

THE USE OF THE BIOMASS AS SOLID COMBUSTIBLE

UTILIZAREA BIOMASEI DREPT COMBUSTIBIL SOLID

Tatiana GRÎU, Aurel LUNGULEASA

Transilvania University of Braşov, Romania

Abstract. The paper presents a research in the area of the wood thermal properties. The main aim of the paper consists on determination the thermal proprieties of biomass according to the moisture content of the wood that result from the burning process. The results obtained after biomass researching highlight the efficiency of biomass use like solid combustible for thermal installations. An important conclusion of wood combustion consists in that the wood biomass used in thermal furnaces had to need moisture content about 10-12% and this moisture content not to exceed 20%. Higher moisture content gives low calorific power that will bring to an inefficient using of wood like a solid fuel.

Keywords: biomass, combustion, heat, energy

1. Introduction

The most combustible materials that are used in present in order to produce energy are: fossil combustible (25% - natural gas, 30% - oil, 25% - coal, etc.), which are also the most dangerous forms to produce energy for environment [1]. Therefore, a key criterion on the global energy market becomes only the research and use of the alternative energy source like wind, solar, geothermal, hydro- and biomass.

Biomass, like firewood is used for producing energy since the man discovered the fire, but like renewable energy source it began to highlight from the year 2000. In year 2002, the renewable source of energy (SRE) of European Union has represented about 6% to the total energy consumption in EU-25 [2]. In year 2010, biomass achieves some energy quantities up to 280 TWh. In side of the global energy consumption, the biomass contributes with 14 %, and for about third from the global population of the world represents the main source of energy [3, 4].

At 2010 level, Romania produces energy from biomass at 65% degree from SRE (without hydro energy) using as main raw material: firewood, forest residues, agriculture and municipal residues as different kinds of materials [5].

Moisture content of biomass is considerate a feature with energetically character, that is expressed through the content of water in the dry matter [6, 7, 8]. Moisture content is reported to the initial weight ranging from 10 % for straw to 50-70% to the forest waste. Moisture content of fuels is

Rezumat. Această lucrare prezintă o cercetare în domeniul proprietăţilor termice ale lemnului. Scopul principal al lucrării constă în determinarea proprietăţilor termice ale biomasei în funcţie de conţinutul de umiditate a lemnului, rezultat în urma procesului de ardere. Rezultatele obţinute în urma cercetării evidenţiază eficienţa utilizării biomasei ca şi combustibil solid pentru instalaţii termice. O concluzie importantă a arderii biomasei constă în aceea că masa lemnoasă utilizată în instalaţii termice trebuie să aibă o umiditate în jur de 10-12%, dar să nu depăşească 20%. O umiditatea mai mare va determina puteri calorice mici, care duc la ineficienţa utilizării lemnului ca şi combustibil solid.

Cuvinte cheie: biomasă, combustie, căldură, energie

1. Introducere

Cele mai folosite materiale combustibile în prezent pentru producerea energiei sunt combustibilii fosili (25% - gaze naturale, 30% - petrol, 25% - cărbune etc.), care sunt şi cele mai dăunătoare forme de producere a energiei pentru mediu [1]. De aceea, un criteriu major pe piaţa mondială a energiei a devenit cercetarea şi utilizarea surselor alternative de energie, precum cea eoliană, solară, geotermală, hidro şi biomasa.

Biomasa, sub formă de lemn de foc, se utilizează pentru producerea energiei de când omul a descoperit focul, dar ca sursă de energie regenerabilă a început să se evidenţieze din anul 2000. În anul 2002, sursele regenerabile de energie (SRE) ale Uniunii Europene au reprezentat cca. 6% din consumul energetic total al EU-25 [2]. În 2010, biomasa atinge cantităţi de energie de până la 280 TWh. În cadrul consumului global de energie biomasa contribuie cu cca. 14 %, iar pentru o treime din populaţia lumii aceasta reprezintă principala sursă de energie [3, 4].

La nivelul anului 2010 România a produs energie din biomasă la nivelul de 65% din SRE (fără energie hidro) folosind ca materie primă principală: lemnul de foc, reziduurile forestiere, agricole şi deşeuri municipale diverse [5].

