

КОРИШЋЕЊЕ ДРВЕНЕ БИОМАСЕ У ПРОЦЕСУ КОГЕНЕРАЦИЈЕ

Милан Р. Радосављевић^а, Вања М. Шуштершич^б

^а Основна школа „17. октобар”, Јагодина,
e-mail: milancer27@gmail.com

^б Универзитет у Крагујевцу, Факултет инжењерских наука,
Катедра за енергетику и процесну технику, Крагујевац,
e-mail: vanjas@kg.ac.rs

DOI: 10.5937/vojtehg63-5696

ОБЛАСТ: хемијске технологије
ВРСТА ЧЛАНКА: прегледни чланак
ЈЕЗИК ЧЛАНКА: српски

Сажетак:

Потенцијал биомасе у Републици Србији је велик и обухвата шумски и дрвно-индустријски остатак, огревно дрво, остатак из пољопривреде, биомасу прикупљену при одржавању путева и инфраструктурних објеката. Изградњом когенерацијских постројења на дрвну биомасу повећаће се удео коришћења обновљивих извора енергије, што ће вишеструко допринети испуњавању циљева енергетске политике Републике Србије. Реално је претпоставити да ће се за енергетске потребе повремено морати да користе и биомаса лошијег квалитета, што ће се неминовно одразити на погонске параметре когенерацијског постројења.

У недостатку новијих домаћих искустава потребно је објективно и непристрасно анализирати податке о актуелном стању технологија, као и податке о погону когенерацијских постројења ложених дрвном биомасом (Evald, Witt, 2006, nd).

Кључне речи: дрво, когенерација, биомаса.

Увод

Развој когенерације који се темељи на економски оправданим потребама и који има за циљ штедњу примарне енергије и смањење емисије CO₂, приоритет је ЕУ и предмет Директиве 2004/8/EZ Европског парламента који уређује производњу електричне енергије из обновљивих извора енергије и когенерације.

Когенерација омогућава снижавање трошкова производње електричне и топлотне енергије, смањење емисије CO₂ по јединици произведене енергије, избегавање губитака у преносу и дистрибуцији итд.

Процене показују да постоји потенцијал за повећање производње електричне енергије кроз комбиновану производњу у ЕУ са 18% у 2010. години на 22% до 2020. године, што уједно значи повећавање инсталираних капацитета на 195 GWe до 2020. године. Установљено је да нарочито у Северној и Источној Европи постоје могућности за повећање комбиноване производње за 50% – од 22 GWe на 38 GWe (<http://www.cogeneration.eu>). Удео когенерацијских постројења у енергетском сектору наведених европских држава је веома велики (нпр. у Данској је 51%, Холандији 29%, Финској 39%, Летонији 30%), док је у другим државама тај удео знатно мањи, као нпр. у Француској, Грчкој и Ирској.

Ратификацијом Куото протокола и обавезама у процесу приступања ЕУ Србија се обавезала да повећа учешће обновљивих извора енергије у финалној потрошњи енергије на 27% до 2020. године.

Елементи студије изводљивости

У студијама изводљивости анализирају се и различити аспекти, као што су: избор и постојеће стање локације, дугорочна расположивост биомасе, утицај на околину, прихватљивост пројекта за локалну заједницу.

Избор локације

Приликом избора локације потребно је наћи задовољавајући компромис између различитих захтева, као што су: близина извора и могућност допремања довољних количина биомасе, осигуран приступ возилима, да је прикључак на електроенергетску мрежу једноставан и јефтин, да постоји могућност водоводног и канализационог прикључка, као и одлагања чврстог горива, да потрошачи нису удаљени, тј. да су што нижи трошкови дистрибуције топлотне енергије.

Оквирне цене прикључка на електроенергетску мрежу зависе од тога да ли је реч о изградњи нове или употреба постојеће електроенергетске мреже.

Расположивост биомасе

За погон когенерацијског постројења могу се користити различита горива, као што су: дрвни остатак (из пилане или фабрике намештаја, шумски остатак) или наменски узгојено брзорастуће дрво. Зависно од локације, могући су различити начини набавке биомасе, али су при доношењу одлуке најважнији параметри набавна цена и квалитета горива.

