

VYUŽITÍ BIOMASY JAKO OBNOVITELNÉHO ZDROJE ENERGIE

**SIARHEI SKOBLIA^a, DANIEL TENKRÁT^a,
MARTIN VOSECKÝ^{a,b}, MICHAEL POHOŘELÝ^b,
MARTIN LISÝ^c, MAREK BALAŠ^c, ONDŘEJ
PROKEŠ^a**

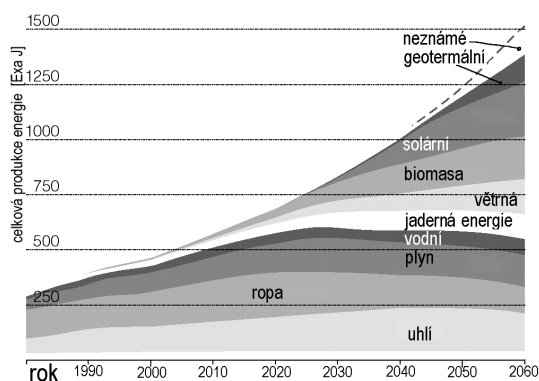
^a Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha, ^b Ústav chemických procesů AV ČR, Rozvojová 2/135 165 02 Praha 6-Suchbát, ^c Vysoké učení technické v Brně, Technická 2896/2, 616 69 Brno
skobljas@vscht.cz

Klíčová slova: výroba energie, cena biomasy, technologie výroby energie, zplyňování biomasy

Úvod

Rozvoj lidské civilizace během posledních sta let probíhal velmi rychlým tempem a byl vždy spojen s produkcí a spotřebou energie. Vývoj a aplikace moderních technologií a inovační činnost v průmyslové výrobě umožnily dosáhnout zvýšení celkové účinnosti výroby a snížení měrné spotřeby energie. Požadavky na množství energie v celosvětovém měřítku přesto stále stoupají a budou stoupat i nadále. Hlavní příčinou je rostoucí populace planety Země, stoupající životní úroveň a s ní i kvalita života.

Dosavadní vývoj ukazuje na stálou převahu fosilních paliv mezi základními zdroji energie (cca 70 %). Prognózy budoucího vývoje produkce energie se liší v odhadech celkového množství, avšak shodují se v tom, že očekávaný nárůst nemůže být dosažen pouhým zvýšením spotřeby



Obr. 1. Vývoj celosvětové produkce energie; (1 ExaJ = 10^{18} J = 23,885 Mtoe, energetický obsah 1Mtoe „megatuny ropného ekvivalentu je definován jako 41,868 Petajoulů (1 PJ= 10^{15} J), cit.¹⁾)

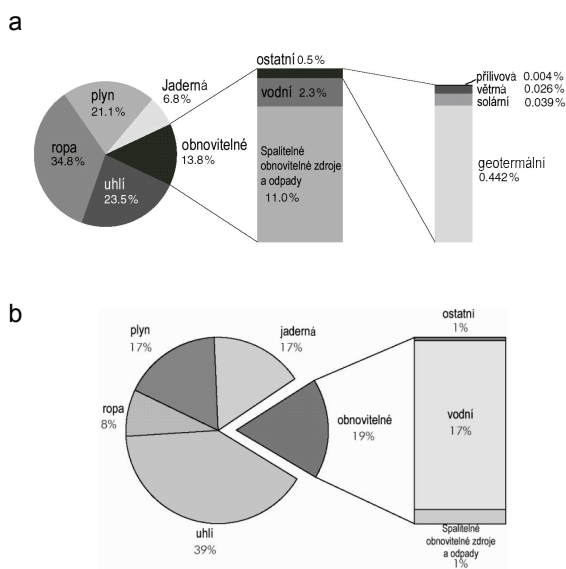
fosilních paliv. Část odborníků se přiklání k optimistickému názoru, že v perspektivě 40 až 50 let lze fosilní paliva částečně nahradit obnovitelnými zdroji energie (OZE). Tato koncepce je podrobně diskutována v tzv. „Bílé knize“, ve které je uveden odhad celosvětové produkce primární energie (obr. 1, cit.¹⁾). Už v roce 2020 by mohlo 20 % celosvětové produkce elektrické energie pocházet z OZE a v roce 2050 celých 50 %. Zda jsou tyto prognózy pravdivé, ukáže jen čas.