Umiditatea biomasei este considerată o caracteristică cu caracter energetic, care se exprimă prin conţinutul de apă din materialul uscat [6, 7, 8]. Conţinutul de apă raportat la masa iniţială variază de la 10 % pentru paie până la 50-70 % pentru rezidu-urile forestiere. Umiditatea combustibililor

also a property that consumes a large amount of released heat to pass from the liquid state to the steam state, in combustion time. The inefficient use of woody biomass goes to great deforestation of the trees in the world and the problem to rescue the ecosystem remains solved only half. Biomass through trees, plants, is considered the lungs of the planet.

The main objective of this paper is to research the influence of moisture content on the burning process of solid combustible biomass.

2. Studied materials

2.1. Energetically species

Wood is a hygroscopic material which absorbs water during its life time, necessary to grow-up, but when tree is down and exposed to outdoor drying the moisture content decrease [9]. There were researched four native species considerate energetically species, through their higher calorific power, quick growth, widely spread, relatively short period of vegetation and rise on degradation agriculture lands or on derelict land [10].

Willow (*Salix alba* L.) is a plant which grows on land, meadows and in riverbeds. In Romania there are known more than 20 species of *Salix*, which, in the past the craftsmen used canes to produce baskets, furniture, etc., being very well developed in the south [11, 12]. Annual production of Willow is 25-30 t/ha, which can be used for other purposes like production of paper, pharmaceuticals industry, raw material for methanol, furniture and wood construction purposes. Willow is an agricultural plant with energetically and ecologically potential.

Beech (*Fagus sylvatica* L.) is another species with energetically potential in Romania and is widely spread in Romania and Europe [13]. Beech is dense specie used in the field of furniture production. The resulted waste from this specie produces pellets and briquettes, which are energetically product used in thermal furnace [14].

Poplar (*Populus nigra* L.) takes part from broadleaf species, that grows in Romania and in Europe. Poplar trees are used mainly in the paper industry, in regions with a higher pollution degree because they absorb toxic substance emitted by chemical, metallurgical and others industries etc. [15, 16].

Acacia (*Robinia pseudoacacia*) grows spontaneously on almost any type of soil. Acacia lives around of 45 years and takes part from the hardwood trees category and resistant to the

constituie de asemenea, o proprietate care consumă o mare cantitate din căldură pentru a trece din starea lichidă în starea de vapori, în timpul arderii. Utilizarea ineficientă a biomasei duce la mari defrișări de păduri în lume, iar problema salvării ecosistemului rămâne rezolvată doar pe jumătate. Biomasa prin arbori, plante este considerată plămânii planetei.

Obiectivul principal ale lucrării constă în cercetarea influenței umidității asupra arderii combustibilului solid sub formă de biomasă.

2. Materiale studiate

2.1. Specii energetice

Lemnul este un material higroscopic care absoarbe pe timpul vieții apa necesară creșterii, iar în momentul când este doborât și expus uscării în aer liber gradul de umiditate descrește [9]. S-au cercetat patru specii indigene considerate specii energetice prin puterea calorică mare, creșterea rapidă, răspândire, perioadă relativă scurtă de vegetație și creștere pe terenuri arabile degradate sau în paragină [10].

Salcia (*Salix alba* L.) este o plantă care crește pe terenurile agricole, pășuni, în albiile râurilor. Pe teritoriul României se cunosc peste 20 de specii de *Salix*, din care în trecut meșteșugarii foloseau nuielele lor la producerea de coșuri, mobilă etc., fiind foarte bine dezvoltată în sudul țării [11, 12]. Producția anuală de salcie este de 25-30 t/ha, care mai poate fi utilizată și în domeniul producerii hârtiei, industria farmaceutică, materie primă pentru alcool metilic, industria mobilei și lemne de construcții. Salcia este o plantă agricolă cu potențial energetic și ecologic.

Fagul (*Fagus sylvatica* L.) este de asemenea o specie cu potențial energetic în România, fiind larg răspândită pe teritoriul României și în Europa [13]. Fagul este o specie des folosită în domeniul industriei mobilei. Din deșeurile rezultate de la speciile de fag se produc peleți și brichete, care sunt produse energetice folosite la centrale termice [14].