У разматрању избора локације с које ће се набављати дрво треба узети у обзир и осетљив приступ локалној екологији, будући да искоришћавање шумских ресурса, као и узгој великих количина брзорастућих шума, може различито утицати на биоразноликост и одрживост подручја. Такође, неопходно је одржати квалитет испоручене биомасе константном (унутар одређених граница), при чему су најважнији параметри: садржај влаге, величина честица/комада и загађење. Већина технологија омогућава сагоревање сировина влажно-сти и преко 50%, а ограничења се јављају код неких технологија расплињавања.

Набавка потребне количина биомасе

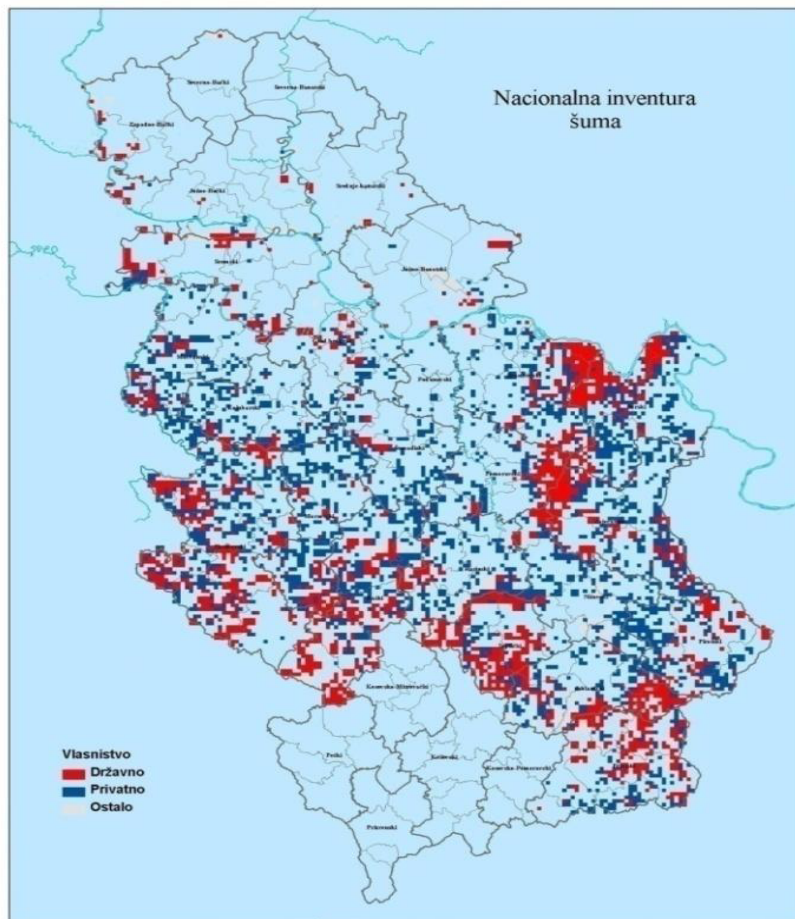
Највећи потенцијал продукције биомасе показали су клонови стаблених врба. Резултати истраживања потенцијала започетог пре десетак година на локацијама у Дарди и Чазми показују да се вредности двогодишњег приноса различитих клонова беле врбе налазе у интервалу од 9,3 t/ha до 19,8 t/ha. Истраживањем је показано и да се применом интензивнијег узгоја и применом заштитних мера принос може знатније повећати (Кајба, et al, 2007). У европским оквирима највише брзорастућих култура засађено је у Шведској, где се на приближно 15.000 ha узгаја врба. Различите врсте врбе доминирају и у Пољској где је у 2007. години укупна површина енергетских засада износила 6.700 ha (Stolarski, et al, 2008, pp.1227-1234), (Stolarski, 2008, nd).