Mezi hlavní formy OZE patří: bioenergie, geotermální energie, vodní energie, větrná a sluneční energie. Energie produkovaná různými způsoby z biomasy je nazývána „bioenergií“. V důsledku své geografické polohy Česká republika má nízký potenciál vodní, větrné a sluneční energie, proto hlavním zdrojem OZE je v ČR bioenergie zastoupená hlavně biomasou.

Využití obnovitelných zdrojů energie

Stupeň současného využití jednotlivých druhů OZE v celosvětové produkci energie je odlišný. V roce 2000 tak činila celková výroba primární energie 9958 Mtoe (obr. 2, cit.²⁾).

Podíl jednotlivých druhů OZE na celosvětové produkci elektrické energie v roce 2000 byl odlišný. Jak je vidět, energie obsažená v biomase se převážně využívala pro výrobu tepla (11 %) a jen z 1 % se podílela na výrobě



Obr. 2. Podíl OZE na celosvětové produkci energie v roce 2000; a – primární, b – elektrická²⁾

elektrické energie. Podíl OZE na celkové produkci energie v ČR byl v roce 2002 cca 1,9 %, což bylo pod celosvětovým a celoevropským průměrem. Podíl OZE v EU ve stejném období byl 6 % a měl by v roce 2010 dosáhnout 11 %, hlavním zdrojem je energie biomasy a hydroenergie. V souladu se Směrnicí 2001/77/ES se ČR zavázala do roku 2010 zvýšit podíl OZE ve výrobě elektrické energie na 8 % a do roku 2030 na 20 %. Biomasa se v podmínkách ČR stává hlavním zdrojem pro splnění těchto závazků. Z výše uvedených údajů lze odvodit tyto závěry:

- biomasa je málo využívána pro výrobu elektrické energie a právě zde se skrývá její značný potenciál,
- nízký podíl ve výrobě elektrické energie ukazuje na existenci objektivních překážek omezujících výrobu elektrické energie ve větším měřítku.

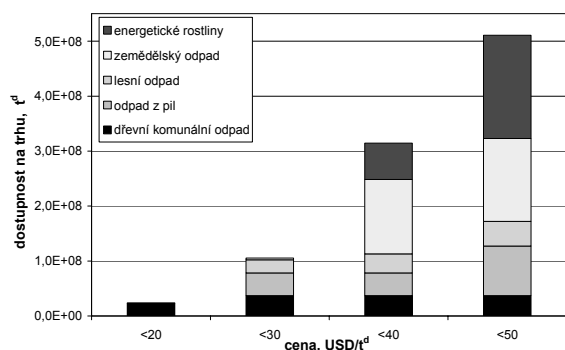
Zjištění těchto překážek a definice problémů spojených s jejich překonáním je hlavním klíčem vedoucím k úspěšné aplikaci biomasy ve výrobě elektrické energie. Hlavní problémy lze shrnout do dvou základních skupin:

- odlišné vlastnosti biomasy, mezi které patří nízká plošná hustota zdrojů biomasy, problematická dostupnost, vysoké náklady spojené se skladováním, manipulací a dopravou, které zvyšují cenu biopaliv,
- využití obrovského potenciálu biomasy znemožňuje nedostupnost levných technologií vhodných pro efektivní a decentralizovanou výrobu elektrické energie.

Analýze a optimalizaci těchto problémů jsou věnované následující kapitoly této práce.

Cena a dostupnost biomasy

V ČR je k dispozici cca 16 mil m³ dřevní hmoty⁴, 2 mil tun slámy a cca 1 mil tun řepkové slámy. Potenciál energetických plodin se odhaduje na 40 mil tun (cit.³). Jako palivo je využíváno hlavně dřevo z lesních porostů a odpady z dřevozpracovatelského průmyslu ve formě pilin a štěpků⁵. Intenzivní využívání zbytkového dřeva se projevilo v ČR jeho rostoucí spotřebou a to z 0,9 mil tun v roce 1996 na 1,5 mil tun v roce 1999. Je však zřejmé, že dnes tento potenciál je již skoro vyčerpán. Teoretický po-



Obr. 3. Dostupnost biomasy v USA v závislosti na ceně; (r. 1999)⁵

tenciál energetické biomasy pěstované v ČR lze vypočítat ze střední roční výnosnosti pěstovaných plodin a velikosti volné půdy. V ČR leží ladem asi 0,5 mil hektarů půdy. Pro naplnění cíle roku 2010 by stačilo využít asi polovinu této plochy. V horizontu 30 let lze využít až 1,5 mil hektarů, tj. asi 35 % podílu zemědělské půdy v ČR. Současný ekonomický potenciál energetické biomasy (r. 2004) se odhaduje na 2738 tis. tun, dostupný na 9037 tis. tun, technický na 18 348 kt a teoretický až na 27 385 kt (cit.⁴).