Plopul (*Populus nigra* L.) este un arbore din categoria speciilor de foioase care crește pe teritoriul României și în Europa. Plopul este folosit îndeosebi în industria hârtiei, în regiuni cu un grad ridicat de poluare deoarece absoarbe substanțele toxice emise de către industria chimică, metalurgică etc. [15, 16].

Salcâmul (*Robinia pseudoacacia*) crește spontan pe aproape orice tip de teren. Salcâmul trăiește în jur de 45 de ani și face parte din categoria arborilor de esență tare și rezistent la umezeală.

humidity. Acacia wood is used for various works that are located outdoors, fence posts, mine, railway sleepers, staves, tool handles, lumber, timber flooring in the shipping industry etc. [13].

2.2. Preparation of materials

The wood material of Willow, Beech, Acacia and Poplar are prepared for testing. Samples have surface about 1 cm² with mass of 0.5-0.8 grams; the sample is weighed with 0.0002 g precision. The sample was placed in a porcelain crucible and introduced in a laboratory oven in order to be dried, at a temperature of 103 ± 2 °C for determining the caloric value of anhydrous wood [8]. After drying, the samples were stored in desiccators to cool and the moisture content not to be changed till the sample is introduced in the calorimetric bomb. For determining the calorific value at different moisture contents of the material, samples are exposed in a wet environment, till the samples absorbed the necessary moisture content, then they are introduced into the system for the investigation. For research there have been used samples with 0 %, 20%, 40 %, 50 % moisture content. A main phase consists in the preparation of bomb, by checking the water content, the stirrer, the water in the tank and the level of oxygen pressure in the cylinder.

3. Experimental method

Method of research consists in determination of the calorific power with the Calorimeter Bomb OXY-1C with explosive ignition in an oxygen environment (O₂) and the determination of the moisture content in an oven at 103 °C. The wood moisture is determinate with a laboratory oven which is heated at the temperature of 103 °C. The clean sample is putted in a crucible and exposed to drying in oven for four hours, then weight and cooled in the desiccators. The operation is repeated till the time when the differences between two successive weights are lower than the double of the precision [17, 18].

Theoretically, the calorific power is calculated with the relation (1), through which there are received the calorific power of the wood with different moisture content [19]:

$$Q_w = \frac{Q_o \times (100 - M) - 2.44 \times M}{100} \quad [\text{kJ/kg}], \quad (1)$$

where:

Q_w – wood calorific power of wet sample, in kJ/kg
 Q_o – wood calorific power of oven-dry sample, in kJ/kg
 M - wood moisture content, in %

Lemnul de salcâm este utilizat pentru diverse lucrări care sunt amplasate în aer liber, stâlpi de gard, lemn de mină, traverse de cale ferată, doage, cherestea, parchet în industria navală etc. [13].

2.2. Pregătirea materialelor

Materialul lemnos de salcie, fag, salcâm și plop este pregătit pentru testare. Proba are suprafața de cca. 1 cm² cu masa de 0,5-0,8 grame, fiind cântărită cu o precizie de 0,0002 g. Proba se așează într-un creuzet de porțelan și se introduce într-o etuvă de laborator, în vederea uscării, la o temperatură de 103±2 °C pentru determinarea puterii calorice în stare anhidră a lemnului [8]. După uscare, probele sunt păstrate în exicator pentru răcire și ca să nu-și schimbe conținutului de umiditate până la introducerea în bomba calorimetrică. Pentru determinarea puterii calorice la diferite variații de umiditate a materialului, acestea este expus mediului umed până în momentul în care absoarbe umiditatea necesară, după care este introdusă în instalație în vederea testării. Pentru testare s-au utilizat probe cu umiditatea de 0 %, 20 %, 40 %, 50%. O etapă esențială constă în pregătirea instalației, prin verificarea conținutului de apă din calorimetru, a agitatorului, al apei din cuvă și nivelul presiunii oxigenului din butelia de oxigen.

3. Metoda experimentală

Metoda de cercetare folosită a constat în determinarea puterii calorice cu bomba calorimetrică OXY-1C cu ardere explozivă într-un mediu cu oxigen (O₂) și determinarea umidității prin metoda uscării în etuvă la temperatura de 103 °C. Determinarea umidității speciilor lemnoase se face cu ajutorul etuvei, care este încălzită la temperatura de 103 °C. Proba curată este așezată în creuzet și este expusă uscării în etuvă timp de patru ore, apoi cântărită și răcită în exicator. Operația se repetă până în momentul în care două cântăriri succesive sunt mai mici decât dublul preciziei [17, 18].