У земљама средње и јужне Европе (нпр. у Немачкој, Италији, Шпанији) повољнији су услови за садњу тополе. У Италији је, захваљујући подстицајним мерама за енергетско коришћење биомасе од 2003. до 2008. године, засађено више од 4.000 ha површине различитим врстама брзорастућих топола. Приближно 3.000 ha засађено је у северној Италији, највише у Ломбардији у долини реке По. За успешан узгој брзорастуће тополе најважнији предуслов представља могућност наводњавања, па је избор долина река, као и подручја с уређеним мелиорацијским саставом логичан избор. Према резултатима теренских истраживања, која су спроведена у Италији, просечан годишњи принос брзорастуће тополе износи 23 t/ha. Сеча се може спроводити сваке године, сваке две, три или више година. Истраживања започета крајем 80-их година прошлог века показала су да дужи размаци између сече осигуравају већи принос (Корр, et al, 2001, pp.1-7).



Слика 1 – Површина под шумом у Републици Србији
Figure 1 – Forest area of the Republic of Serbia

Србија се сматра средње шумовитом земљом. Од укупне површине њене територије, 29,1% налази се под шумама, што износи 2.252.000 ха (слика 1). Од тога је у државном власништву 1.194.000 ха или 53%, а у приватном власништву 1.058.387 ха или 47% (слика 2) ([http:// www.srbijasume.rs](http://www.srbijasume.rs)). Шумовитост је, у односу на глобални аспект, блиска светској која износи 30%, а знатно је нижа од европске која достиже 46%. У односу на број становника шумовитост износи 0,3 ха по становнику (у Русији је 11,11 ха по становнику, Норвешкој 6,93, Финској 5,91, БиХ 1,38 и Хрватској 1,38 ха по становнику).



Слика 2 – Шуме у државном и приватном власништву Републике Србије
Figure 2 – Forests in the state and private ownership of the Republic of Serbia

Утицај на околину и емисије штетних материја

Оксиди сумпора

Дрвна биомаса садржи мале количине сумпора (у деблу свега 0,01%, у иглицама четинара 0,04–0,2% – изражено масеним уделом у сувом гориву). У пракси, сагоревањем биомасе настају врло мале или занемарљиве количине сумпорног оксида, тако да се у постројења која као гориво користе само дрвну биомасу по правилу не уграђује

опрема за уклањање оксида сумпора. У процесу сагоревања сумпор гради гасовита једињења SO_2 ($\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$) и SO_3 ($2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$), као и алкалне сулфате. У котловима у којима се димни гасови брзо хладе, сулфати се кондензују на честицама летећег пепела или на површинама цеви. Већина сумпора садржана је у пепелу (40 до 90%). Ефикасност процеса задржавања сумпора у пепелу највише зависи од концентрације алкалних метала (посебно калцијума) у пепелу. Утицај сумпора није толико значајан због емисија SO_2 већ због његовог удела у корозивним процесима.

Оксиди азота

Удео азота у дрвној биомаси релативно је низак. Суво дебло и кора садрже 0,1–0,5% азота, док је код иглица четинара удео азота нешто виши (1–2%). Азотови оксиди који настају при сагоревању су азот-моноксид ($\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}$) и азот-диоксид ($\text{N}_2 + 2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$) који се заједнички означавају са NO_x . Приближно 85% азотових оксида који настају у процесу сагоревања представљају термички NO_x (при температури од 900°C). Азотови оксиди настају сложеним процесима, зависно од технологије сагоревања и температуре. На настајање азотових оксида највише утичу својства горива.

Резултати мерења која су спроведена на постројењима у Швајцарској и Аустрији показују да количина азотових оксида насталих у процесу сагоревања биомасе на температурама између 800 и 1.100°C највише зависи од удела азота у гориву. Измерени распон емисија за ложишта са сагоревањем на решетки и за сагоревање горива с уделима азота од 0,1 до 1,2% приближно износи 120 до 600 mg/Nm^3 . Измерене количине азотових оксида при сагоревању дрвене биомасе у флуидизованом слоју на постројењима у Шведској и с уделима азота у гориву између 0,15 и 0,22 %, крећу се у распону од 30 до 100 mg/Nm^3 (Oberberger, 1998, pp.33-56).