Praktická využitelnost tohoto obrovského potenciálu je zásadním způsobem ovlivněna dostupností biomasy a hlavně její cenou. Odpady ze zemědělství a odpadní dřevo ze zpracovatelského průmyslu a lesního hospodářství jsou levné, ale jejich množství jsou omezená. Jejich potenciál je dnes zpravidla vyčerpán, a proto další zvýšení poptávky automaticky vede ke zvýšení ceny. Odhad ceny pěstované biomasy uvádí rozsáhlá studie provedená v USA (obr. 3, cit.⁵). Cenu ovlivňuje jak stav současného využití daného druhu biomasy, tak i náklady spojené s produkcí (pěstování, sklizeň, úprava před použitím a skladování). Proto zdroje biomasy jsou rozděleny do několika kategorií. K levným (<30 USD t⁻¹) patří nevyužitá a málo hodnotná materiálu: městský dřevní odpad, odpady z lesního hospodářství (mrtvé stromy, zbytky po těžbě, nekvalitní dřevo) a dřevařský odpad nevyužitý k jiným účelům. Na jejich ceně se podílí hlavně náklady spojené s manipulací (těžba, sběr a doprava). Vyšší cena dřevařského odpadu je způsobena jeho současným využitím ve výrobě celulosy a jiných dřevních materiálů. Zemědělským odpadem je rostlinná hmota vznikající při pěstování obilnin (zejména pšenice a kukuřice). Do kategorie energetických rostlin jsou zařazeny rychle rostoucí dřeviny (RRD) a traviny (RRT). Právě tyto dvě skupiny jsou vhod-

Tabulka I
Vybrané energetické rostliny a jejich srovnání s fosilními palivy⁶

Druh rostliny	Cena [t ^{d-1}]	Výnosy [t ^d ha ⁻¹]
Hybridní topol (<i>Populus</i>)	32,9/42,3 USD (U) ^b 2200 Kč (C)	15(U) ^a
Vrba (<i>Salix</i>)	31,7/43,9 USD (U) ^b 1800–2200 Kč (C)	12(U) 4–5(S)
Proso prutnaté (<i>Panicum virgatum</i>)	30/40 ² USD (U)	10(U) 7,1 (C)
Šťovík energetický (<i>Rumex patientia</i>)	900–1500 Kč (C)	21 (C)
Hnědé uhlí	1000–1200 Kč (C) ^d	
Černé uhlí	2400–3600 Kč (C)	

^a Průměrná dlouhodobě pozorovaná hodnota pro USA (U), Českou republiku (C), Švédsko (S), ^b extenzivní pěstování v divoké přírodě/intenzivní zemědělství, ^c pátý rok po výsadbě, ^d cena nezahrnuje dovoz a DPH

nými kandidáty na navýšení produkce biopaliv. Ceny biopaliv dostupných v EU a ČR jsou v důsledku jiných hospodářských podmínek poněkud vyšší, přesto i zde jsou pozorované podobné trendy v jejich vývoji⁶.

Cena biomasy závisí na výnosnosti pěstovaných plodin, která je ovlivněna klimatickými podmínkami i způsobem pěstování, a proto se údaje uváděné v literatuře často liší. Cena pěstované biomasy je kalkulována na základě teoretických výpočtů, protože praktické zkušenosti velkokapacitního pěstování energetických rostlin v ČR zatím nejsou dostatečné. Vybrané údaje o výnosech nejperspektivnějších energetických rostlin a orientační ceny jsou shrnuty v tabulce I a jsou vyšší než u fosilních paliv. Cena elektrické energie produkované prostřednictvím dnes známých technologií bude potom vyšší ve srovnání s fosilními palivy. Využití biopaliv za určitých podmínek však může být přijatelné zejména kvůli strategickým a ekologickým aspektům, případně může být i zvýhodněno aplikací vhodných dotací a bonusů. V budoucnu lze očekávat další nárůst ceny fosilních paliv, naopak pěstování RRD ve velkém je schopno postupně snížit jejich výrobní cenu. Kladným příkladem využití biomasy je rozvoj evropského trhu s palivovými peletami a briketami na bázi biomasy. Jejich ceny jsou vyšší než u výrobků z fosilních paliv, přesto zájem o jejich využití v lokálních topeništích stoupá, zvláště ve státech EU. Cena pelet v roce 2003 se pohybovala mezi 110 (ČR) až 210 (Švédsko) EUR/t a celková kapacita trhu dosáhla 3 mil tun (cit.⁷).