Teoretic, puterea calorică în funcție de umiditate este determinată cu relația (1), prin care se poate obține puterea calorică a lemnului cu conținuturi diferite de umiditate [19]:

unde:

Q_w – puterea calorică a lemnului umed, în kJ/kg;
 Q_o –puterea calorică a lemnului la umiditatea 0%, în kJ/kg;
 M – umiditatea prezentă în masa lemnoasă, în %.

During the determination of the higher calorific power, the steams which are condensed inside of bomb recipient releases about 2510.4 kJ for each kilogram of condensed steams [20, 21]. Practically, the higher calorific power cannot be used because the steams are evacuated outside by chimney and only the lower calorific power stay and can be used effectively.

The initial period (“fore”) aims to determine the changes of the water temperature from the calorimeter tank, because of the heat exchange with the outside, before ignition (Figure 1). Principal period (“main”) begins with the sample ignition and aims to determinate the increase of the water temperature in the calorimetric tank, due to the releasing heat to the outside tank. Final period (“after”) aims to determinate the average variation of the temperature in the calorimeter tank due to heat exchange with the outside, after woody burning process.

4. Results and discussions

The ignition of fuel is obtained through interaction of the chemical reaction of fuel elements with the oxygen. The temperature of ignition depends on the nature of the fuel and represent the lowest temperature at which starts the internal combustion – 1 (Figure 1), this value is achieved by computer program like “BASE T” – base temperature and the end of the main period is presented by the point 2. Ignition of the fuel is always preceded by a period of time, which, under the influence of high temperature and other factors, the fuel undergoes decomposition and oxidation processes, which conduct to the starting of the combustion reaction [17].

The sample which contains a high level of moisture has a chart longer, because it requires a longer time to ignite and maintain the burning process. It is evident that the sample is warmed to remove the water and because of this the calorific power is lower, about 13–15 MJ/kg. During the burning process of the sample a part of resulted energy from the chemical reaction is consumed through the evaporation process.

Biomass contains water, what, in a first phase, is released in form of steams when it is warmed. Till present, the moisture to which the calorific power has been reported is that which is contained in the dried wood mass. From this case the lower burning heat decreases when the content of water from sample increase. Practically, the maxim possible water to use the combustible and to extract

În timpul determinării puterii calorice superioare, vaporii de apă care se condensează în recipientul bombei eliberează circa 2510,4 kJ pentru fiecare kilogram de vaporii de apă condensată [20, 21]. Practic, puterea calorică superioară nu poate fi utilizată, pentru că vaporii de apă se evacuează afară prin coș, numai puterea calorică inferioară rămâne să poată fi utilizată efectiv.

Perioada inițială (“fore”) are drept scop determinarea variațiilor de temperatură a apei din vasul calorimetric, datorită schimbului de căldură cu mediul înainte de aprindere (Figura 1). Perioada principală (“main”) începe prin aprinderea probei și are drept scop determinarea creșterii temperaturii apei din vasul calorimetric, datorită cedării de căldură către vasul exterior. Perioada finală (“after”) are drept scop determinarea variației medii a temperaturii apei din vasul calorimetric, datorită schimbului de căldură cu exteriorul, după procesul de ardere.

4. Rezultate și interpretare

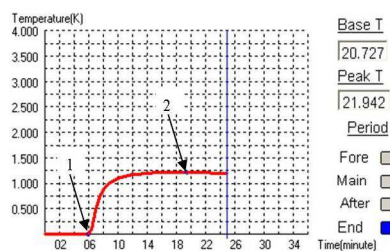
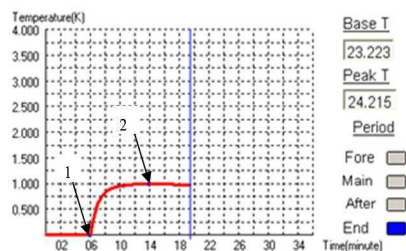
Aprinderea combustibilului este obținută prin reacția chimică de interacțiune a combustibilului solid cu oxigenul. Temperatura de aprindere depinde de natura combustibilului și reprezintă cea mai joasă temperatură la care începe arderea internă – 1 (Figura 1), această valoare este înregistrată de programul calculatorului ca “BASE T” – temperatura de bază, iar prin punctul 2 este prezentat sfârșitul perioadei principale. Aprinderea combustibilului este precedată întotdeauna de o perioadă de timp, perioadă în care sub influența temperaturii înalte și a altor factori, combustibilul suferă procese de descompunere și oxidare, care conduce la declanșarea reacțiilor de ardere [17].