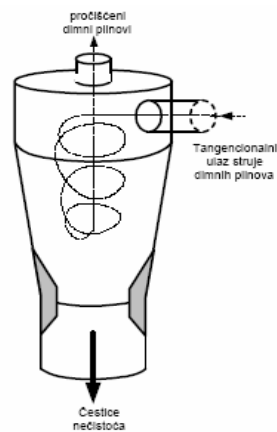
Мешањем амонијака и азотових оксида у присутности катализатора или на високим температурама долази до хемијске реакције у којој настаје азот, док се кисеоник из азотових оксида и водоник из амонијака спајају у воду. У процесу селективне некаталитичке редукције (енгл. *Selective NonCatalytic Reduction –SNCR*) амонијак или уреа убризгавају се у вруће димне гасове на температурама између 850 и 1.050°C . Одржавање температуре димних гасова у задатом распону важно је због тога што се на температурама изнад 1.200°C интензивира реакција поновног настајања азотових оксида из преосталог амонијака и расположивог кисеоника. Процес некаталитичке редукције није могућ на температурама нижим од 800°C . У оптималним условима процес некаталитичке редукције омогућава смањење

емисија NO_x за 50 до 60%, док је у реалним условима проценат смањења у распону од 20 до 40%. Код процеса селективне каталитичке редукције (енгл. *Selective Catalytic Reduction – SCR*) амонијак се убризгава у простор изнад катализатора. Материјал катализатора бира се зависно од састава димних гасова и количине и састава летећег пепела. Користе се различити материјали или једињења титановог оксида с ванадијем, молибденом, платином, а затим и зеолитни материјали. Процес се одвија на температурама димних гасова од 250 до 400°C и карактерише га мања потрошња амонијака у односу на процес некаталитичке редукције.

Честице и пепео

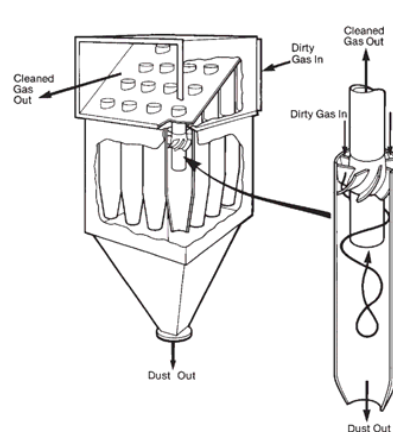
За уклањање крутих честица и пепела из димних гасова користе се, појединачно или у комбинацији, различити уређаји: циклонски одвајачи, електростатички филтери (суви или влажни) и врећасте филтери.

Циклонски одвајачи честица темеље се на комбиновању деловања центрифугалне и гравитационе силе. Главне предности циклонског одвајача огледају се у једноставној конструкцији и одржавању, ниској цени, могућности одвајања великих честица и могућности погона у широком распону температура. Међу недостацима се истиче слаб учинак у одвајању мањих честица, проблем кондензације катрана као и смањен учинак при промени оптерећења. Илустрација циклонског одвајача приказана је на слици 3.