Výroba energie z biomasy

Jak bylo zmíněno výše, obrovský potenciál biomasy (obr. 2) je málo využit pro produkci elektrické energie. Kritickou otázkou použití biomasy ve velkých zdrojích je nízká plošná hustota zdrojů biomasy. Hlavní objektivní překážkou je nedostupnost vhodných technologií pro decentralizovanou výrobu elektrické energie z biomasy. Produkce elektrické energie pomocí parní turbíny je v malých zařízeních neekonomická vzhledem k relativně vysokým investičním nákladům. Proto spalování v malých a středních zdrojích je zpravidla omezeno pouze na výrobu tepla. Vyrobené teplo sice lze transformovat pomocí Stirlingova motoru nebo plynové turbíny s uzavřeným cyklem na mechanickou práci, avšak pořizovací cena a účinnost těchto zařízení v současnosti není pro praktické uplatnění přijatelná.

Klasické spalování v kombinaci s parní turbínou u velkých jednotek nemůže dosáhnout účinnosti srovnatelné se spalováním fosilních paliv vzhledem k nižším teplotám v kotli a menšímu přehřátí vodní páry na teplosměnných plochách. Vysoký obsah alkalických kovů v kombinaci s přítomností chloridů u některých druhů biomasy znamená zvýšené nebezpečí tvorby úsad, které vedou ke korozi v ohništi a na teplosměnných plochách. Vysoký obsah prchavé hořlaviny vyžaduje speciální úpravu spalovacího prostoru a seřízení primárního a sekundárního vzduchu. Nevhodné podmínky spalovacího procesu mo-

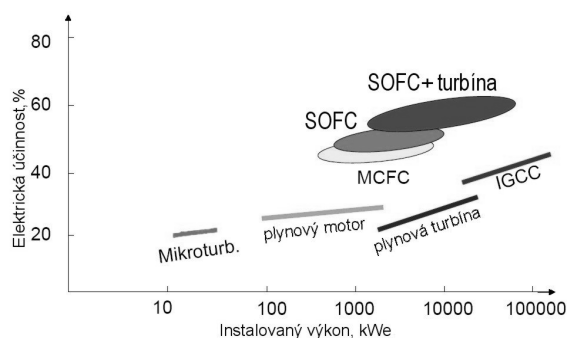
Tabulka II
Přehled technologií vhodných pro výrobu elektrické energie z biomasy^{3,6}

Technologie	Stav vývoje ^a	Výkon [MW _e]	η _e [%]
Parní stroj	K	0,2–2,0	10–12
Parní turbína	K	0,5–240	15–40
Organický Rankinův cyklus	D,K	0,3–1,5	10–12
Šroubový parní stroj	D	0,02–1,0	10–12
Stirlingův motor ^b	D	<0,1	18–25
Pl. turbína s uzavřeným cyklem ^c	V	0,1–240	18–30
Spalovací motor	D	0,1–2,0	27–31
Spalovací plynová turbína	K	0,1–240	18–30
Mikroturbína	V	<0,1	15–25
Paroplynový cyklus (IGCC)	D	>10	40–55
Palivový článek	V	0,02–2,0	25–40
	D	0,3–30 ^c	40–60

^a Stav vývoje: V – výzkum a vývoj, D – demonstrační jednotky, K – konečné využívání, ^b lze využít různých zdrojů tepla, ^c vysokoteplotní palivové články MCFC typu

hou vést ke zvýšení emisí některých škodlivin (CO, uhlovodíky, polyaromatické uhlovodíky). Biomasa je přesto často spoluspalována s uhlím, kdy při obsahu do 20 hm.% příznivě ovlivňuje emise a snižuje obsah síry ve spalinách. Přehled dnes známých technologických postupů vhodných pro výrobu elektrické energie z biomasy je uveden v tabulce II. V první části jsou uvedeny pouze spalovací technologie, v druhé části tabulky pak technologie využívající plyná paliva. Větší možnosti se otevírají v případě transformace energie biomasy do jiné, lépe využitelné formy, tj. kapalných nebo plyných paliv. Procesy termochemické konverze (pyrolýza, zplyňování) patří mezi hlavní postupy tvorby plyných a kapalných paliv.

