliny i zrna obilnin) a zbytkové organické odpady z potravinářského průmyslu. Substráty jsou plněny do vzduchotěsně uzavřené nádrže (fermentor). Tekuté látky se čerpají, tuhé jsou dopravovány spirálovými dopravníky.

V tomto bezkyslíkatém prostředí produkují bakterie bioplyn. Zpravidla je přiváděna biomasa do stojatého nebo ležatého fermentoru teplá, aby se

urychlil celý proces. Vyprodukovaný bioplyn může být využíván k výrobě el. energie, tepla nebo obou.

El. proud je dodáván do sítě, protože použití pro pokrytí vlastní spotřeby je nerovnoměrné. Teplo je využito zčásti pro vytápění fermentoru a přebytečné teplo pro vytápění domů nebo zemědělských budov, sušící procesy event. chov teplomilných ryb apod.

## POPIS TECHNOLOGIE SYSTÉMU

**Nádrž na kejdu** – exkrementy z chovu hospodářských zvířat jdou běžnou cestou do fermentačního systému. Kejda již obsahuje bakterie, které při skladování následkem studené fermentace produkují metan, a proto je nejlepší tuto kejdu co nejdříve dopravit do fermentoru. Transport zajišťuje čerpadlo. V opačném případě by byl snížen výtěžek bioplynu o vyprodukovaný metan při skladování.

**Kofermentáty** – přidáváním biomasy s vyšším obsahem energie popř. s vyšší specifickou výtěžností bioplynu než má kejda, může být podstatně zvýšen výnos plynu. Takto přidávaná biomasa je označena za kofermentát. Rozdíly v hustotě a sušíně kofermentátů ve srovnání s kejdou vyžadují oddělené skladování.

**Předzpracování** – před plněním kofermentátů do fermentoru je nezbytné některé z nich předzpracovat. V podstatě se jedná o tři různé druhy předzpracování podle jakosti kofermentátu a jeho velikosti při dovozu na BS: mechanické úpravy – přehřev - tepelné úpravy.

Dezintegraci (rozsekání, mletí) se zvyšuje povrch pro bakterie a to přináší zvýšení produkce bioplynu. Jiné druhy kosubstrátů jako např. tuhy, vyžadují přehřev, aby se zlepšila tekutost. Určité kofermentáty (komunální, kuchyňské) je nutné tepelně upravit z hlediska splnění hygienizačních předpisů.

**Fermentor** – ve fermentoru jsou substráty ohřívány a pravidelně míchány. Konečné produkty procesu jsou dva. Bioplyn a fermentovaný substrát. Technologie míchání zajišťuje:

- ❑ promíchání nového substrátu se starým,
- ❑ stejnoměrnou teplotu v celém obsahu,
- ❑ odstranění vrstvení struktur,
- ❑ zlepšení metabolismu bakterií.

**Skladovací nádrž** – zfermentovaný substrát je ukládán do nádrže. Ta slouží jako skladovací jímka, když nemůže být zfermentované množství ihned po procesu využito. Mimoto je zde dodatečně produkován bioplyn. Skladování je podmíněno hlavně agrotechnickými lhůtami aplikace substrátu na zemědělskou půdu.

**Plynojem** – bioplyn vyprodukovaný ve fermentoru musí být až do jeho využití akumulován. Plynojem může být podle zvolené konstrukce umístěn buď na fermentoru, nebo odděleně. Pro skladování vyrobeného bioplynu se prosadily u zemědělských zařízení fóliové zásobníky (nízkotlaké zásobníky s provozním tlakem několika málo milibarů\*), u kterých je možné se obejít bez potřebných tlakových stanic, kompresorů a tlakově odolných nádrží. Jako zásobníky jsou zde užívány fóliové plynové zásobníky ve fermentoru (vynášené vzdušné střechy).

**Čištění bioplynu** – bioplyn vznikající ve fermentoru je nasycen vodní parou a obsahuje stopové plyny jako sirovodík (H<sub>2</sub>S). Sirovodík je vysoce jedovatý a obtěžuje již při nepatrných koncentracích zápachem. Obsah sirovodíku v bioplynu může vést v potrubí a v částech zařízení ke korozním škodám a k zvýšenému opotřebení motoru.

Proto je potřebné odsíření plynu. Část stopových plynů a vodní pára jsou odstraňovány přes kondenzační trať. Vháněním vzduchu (až do cca 6 objemových procent, aby anaerobní fermentační proces nebyl negativně ovlivňován) se obsah sirovodíku efektivně redukuje.

**Kogenerační jednotka (KVET)** – bioplyn ze zemědělství se zpravidla využívá v kogeneračních jednotkách. Spalování plynu se děje v plynových zážehových motorech nebo v motorech se zapalovacím paprskem, které pohánějí generátor.