Слика 3 – Циклонски одвајач честица и пепела

Figure 3 – The centrifugal separator of particles and ash



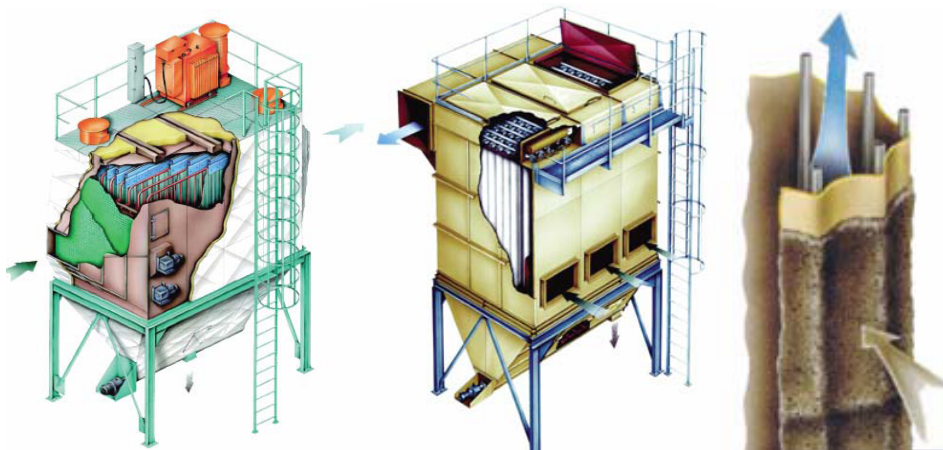
Слика 4 – Мултициклонски одвајач честица

Figure 4 – Multiple-cyclone particle separator

За повећање учинка процеса користе се тзв. мултициклонски одвајачи, састављени од више паралелно повезаних циклонских одвајача. Мултициклонски одвајачи су скупљи, а због сложене конструкције струјање димних гасова остварује се уз већи пад притиска. Илустрација мултициклона приказана је на слици 4.

У електростатичким филтерима честице чађи и пепела најпре се електрички наелектришу, а затим привлаче на електроду. Прикупљене честице периодично се уклањају с електроде или путем вибрација или уз помоћ електроде за пражњење. Учинак електростатичког филтера је врло висока, омогућава одвајање малих честица уз ниже падове притиска. У неповољне услове убрајају се високи инвестициони трошкови, повећање сигурносне мере због делова под напоном и релативно велика запремина (слика 5).

Врећасти филтри су релативно једноставни. Текстилно или полимерно густо тано платно обешено је у затвореној конструкцији кроз коју пролазе димни гасови. С накопљањем честица на платну повећава се пад притиска што захтева релативно често чишћење филтера које се проводи вибрирањем (отресањем) платна. Врећасти филтри осигуравају висок учинак одвајања честица различите величине. Прикладни су за погон на температурама до 250°C. У неповољне услове убраја се осетљивост на брзине струјања, релативно велика запремина и релативно кратак век трајања платна (2-3 године) (слика 6).



Слика 5 – Електростатски филтер – суви
Figure 5 – Electrostatic filter – dry

Слика 6 – Врећасти филтер
Figure 6 – Fabric filters

Поред емисија азотних оксида, честица и пепела приликом сагоревања биомасе појављују се и други проблеми изазвани хемијским саставом горива (Van Loo, Koppejan, 2008).

Хлор, којег у слами има знатно више него у дрвеној биомаси доприноси повећању емисија хлороводоника. Хлор се сагоревањем претвара у паре хлороводоника, чистог хлора или хлорида алкалних метала. Смањивањем температуре димних гасова у котлу хлориди алкалних метала кондензују се на честицама летећег пепела. Зависно од концентрације метала (Na, K, Ca, Mg), између 40 и 85% хлора из горива, задржава се у летећем пепелу.

Концентрација тешких метала (Zn, Pb) у гориву значајна је не само због утицаја на корозионе процесе и емисије штетних материја у околину, него и због утицаја на одрживо искоришћавање пепела. Одлагање пепела с повећаним концентрацијама тешких метала је неповољно те се настоје развити такве мере вођења процеса сагоревања које ће смањити концентрацију тешких метала у пепелу који се прикупља испод решетке и на циклонском одвајачу и усмерити таложење већине тешких метала на честице пепела које се одвајају на електростатичком или врећастом филтру.

Пепео сламе, житарице и траве има знатно мање количине тешких метала од пепела насталог сагоревањем дрвета или коре. Разлог онајпре лежи у дуготрајном раздобљу раста дрвећа током којег се тешки метали акумулирају у кори. У разматрању сагоревања важни су и други елементи из горива који формирају пепео и соли: силицијум, калцијум, магнезијум, калијум и натријум. Калијум и натријум у комбинацији с хлором и сумпором играју главну улогу у корозионим механизмима. Због наведених појава пожељно је употребљавати горива са што мањим уделом калијума и натријума.