Proba care conține un grad înalt de umiditate prezintă un grafic mai lung deoarece necesită mai mult timp pentru aprindere și pentru menținerea arderii. Este evident că proba este încălzită pentru a reduce conținutul de apă, din această cauză puterea calorică este mai mică, în jur de 13–15 MJ/kg. În timpul procesului de ardere a probelor o parte din energia rezultată din reacțiile chimice se consumă prin procesul de evaporare a apei.

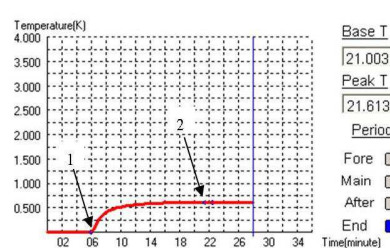
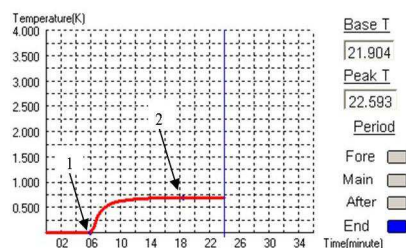
Biomasa conține apă, care într-o primă fază este degajată în formă de vaporii când este încălzită. Până în prezent, umiditatea la care a fost raportată puterea calorică este aceea a masei lemnoase uscate. Din această cauză căldura de ardere inferioară descrește atunci când se mărește conținutul de apă din probe. În practică, conținutul de apă maxim posibil pentru a folosi combustibilul solid și a

energy from must not exceed 20 % (reported to the dried mass). This case is demonstrated in Figure 2, through the obtained results. In the moment when the water content increased, the released heat to the environment decreases and results the inefficient use of the combustible. The result of incomplete combustion of the fuel is given by the forming the monoxide of carbon (CO).

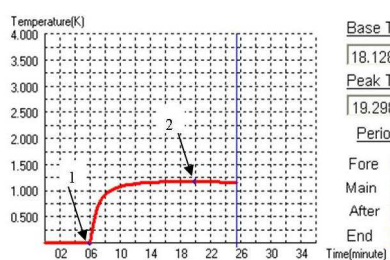
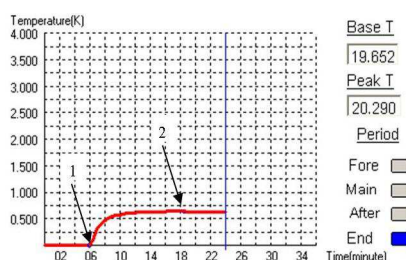
extrage energia din el nu trebuie să depășească 20% (raportat la masa uscată). Acest lucru este demonstrat în Figura 2, prin rezultatele obținute. În momentul în care crește conținutul de apă în probă, descrește căldura cedată mediului și rezultă o folosire ineficientă a materialului. Rezultatul arderii incomplete a combustibilului este dat de formarea monoxidului de carbon (CO).



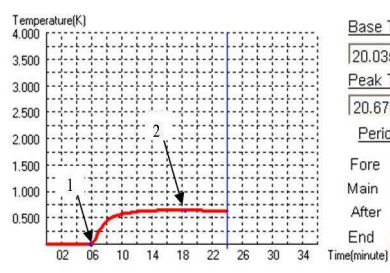
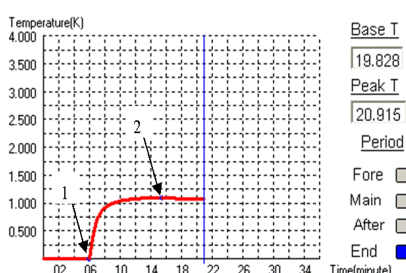
Beech
(*Fagus sylvatica* L.)



Willow
(*Salix alba* L.)



Acacia
(*Robinia pseudoacacia*)



Poplar
(*Populus nigra* L.)