Motory se zapalovacím paprskem jsou upravené vznětové (dieselové) motory, přičemž základní zatížení (otáčky běhu naprázdno) je kryto spalováním topného oleje, zatímco k dosažení požadovaného výkonu a otáček se používá bioplyn. Asi 6 až 10 % celkové spotřeby paliva (olej + bioplyn) připadá na topný olej. V současné době se využívá rostlinný olej místo minerálního.

Motorům se zapalovacím paprskem se dává přednost u menších zařízení na výrobu bioplynu s kolísající kvalitou plynu. Nabízejí vyšší provozní jistotu, protože i při výpadku výroby bioplynu mohou být dále provozovány. Mají zpravidla poněkud vyšší účinnost, ale vyšší provozní náklady. Nové motory se zapalovacím paprskem smí být provozovány pouze s topným olejem biogenního původu.

Zážehové motory jsou provozovány se směsí vzduchu a bioplynu, která je elektricky zapalována. Použijí se pro výkony nad 300 kW, kde dosahují vyšších el. účinností.

Část vyrobeného tepla (cca 25 %) je využívána k vytápění fermentorů a případně pro hygienizační zařízení. Zbytkem mohou být vytápěny obytné, provozní, stájové a další budovy.

**Rizika a bezpečnost** – bioplyn má hustotu 1,2 kg/m<sup>3</sup> a je proto o něco lehčí než vzduch. Vytékající proud bioplynu se mísí rychle se vzduchem, čímž se nebezpečí požáru a výbuchu snižuje. To by však nemělo vést k lehkomyšlnosti v zacházení s bioplynem.

Zápalná teplota (700 °C) je relativně vysoká, což je z bezpečnostního technického hlediska vhodné. S maximální zápalnou rychlostí ve vzduchu 0,25 m/s (podmíněno obsahem CO<sub>2</sub>) má bioplyn spíše pomalé požární chování.

Bioplyn má velice úzké zápalné meze, to znamená, že hoří jen tehdy, když podíl plynu ve směsi plyn - vzduch je 5 až cca 15 %. Pravidelná kontrola funkčnosti bezpečnostních zařízení je nutností.

### Podmínky stability procesu

Metanogenní bakterie mohou žít jen v určitém prostředí. Následující aspekty jsou důležité.

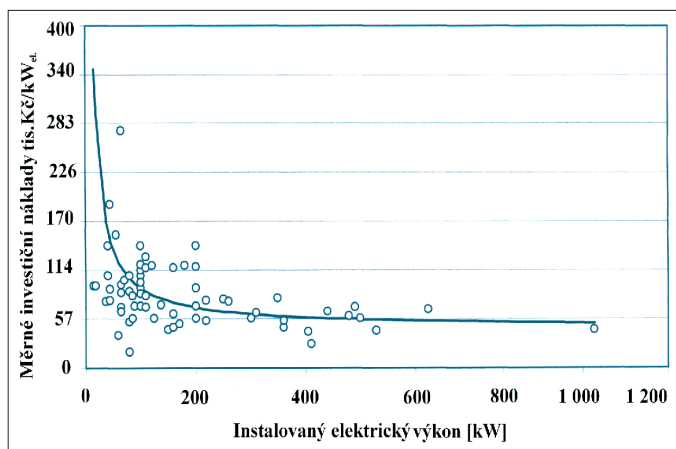
- Vzduchotěsnost, tzn. bakterie jsou aktivní bez výskytu O<sub>2</sub>.
- Teplota – podle fermentačního provozu – jsou v podstatě tři teplotní oblasti, ve kterých působí určité druhy bakterií. Psychofilní (< 30 °C), mezofilní (30 až 40 °C) a termofilní (40 až 55 °C). Nejvyšší aktivitu mají termofilní druhy. Většina zemědělských BS pracuje v mezofilních oblastech. Tento proces je méně citlivý na změny a tím lépe kontrolovatelný v reálných oblastech použití.
- Doba zdržení substrátu ve fermentoru – doba zdržení je čas, po který jsou substráty ve fermentoru. Potřebná doba zdržení pro optimální produkci bioplynu závisí na teplotě a druhu biomasy. Psychofilní teplotní oblast vyžaduje dobu 40 až 100 dní, mezofilní oblast 35 až 60 dní a termofilní 25 až 40 dní, aby byla dosažena produkce bioplynu, která leží v blízkosti teoretického maxima.
- Hodnota pH – u anaerobního jednostupňového fermentoru by měla být 6,8 až 7,5. V případě kofermentace kyselějších substrátů (jako např. určité odpady z potravinářského průmyslu) by měla být tomuto aspektu věnována větší pozornost. Hydrolyza a acidogeneze probíhají při pH 5,2 – 6,4; tvorba metanu při pH 7 až 7,5.
- Organický podíl – bakterie potřebují minimum organické hmoty jako „živiny“, aby přežily; ovšem mohou být také „překrmeny“. Množství organické hmoty by mělo ležet mezi 0,5 až 5 kg na m<sup>3</sup> fermentačního prostoru a den. Vážený průměr by byl mezi 1 až 3 kg / m<sup>3</sup>, den. Nejméně jednou denně by měl být do fermentoru dán čerstvý substrát, lépe vícekrát.
- Látky brzdící proces, které se mohou vyskytovat v kejdě, např. dezinfekční prostředky, antibiotika a organické kyseliny, brání bakteriím v jejich aktivitě nebo je mohou dokonce umrtvit.
- Velikost částic – částice v substrátu by neměly být příliš velké, jinak je rozklad organické hmoty pomalejší. Některé substráty, jako např. tráva musí být rozdrobeny. Čím je větší povrch fermentované hmoty, tím mohou bakterie efektivněji pracovat.