Закључак

По подацима Републичког завода за статистику РС, укупна количина од 2,7 милиона t је равна 40% укупне производње угља у Србији. Што се тиче дрвених извора, око половине заузима огревно дрво са енергетском вредношћу 240.000 t, а остатак представља садржај који отпада природним путем са дрвећа са енергетском вредношћу од 550.000 t, где чак 42% те масе није тржишно употребљиво, бар за сада. Годишњи принос остатака насталих као нус-производ процеса прераде дрвета износи 350.000 m³, или 66.900 t.

Оно што је карактеристично за поједине државе јесте оскудица или непостојање појединих извора енергије. За добијање онога што недостаје, у историји су се водили бројни ратови. Разлог за то су били вода и храна. Данас главни разлог за то представља енергија. У будућности неопходна је замена необновљивих извора енергије, другим, обновљивим изворима, који су се иначе раније, више користили и којих има у довољној мери да подмире све енергетске потребе. Биомаса ће сигурно постати примарни извор енергије чиме ће ратови за енергију постати историја.

Литература / References

- Evald, A., Witt, J., 2006, Biomass CHP best practice guide, nd.
- Kajba, D., Bogdan, S., Katičić, I., 2007, Selekcija klonova vrba za produkciju biomase u kratkim ophodnjama, *Zbornik II. Međunarodnog skupa OIE u RH*, Osijek, pp.107-112.
- Kopp, R.F., Abrahamson, L.P., White, E.H., Volk, T.A., Nowak, C.A., Fillhart, R.C., 2001, Willow biomass production during ten successive annual harvest, *Biomass and Bioenergy* 20, pp.1–7.
- Obernberger, I., 1998, Decentralised biomass combustion: state of the art and future development, *Biomass and Bioenergy*, 14(1), pp.33-56.
- Stolarski, M., 2008, Willow short rotation coppice, *Central European Biomass Conference*, Graz.
- Stolarski, M., Szczukowski, S., Tworkowski, J., Klasa, A., 2008, Productivity of seven clones of willow coppice in annual and quadrennial cutting cycles, *Biomass and Bioenergy*, 32(12), pp.1227-1234.
- Van Loo, S., Koppejan, J., 2008, *The Handbook of Biomass Combustion and Cofiring*, London, Earthscan.
- <http://www.cogeneurope.eu>(2001. godina)
- <http://www.srbijasume.rs> (2013. godina)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ В ПРОЦЕССЕ КОГЕНЕРАЦИИ

ОБЛАСТЬ: химические технологии

ВИД СТАТЬИ: обзорная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

Резюме:

Республика Сербия обладает большими ресурсами биомассы лесов, излишних древесных отходов деревообрабатывающей промышленности, дров, сельскохозяйственных отходов, а также отходов от строительства и содержания дорог и придорожных сооружений. Строительство когенеративных установок на базе древесной биомассы увеличит объемы использования возобновляемых источников энергии, таким образом, во многом способствуя выполнению целей энергетической политики Республики Сербия. Имеются реальные опасения от использования некачественной биомассы, что может оказать негативное воздействие на производственные параметры когенеративной установки.

За неимением отечественного опыта в данной области, необходимо провести беспристрастный объективный анализ актуальных данных о текущем состоянии внедрения новой технологии, а также анализ данных о работе когенеративных установок на древесной биомассе (Evald, Wutt, 2006, nd).

Ключевые слова: древесина, когенерация, биомасса.

USAGE OF WOOD BIOMASS IN COGENERATION

Milan R. Radosavljević ^a, Vanja M. Šušteršič ^b^a Primary school „17.oktobar”, Jagodina, Republic of Serbia^b University in Kragujevac, Faculty of Engineering,
Department for Energy and Process EngineeringFIELD: Chemical Technology
ARTICLE TYPE: Review Paper
ARTICLE LANGUAGE: Serbian*Summary:*

The potential of biomass in Serbia is large and includes forestry and wood industry residue, firewood, residues from agriculture as well as biomass collected for maintenance of roads and infrastructure. The construction of cogeneration plants in wood biomass will increase the share of renewable energy sources, and will thus contribute to meeting the multiple objectives of the energy policy document. It is reasonable to assume that it will be occasionally necessary to use biomass of low quality which will inevitably affect the operational parameters of cogeneration plants.