Figure 1. The chart for temperature increases inside of calorimetric bomb (a. dry sample, b. wet sample)
Figura 1. Graficul creșterii temperaturii în bomba calorimetrică (a. proba uscată, b. proba umedă)

With the help of the relation (1), it can determinate the calorific power for a given moisture content of wood combustible of 0%. From obtained results it is observed that the highest calorific power could be obtained for the Willow species, followed by Poplar, Acacia and Beech (Figure 2).

Cu ajutorul relației (1) se poate determina puterea calorică la umiditate dată a materialului știindu-se puterea calorică inferioară a combustibilului pentru conținutul de umiditate 0%. Din rezultatele obținute se observă că cea mai mare putere calorică o prezintă specia de salcie, urmată de plop, salcâm și fag (Figura 2).

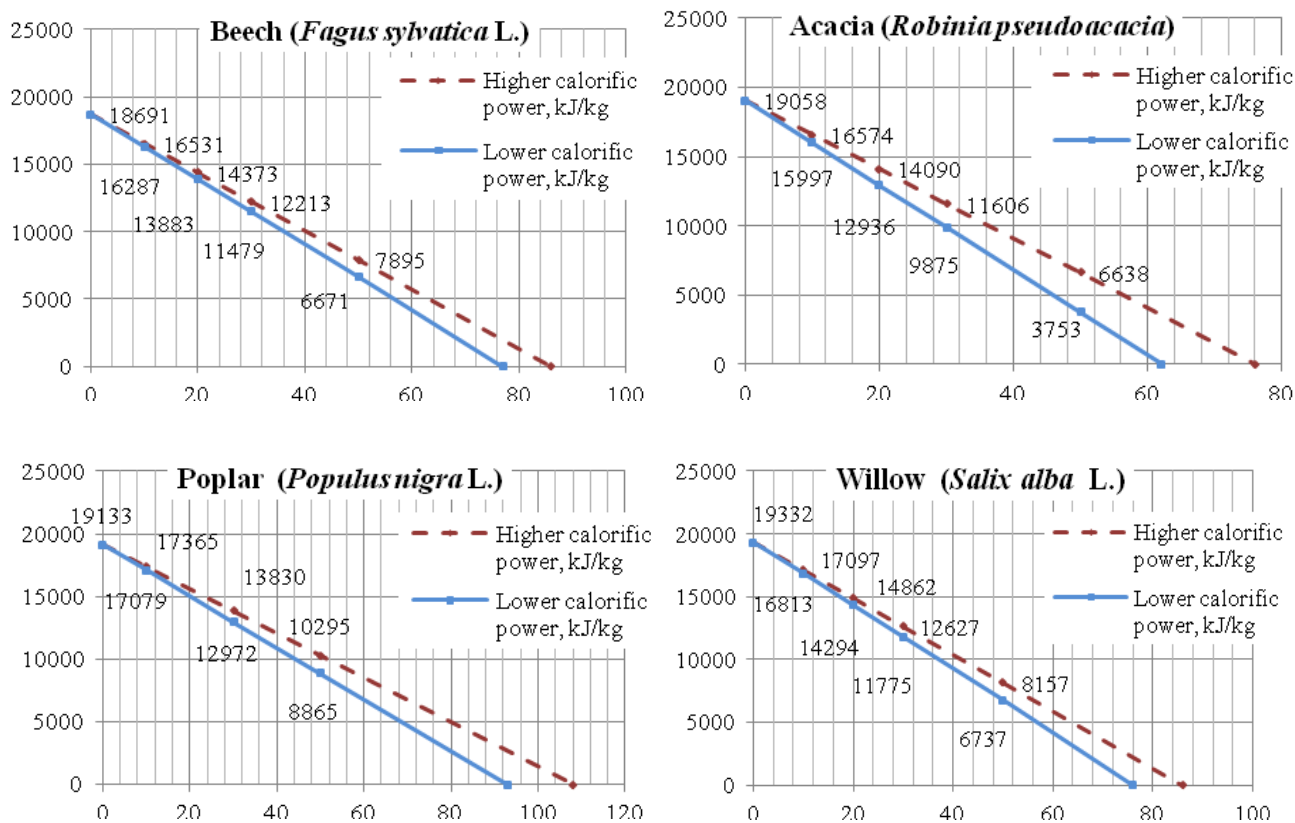


Figure 2. The influence of the moisture content on the wood calorific power
 Figura 2. Influența umidității asupra puterii calorice a lemnului