Tab. 1

Substráty	Obsah suché substance (TS) %	Organic. suchá substance v TS %	Výtěžnost plynu mN <sup>3</sup> /t substrátu	Obsah metanu %
kejda dojníc	8	85	20	55
kejda žirného skotu	10	85	34	55
kejda prasat	5	85	18	60
drůbeží suchý trus	25	75	93	65
luční tráva Ø 3 až 4 seče/r	18	91	98	54
kukuřičná siláž vosk.zralá	33	96	190	53
travní siláž Ø 3 až 4 seče/r	35	89	183	54
obilná zrna	87	98	597	53
kukuřice vč.zrn	60	98	391	53
GPS, střední podíl zrna	40	94	195	53
bramborové výpalky, čerstvé	6	87	35	56
flotační tuk	12	90	108	68

\*) Poznámka redakce: 1 mbar = 10<sup>-3</sup> bar, bar = 10<sup>5</sup> Pa, mbar = 10<sup>2</sup> Pa.





Obr. 3 Závislost měrných investičních nákladů na instalovaném elektrickém výkonu

- ❑ Míchání substrátu – bakteriemi vyprodukovaný bioplyn vzniká samovolně jen tehdy, když je v substrátu méně než 5 % sušiny. V ostatních případech je míchání substrátu nutností.
- ❑ Konstantní podmínky – rychle se měnící podmínky procesu nesvědčí. Čerstvý substrát by měl být dávkován postupně. To platí také pro změny ve složení substrátu.
- ❑ Obsah dusíku – je důležitým prvkem pro metabolismus bakterií, navíc přispívá k udržení hodnoty pH. Účinný poměr uhlík: dusík (C : N) leží mezi 20 : 1 až 35 : 1.

**Investiční náklady –**

v převážné většině se měrné investiční náklady vztahují na instalovaný el. výkon kogeneračních jednotek a pohybují se v rozsahu 75 000 až 130 000 Kč/kW<sub>el</sub>. Vyšší hodnoty platí pro malé bioplynové stanice a obráceně. Závislost na výkonu je vidět v obr. 3

Vztáhne-li investor náklady na instalovaný objem fermentorů, pak jsou v rozmezí 5 800 až 23 000 Kč/m<sup>3</sup>. Mezi investičními náklady jedno a víceskupinových zařízení nejsou podstatné rozdíly.

Výrazněji se snižují investiční náklady, když mohou být využity stávající objekty a nádrže, jsou-li provozuschopné, což je nutno vždy individuálně posoudit.

Betonové nádrže v současné době vycházejí levněji než ocelové, ale v některých případech se mohou projevit výhody ocelových nádrží a ceny se mohou vyrovnat.

**Výrobní náklady**

Zde se projevuje výrazná závislost na ceně dostupných substrátů, dopravních nákladech a odpisových částkách. Je to zcela na individuálním posouzení. Hlavní hodnotou pro rok 2007 je výkupní cena el. energie ve výši 3 040 Kč/MWh. Skladba vstupních látek je v projektovém řešení sestavována tak, aby výrobní náklady byly vždy nižší než výnosy. Za tímto účelem se zpracovává studie proveditelnosti (Feasibility study).