In the absence of recent domestic experience, it is necessary to objectively and impartially analyze the information on the current state of technology and information about the operation of cogeneration plants using wood biomass (Ewald,Witt, 2006).

When choosing a location, it is necessary to find a satisfactory compromise between different requirements such as proximity to sources and a possibility of delivering sufficient quantities of biomass, secured access to vehicles, a simple and inexpensive connection to the electricity network , a possibility of water and sewer connection,a possibility of solid fuels disposal, proximity of consumers, ie. that the costs of heat distribution are kept as low as possible.

The approximation of the cost of connection to the electricity grid dependson whether it is a new construction or the existing electricity network.

Serbia is considered to be a medium-forested land. Out of the total area of Serbia's territory, 29.1% is in the woods which is 2.252 million ha (Figure 1). The state-owned area accounts for 1,194,000 ha, or 53%, while 1,058,387 hectares or 47% is privately owned (Figure 2). The forest cover in Serbia is close to the global one which is 30%, and significantly lower than that of Europe which reaches 46%. In relation to the population, the forested area is 0.3 ha per capita (in Russia it is 11.11 ha per capita, 6.93 in Norway, in Finland it is 5.91, 1.38 in BiH and in Croatia it is 1.38 ha per capita).

Wood biomass includes small amounts of sulfur (in the trunk there is only 0.01% , in conifer needles the percent is 0.04 to 0.2% - expressed in percentage by weight of dry fuel). In practice, the combu-

stion of biomass yields very small or negligible amounts of sulfur oxide so that in plants that use only wood biomass as fuel, equipment for the removal of sulfur oxides is not installed as a rule. In the burning process, sulfur builds gaseous compounds SO_2 and SO_3 and alkali sulfates. In boilers where gases are cooled quickly, sulfates condense on fly ash particles or on pipe surfaces. The majority of sulfur is found in ash (40 to 90 %). The effectiveness of the retention of sulfur in ash depends on the concentration of alkali metal (especially calcium) in ash. The effect of sulfur is not so significant for SO_2 emissions, as is its role in the corrosion process.

The nitrogen content in wood biomass is relatively low. The dry tree trunk and the bark contain 0.1-0.5 % of nitrogen, while its content in conifere needles is slightly higher (1-2%). Nitrogen oxides produced during combustion are nitrogen monoxide (NO) and nitrogen dioxide (NO_2), commonly designated as NOx. Approximately 85% of nitrogen oxides formed in the combustion process are thermal NOx (at a temperature of 9,000C). Nitrogen oxides are formed by complex processes depending on combustion technology and temperature. The formation of nitrogen oxides is mostly affected by fuel properties.

According to the Institute of Statistics, the total amount of 2.7 million toe represents 40 % of the total coal production in Serbia. Regarding the wood sources, half of them is firewood with the energy value of 240,000 toe, and the rest is natural waste from trees with an energy value of 550,000 toe, where its 42% is not usable at the market, at least for now. The annual yield of residues produced as a by-product of wood processing is 350,000 m³, or 66,900 toe.

What is characteristic for some countries is the shortage or absence of certain energy sources. Numerous wars were waged in the past to compensate for what was lacking, e.g. water and food. Today, the main reason for this is energy. In the future, it will be necessary to substitute non-renewable sources of energy with renewable resources; they were used more in the past and there are enough of them to cover all energy needs. Biomass is sure to become a primary source of energy, and wars for energy will become history.

Key words: wood, cogeneration, biomass.

Датум пријема чланка / Paper received on: 14. 03. 2014.

Датум достављања исправки рукописа / Manuscript corrections submitted on: 23. 05. 2014.

Датум коначног прихватања чланка за објављивање / Paper accepted for publishing on: 25. 05. 2014.