5. Conclusions

From used species, willow wood is the most efficiently specie to be use as energetically combustible, because it has a high calorific value at higher moisture content of woody biomass. The others three species have presented also closely energetically characteristics. Beech specie is considerate a valuable specie for furniture industry, only from the dust of this specie can be made pellets and briquettes to be used more efficiently. Practically, poplar is a soft material with low density and which can be quickly burn for heat, but it is requiring high material consumption and does not have the power to maintain the heat. From Acacia specie it can use the trunks and tops, because the stems are used mostly in construction.

The moisture in the fuel has effect to absorb a part from the released heat, during the burning process and reduce the available quantity of available heat.

Acknowledgements

The current article benefited by the material and financial support of the Doctoral Department of Transilvania University of Braşov Romania.

5. Concluzii

Dintre speciile utilizate salcia este cea mai eficientă specie pentru a fi utilizată ca și combustibil energetic, prin faptul că prezintă o putere calorică mare la un conținut de umiditate ridicat. Celelalte trei specii au prezentat caracteristici energetice asemănătoare. Specia de fag este considerată specie valoroasă pentru industria mobilei, numai din rumegușul acesteia se pot obține peleți și brichete care pot fi utilizați cât mai eficient. În practică plopul este un material moale cu densitate mică și care arde repede, dar pentru încălzire necesită un consum mare de material și nu are puterea de a menține căldura. De la salcâm se pot utiliza crăcile și vârfurile, deoarece tulpinile sunt folosite cu predilecție în construcție.

Umiditatea în combustibil are efectul de a absorbi o parte din căldura eliberată în timpul procesului de ardere și de a reduce cantitatea de căldură disponibilă.