**Vybrané ukazatele**

Výhřevnost bioplynu	5,0 až 7,0 kWh/m <sup>3</sup> (50 až 70 % CH <sub>4</sub> )
Vyrobená el. energie	1,6 až 2,04 kWh/m <sup>3</sup> (při účinnosti KVET $\eta_{el}$ 32 až 41%)
Velkodobyčtí jednotka (VDJ) – výnos	300 až 500 m <sup>3</sup> bioplynu/rok
1 ha silážní kukuřice – výnos	7 000 až 12 000 m <sup>3</sup> BP/r
1 ha luční trávy (intenzivní) – výnos	4 000 až 6 000 m <sup>3</sup> BP/r
Množ. BP na 1 kW <sub>el</sub> při 7500- 8200 h/r	3 000 až 4 000 m <sup>3</sup> BP/r; cca 10 m <sup>3</sup> /den
1 ha silážní kukuřice dodá BP jako	15 až 20 (velkodobyčtích jednotek 500 kg hmotnosti)
1 ha silážní kukuřice potřebuje	5 až 10 m <sup>3</sup> fermentačního objemu
Pracovní doba na provoz a údržbu	1 až 1,5 h/den; 100 kW <sub>el</sub>
Inves. nákl. na KVET-motor se zapal. paprskem	9 000 až 18 000 Kč/kW <sub>el</sub>
Inves. nákl. na KVET s plyn. motorem	15 000 až 23 000 Kč/kW <sub>el</sub>

Výtěžnost 1 ha při pěstování kukuřice a 3 040 Kč/MWh:			
výnos sušiny 14 t/ha	→ 7 500 m <sup>3</sup> /ha,r	tj. 15 600 kWh/r	47 400 Kč/r
výnos sušiny 17 t/ha	→ 9 100 m <sup>3</sup> /ha,r	tj. 19 000 kWh/r	57 700 Kč/r

*Poznámka:*

BP – bioplyn, KVET - kombinovaná výroba elektřiny a tepla. Výnos 14 t/ha sušiny (32%) představuje cca 44 t/ha čerstvě sklizené hmoty. Výnos 17 t/ha sušiny (32%) představuje cca 53 t/ha čerstvě sklizené hmoty.

**Použité zdroje:**

- [1] Váňa, J., Slejška, A.: Bioplyn z rostlinné biomasy, 1998, UZPI Praha.
- [2] Biogas-Strom aus Gülle and Biomasse: Top agrar fachbuch, 2002, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.
- [3] Váňa, J.: Výroba a využití kompostů v zemědělství, 1997, Institut výchovy a vzdělávání MZe Praha.
- [4] Bioenergieanlagen – Planung und Installation, 2004, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V., Fachausschuss Biomase, München.
- [5] Schulz, H., Eder, B.: Bioplyn v praxi, 2001, Nakladatelství HEL Ostrava – Plesná, 2004. ■

**\* Trh s peletami v Německu pod tlakem**

V roce 2005 bylo v Německu uvedeno do provozu 17 000 nových vytápěcích zařízení na pelety, tj. o více než 100 % oproti předchozímu roku. Vytápění peletami, pokud se týče podílu v nově instalovaných vytápěcích zařízeních, ve zmíněném roce činil tento podíl asi 3,7 % z celkového počtu zařízení. V roce 2006, v lednu a únoru, v důsledku vyčerpaných dotací nebyly žádné projekty schváleny, v březnu až červenci v rámci podpůrného programu bylo schváleno 11 388 automaticky zásobovaných zařízení do topného výkonu 50 kW. V srpnu byly opět dotace zastaveny, vzhledem k vyčerpání plánovaných prostředků, což způsobilo zděšení výrobců pelet, z nichž někteří drasticky rozšířili své výrobní kapacity.

Problematická je otázka zdrojů surovin. Třísky z průmyslu dřeva již nestačí. Nové zdroje surovin pro výrobu pelet, jako je např. lesní odpad a rychle rostoucí dřeviny, povedou ke zdražování paliva. Již mezi červencem 2005 a červencem 2006 vzrostly ceny pelet o 22 %. Ve srovnání s tím stoupla cena zemního plynu za tutéž dobu o 21 %.

**\* Vzduchová clona pro sochu Davida**

Po náročném čištění téměř 4,5 m vysoké a cca 6 tun těžké sochy biblického Davida zhotovené Michelangelem z bílého mramoru, postavené v roce 1504 ve Florencii, kterou navštívil denně až 5000 turistů, zjistili restaurátoři na soše již po krátké době značné nánosy prachu a špíny.

Tyto nánosy pocházejí jednak ze znečištěného ovzduší a především z oděvů návštěvníků.

Tomu chtějí odborníci italských univerzit zabránit vybudováním speciální vzduchové clony, tzv. „vzduchové klece“, která sochu oddělí od okolí. Z prostoru soklu sochy bude kolem ní vyfukován stabilní proud filtrovaného vzduchu. Příslušné klimatizační zařízení bude instalováno pod podlahou výstavní haly.

Experti odhadují celkové náklady na tento projekt na cca 1,6 mil. USD.