Pyrolýza je endotermický rozklad organických látek na nízkomolekulární sloučeniny a uhlíkatý zbytek a provádí se za nepřítomnosti vzduchu. Z biomasy se uvolňuje prchavá hořlavina (až 80 % původní hmoty) tvořená směsí primárních produktů pyrolýzy, převážně termicky labilních kyslíkatých látek. Po jejich rychlém ochlazení vzniká tzv. pyrolýzní olej o výhřevnosti 20–25 MJ kg⁻¹, který představuje viskózní, páchnoucí a nestabilní emulzi obsahující 75–80 % polárních organických látek a vodu. Olej je vhodný jak pro spalování, tak i pro další výrobu ušlech-



Obr. 4. Účinnost produkce elektrické z biomasy po jejím zplyňování pomocí moderních postupů; MCFC – PČ s roztaveným uhlíčitánem, SOFC – PČ s pevným elektrolytem, IGCC – kombinovaný paroplynový cyklus⁸

tilých kapalných paliv.

Zplyňování, neboli termochemická konverze pevného paliva, je vhodným zdrojem hořlavého plynu, použitelného pro spalování v plynových motorech, spalovacích turbínách napojených na elektrické generátory a palivových článcích (PČ) přímo vyrábějících elektrickou energii. Použití PČ umožňuje zvýšit účinnost výroby elektrické energie nad hodnotu limitovanou Carnotovými cyklem (obr. 4), což se jeví nejperspektivnějším směrem výroby elektrické energie u středních a malých zdrojů.

Složení plynu produkovaného zplyňováním značně závisí na typu generátoru, použitím zplyňovacím médiu (kyslík, oxid uhličitý, vodní pára, případně vodík), a vlastnostech biomasy. K nežádoucím komponentám plynu patří výševroucí pyrolyzní produkty, souhrnně nazývané dehty, jemné prachové částice, sloučeniny chlóru, síry a alkalické kovy. Nároky na čistotu plynu jsou uvedeny v tabulce III a stoupají v řadě od spalovacích motorů přes turbíny až k extrémně nízkým hodnotám potřebným pro bezproblé-

Tabulka III

Provozní požadavky na obsah nežádoucích látek v plynu pro různá technologická zařízení^{6,8}

Sloučenina	Surový plyn	Spalovací motor	Spalovací turbína	Palivové články ^a
Dehet, mg m ⁻³	0,1–10	<100 (50)	<5	< 1
Prach, mg m ⁻³	1–10	<5	<1	< 0,1
H ₂ S, ppm	20–200	n.d.	<1	< 0,10 ^b
HCl, ppm	<100	n.d.	<0,5	< 0,10 ^c
Na,K,Li, ppm ^e	30–100	n.d.	<1	n.d.
NH ₃ ^d , mg m ⁻³	600–6000	–	–	n.d.

^a PČ typu SOFC a MCFC, ^b celková síra, ^c celkový chlor, ^d zvyšuje emise NO_x, ^e uveden hmotnostní obsah, n.d. – hodnota není limitována

mový provoz palivových článků. Otázka efektivního a levného čištění je „Achillovou patou“ zplyňování biomasy a produkce elektrické energie.