References

1. Yang, Z. (2010) *Advanced Materials for a Sustainable - Clean Energy Future. Materials in Clean Power Systems*. JOM, ISSN 1047-4838, Vol. 61, no. 4, p. 35, DOI: 10.1007/s11837-009-0049-z
2. Ion, V.I., Ion, D.-I. (2006) *Energie din biomasa (Energy from biomass)*. Theoretical considerations - Energy, Vol. 7, Nr. 38, p.14-30 Available at: http://www.tehnicainstalatiilor.ro/articole/pdf/nr_38/014-030.pdf, Accessed: 12/01/2014 (in Romanian)
3. van der Hoeven, M. (2012) *Technology Roadmap – Bioenergy for Heat and Power*. International Energy Agency Publisher, Paris, p. 68, Available at: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/bioenergy.pdf>, Accessed: 12/06/2013
4. Belanger, D., Gosselin, P., Valois, P., Abdous, B. (2008) *Use of residential wood heating in a context of climate change: a population survey in Quebec (Canada)*. BioMed Central Public Health, ISSN 1471-2458, Vol. 8, no. 184, p.1-13, DOI 10.1186/1471-2458-8-184
5. Baskar, Ch., Baskar Sh., Dhillion S. R. (2012) *Biomass conversion – The interface of biotechnology, chemistry and materials science*. Springer Publisher, London, ISBN 978-3-642-28417-5, p.484
6. Ragland, K.W., Aerts, D.J., Baker, A.J. (1991) Properties of wood for combustion analysis. *Bioresource Technology*, ISSN 0960-8524, Vol. 37, no. 2, p.161-168, Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/0960-8524\(91\)90205-X](http://dx.doi.org/10.1016/0960-8524(91)90205-X), Accessed:15/10/2013
7. Englund, T.E., Thygesen, L.G., Svensson, S., Hill, A.S.C. (2013) *A critical discussion of the physics of wood–water interactions*. *Wood Science Technology*, ISSN 1432-5225, Vol. 47, p.141-161, DOI 10.1007/s00226-012-0514-7
8. Petrovici, V.G., Agache, C.C. (1999) *Chimia și prelucrarea chimică a lemnului: lucrări practice de laborator (Chemistry and chemical processing of wood: practical laboratory works)*. Transylvania University of Brasov, Brasov (in Romanian)
9. Bratasz, L., Kozłowska, A., Kozłowska, R. (2012) *Analysis of water adsorption by wood using the Guggenheim-Anderson-de Boer equation*. *Eur.J.Wood Prod.*, ISSN 1436-736X, Vol. 70, p. 445-451, DOI 10.1007/s00107-011-0571-x
10. Grîu, T., Lunguleasa, A. (2012) *Salix – Renewable energy sources*. The 14th International Conference Scientific Research and Education in the Air Force, May 2012, AFASES Publisher, Brasov, Romania, Available at: <http://web.b.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=22473173&AN=82405333&h=I524UUvGdclMxNBssVTITnwKzrtk72lo9xvZzXxjraBNBdIOYXx5JH0Spyff0BY2iiHXjFT7RFGy33H0CQpMQ%3d%3d&crl=c>, Accessed: 15/11/2013
11. Curtu, L., Șofletea, N. (2000) *Dendrologie – Determinarea și descrierea speciilor. (Dendrology – Determination and description species*. Vol. I, "Pentru Viață" Publisher, ISBN 973-99456-1-9, Brasov, Romania (in Romanian)
12. Karp, A., Hanley, J.S., Trybush, O.S., Macalpine, W., Pei, M., Shield, I. (2011) *Genetic improvement of Willow for Bioenergy and Biofuels*. *Journal of Integrative Plant Biology*, Vol. 53, no. 2, p.151-165, DOI 10.1111/j.1744-7909.2010.01015.x
13. Beldeanu, C.E. (2004) *Specii de interes sanogen din fondul forestier (Species of interest in the forest proper behaviour)*. Transilvania University of Brasov Publisher, ISBN 973-635-380-X, Brasov, Romania (in Romanian)
14. Verma, V.K., Bram, S., de Ruyck, J. (2009) *Small scale biomass systems: standards, quality labelling and market driving factors - An EU outlook*. *Biomass and bioenergy*, ISSN 0961-9534, Vol. 10, p. 1393-1402, Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.06.002>, Accessed:15/08/2013
15. Lunguleasa, A. (2003) *Identificarea lemnului (Wood indentification)*. Transilvania University Publisher, ISBN 973-635-156-4, Brasov, Romania (in Romanian)
16. Brilli, F., Gioli, B., Zona, D., Pallozzi, E., Zenone, T., Fratini, G., Calfapietra, C., Loreto, F., Janssens, I.A., Ceulemans, R. (2014) *Simultaneous leaf - and ecosystem-level fluxes of volatile organic compounds from a poplar-based SRC plantation*. *Agricultural and Forest Meteorology*, ISSN 0168-1923, no. 187, p.22-35, Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.11.006>, Accessed: 5/11/2013
17. Lunguleasa, A., Costiuc, L., Patachia, S., Ciobanu, V. (2007) *Combustia ecologică a biomasei lemnoase (Ecological combustion of wooden biomass)*. Transilvania University Press, ISBN 978-973-598-194-5, Brasov, Romania (in Romanian)
18. DIN 51900-1 (2000) *Determining the gross calorific value of solid and liquid fuels using the bomb calorimeter, and calculation of net calorific value – Part I: General information*. Deutsches Institute für Normung
19. Fasciscato, V., Antonini, E., Bergomi, L.Z., Metschina, C., Schnedl, C., Krajnc, N., Kosciak, K., Gradziuk, P., Nocentini, G., Stranieri, S. (2009) *Wood fuels handbook*. AIEL – Italian Agriforestry Energy Association Publisher, Italy, Available at: http://www.aebiom.org/IMG/pdf/WOOD_FUELS_HANDBOOK_BTC_EN.pdf, Accessed: 27/11/2013
20. Dihoiu, N. (1995) *Curs de fizică moleculară și căldură (Molecular Physics and Heat Course)*. Vol. 1, Transilvania University of Brasov, Brasov, Romania (in Romanian)
21. Panwar, N.L., Kothari, R., Tyagi, V.V. (2012) *Thermo chemical conversion of biomass. Eco friendly energy routes*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ISSN 1364-0321, Vol. 16, no. 4, p. 1801-1816, Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.024>, Accessed: 15/10/2013

Received in December 2013
(and revised form in February 2014)

Lucrare primită în Decembrie 2013
(și în formă revizuită în Februarie 2014)