Obsah nežádoucích látek lze sice snížit volbou vhodného typu reaktoru a optimalizací provozních podmínek. Bohužel, kvalita produkovaného plynu po jeho odprášení bude v optimálním případě jen stěží vyhovovat nárokům spalovacích motorů nebo spalovacích turbín. Proto pro bezproblémové použití vysokoúčinných zařízení pro výrobu elektrické energie je nutné za plynový generátor zařadit systém čištění. Procesy založené na ochlazení produkovaného plynu a následném vypírání/absorpci nežádoucích látek jsou dostatečně účinné, bohužel také značně zvyšují celkovou cenu zařízení, snižují účinnost výroby elektrické energie a samy produkují nebezpečné pevné a kapalné odpady. Zajímavou alternativou je použití čisticích procesů, schopných odstranit prach a dehet a případně další nečistoty za vyšších teplot, srovnatelných s teplotou plynu vystupujícího ze zplyňovacího reaktoru, což umožňuje zachování tepelné energii a přímé využití horkého plynu ve vysokoteplotních PČ a turbínách. Vysokoteplotní procesy jsou založeny na postupném odstraňování jednotlivých nežádoucích složek prostřednictvím primární optimalizace chodu generátoru vedoucí ke snížení produkce nežádoucích látek, dále pomocí následné vysokoteplotní filtrace plynu, adsorpce sloučenin síry a chlóru a pomocí katalytického odstraňování dehtu na niklových katalyzátorech. Vysokoteplotní proces má univerzální povahu a je vhodný i pro čištění středně výhřevného plynu vznikajícího zplyňováním biomasy vodní parou a kyslíkem, což umožňuje použití daného plynu pro výrobu náhradních plyných a kapalných paliv^{6,9,10}.

Závěr

Biomasa je v podmínkách ČR hlavním alternativním zdrojem energie. Nízká plošná hustota dostupnosti biomasy a lokální charakter ji dělá vhodným zdrojem pro výrobu energie v malých a středních zařízeních. Bohužel, vyšší cena biomasy a nedostupnost technologií vhodných pro výrobu energie v malých a středních zdrojích dělá tento potenciál stále nevyužitým. Transformace energie obsažené v biomase prostřednictvím zplyňování a následného vysokoteplotního čištění je technologií vhodnou pro využití obrovského potenciálu biomasy jak pro přímou výrobu elektrické energie v malých a středních zdrojích, tak i pro další výrobu náhradních plyných a kapalných paliv.

Autoři děkují Grantové agentuře České Republiky za poskytnutí finanční podpory prostřednictvím grantu č. 104/04/0829 a MŠMT ČR za prostředky poskytnuté v rámci výzkumného záměru MSM6046137304.

LITERATURA

1. Aitken W. D.: *Transitioning to a Renewable Energy Future*. ISES, Freiburg 2003.
2. Renewables in Global Energy Supply, IEA Fact Sheet, IEA, 2002.
3. Noskiewič P., Kaminský J.: *Reálné možnosti obnovitelných zdrojů v České republice*. VŠB Ostrava, VEC 2004.
4. Informace o potenciálu obnovitelných zdrojů v ČR, dokument MŽP ČR, 2006.
5. Walsh M. J.: *Biomass Feedstock Availability in the United States: 1999 State Level Analysis*. ORNL, Oak Ridge 2000.
6. Skoblja S.: *Doktorská disertační práce*. VŠCHT, Praha 2004.
7. Alakangas E.: The European bioenergy markets and trade of biofuels, Nordic Bioenergy Conf., October 2005, Trondheim, Norsko.
8. Hofbauer H.: Proceedings of 16th International Congress of Chemical and Process Engineering, CHISA 2004, August 2004, Prague, s. 1207. Praha 2004.
9. Hejdová P.: Proceedings of 7th Conference New Trends in Technology System Operation, (Hloch S., ed.), Přerov, říjen 2005, s. 221. Přerov 2005.
10. Maršák J., Skoblja S.: Chem. Listy 96, 813 (2002).

S. Skoblja^a, D. Tenkrát^a, M. Vosecký^{a,b}, M. Pohořelý^b, M. Lisý^c, M. Balaš^c, and O. Prokeš^a (^a Dept. of Gas, Coke and Air Protection, Institute of Chemical Technology, Prague, ^b Institute of Chemical Process Fundamentals, Academy of Sciences of the Czech Republic, ^c Dept. of Power Engineering, Brno University of Technology):
Using of Biomass Like a Renewable Energy Source

Biomass surely represents the main RES in present time both in the Czech Republic and in the whole world. The key topics of its practical utilization are from one side its availability and price, and from the other unavailability of cheap and effective technology of electric energy production. This contribution deals first of all these critical questions, describes present situation and last but not least discusses prospects of future development. Biomass gasification with following utilization of produced gas for electricity production via modern processes with higher efficiency in comparison with classical combustion cycles can be according to us the most suitable technology for this aim. Produced gas can be used among others for production of liquid and gaseous synthetic fuels, which can be used as substitute of fossil fuels. The development of an effective and low-cost cleaning process is therefore the basic task of present time.