

ЕФЕКТИВНОСТ НА ПРОЦЕСОТ НА ГОРЕЊЕ НА РАСТИТЕЛНА БИОМАСА

Николај ЈОСИФОВ, Јулија МИХАЈЛОВА, Борче ИЛИЕВ, Јосиф ДИМЕСКИ¹⁾

АПСТРАКТ

Процесот на горење на растителната биомаса е важен фактор при определување на неговата ефективност. Во таа насока, во трудот е разработена суштината на процесот на горење на биомасата, како и стадиумите на горењето. Обработени се испарливите и другите материји кои се формираат при оксидацијата на биоенергетските горива. Дадени се базични сознанија за вишокот на воздух при горењето, како и еколошките проблеми при согорувањето на биоенергетските горива.

Проучувањата покажаа дека, биоенергетските горива се еколошки чисти и не ја загадуваат околната средина. Во процесот на горење согоруваат до максимален степен ослободувајќи релативно мали количества на штетни отпадни материји.

Клучни зборови: горење, ефективност, растителна биомаса, биоенергетски горива.

1. СУШТИНА НА ПРОЦЕСОТ НА ГОРЕЊЕ

Процесот на горење треба да овозможи висок степен на користење на калоричноста на горивото преку негово целосно согорување. Освен тоа, при горењето треба да се сведе до минимум загадувањето на животната средина. Целосното согорување без штетни емисии при согорување на биоенергетските горива е важен услов за нивното користење како еколошки горива.

За нормално течење на горивниот процес е неопходно да бидат задоволени два основни услова (Flaster, 1989):

1. Да се обезбеди постоење на соодветна смеса од гориво и кислород (воздух) во контролиран меѓусебен однос.
2. Да се обезбеди непрекинато горење, односно од започнатиот горивен процес да се оддава дел од добиената топлотна енергија кон додаваното гориво.

Кај горивниот процес на биомасата, за разлика од јаглените, се одделуваат многу испарливи состојки (околу 85%), но за тие гасовити материји е неопходен кислород, за да изгорат до јаглероден диоксид и водена пара. Поточно, при согорувањето на лигно-целулозната биомаса ($C_kH_mO_n$) освен појавата на продуктите CO_2 и H_2O , се добива пепел и евентуално SO_2 . Тврдите продукти на согорувањето (како пепел) при дрвените горива изнесуваат околу 2%, а кај житната слама до 6%. При тоа е важно да се знае, дека над 80% од топлотната енергија доаѓа од пламените на горивните гасови и под 20% од тврдите материји (тлеечки јаглен).

Од суштинско значење за горивниот процес е при мешање на горивото и воздухот да се постигне добар контакт. Колку е подобар тој контакт, толку побрзо и целосно протекува горивниот процес. Тоа се постигнува споредбено лесно кај природниот гас и течните горива, но при крупните тврди горива е неопходно да се

¹⁾ Д-р Николај Јосифов, професор во пензија, Лесотехнически универзитет, Софија, Република Бугарија
Д-р Јулија Михајлова, доцент, Лесотехнически универзитет, Софија, Република Бугарија
Д-р Борче Илиев, вонреден професор, Шумарски факултет, Скопје, Република Македонија
Д-р Јосиф Димески, редовен професор, Шумарски факултет, Скопје, Република Македонија

зголеми контактната површина преку раздробување (уситнување на крупните тврди горива). Така на пример, фините (ситните) дрвени честички, во основа дрвената прашина, побрзо и целосно согоруваат, поради тоа што имаат поголема контактна површина. Од друга страна, во колку големината на честичките е поголема, во толку е продолжен горивниот процес, што е позитивен ефект при затоплување со печки и камини. Практично, лигно-целулозните биоенергетски горива се наоѓаат на пазарот во вид на дрва за огрев, енергетски сечки, брикети и пелети. Поради тоа се разработени специјални уреди за горење на тврди лигно-целулозни горива.

При согорување на влажно биоенергетско гориво дел од енергијата се троши за испарување на водата. Се смета, дека при излезна температура од 25°C специфичната топлина за испарување на водата е 2,44 MJ/kg. Поради тоа, горивата со повисока содржина на вода имаат пониска долна енергетска вредност (Q_{ld}). При содржина на вода во биомасата над 50% одржувањето на непрекинат горивен процес станува многу тешко.

За да се надминат негативните последици врз квалитетот на горивниот процес, при користењето на тврди биоенергетски горива е пожелно да се проектираат специјализирани горивни комори, прилагодени на димензиите и содржината на вода на горивата.

Ефективноста на процесот на горење на бимасата зависи од редица фактори, како:

- содржина на вода во бимасата;
- содржина на пепел во бимасата;
- дисперзионен (фракционен) состав на раздробената биомаса;
- соодветност на конструкцијата на уредот за согорување и видот на употребената биомаса;
- оспособување на печка за согорување на биомаса со висока содржина на пепел.

За различните видови на биомаса ефективноста на процесот на горење зависи од нивниот хемиски состав. Во табела 1 се дадени горивните карактеристики на некои видови лигно-целуозна биомаса.

Констатирано е исто така (Голков и сор., 1987), дека во колку е повисок квалитетот на топлотната енергија која се одделува при согорување на бимасата, во толку е поефективна работата на парните водогрејните котли. При тоа квалитетот на топлинската енергија зависи од производството на жар (температурата на согорување) на горивото.

2. СТАДИУМИ НА ГОРЕЊЕТО

Согорувањето на растителните (главно лигнуцелулозни) биоенергетски горива опфаќа редица физичко-хемиски процеси - од сушењето преку гасификацијата до оксидација на запалливите гасови и тврдиот јаглерод (јаглен). Без достап на воздух можат да настапат локални процеси на пиролиза, наместо процеси на гасификација. Кога ќе се поопшти најсуштинското за горивниот процес во неподвижен горивен слој, може да се определат три основни стадиуми на горењето:

1. сушење;
2. гасификација и горење;
3. согорување на дрвенот јаглен.

Според Hartmann и сор. (2003) при горењето на растителни биогорива може да се опишат соедните стадиуми:

- загревање на горивото преку појава на пламен, жар или загреани слоеви;
- сушење на горивото преку испарување и одведување на водата од површинскиот слој при температура од околу 100°C;
- пирогенетичко разложување на горивото, кое не содржи вода преку делување на температура од околу 150°C;

- гасификација на тврдиот јаглен со јаглероден диоксид (CO_2), водена пара и кислород до јаглероден моноксид при температура приближно 500°C ;
- оксидација на запалливите гасови со кислород до јаглероден диоксид и вода при температура од околу 700°C до околу 1400°C (реална), соодветна на теоретската околу 2000°C ;
- оддавање на топлотна енергија од пламенот на обиколните грејни сидови и на новодоставеното гориво.

Табела 1. Горивни карактеристики на различни видови биомаса
Table 1. Combustible characteristics of different type biomass

Хемиски елементи и показатели Chemical elements and indicators	Ознаки и димензии Marks and dimensions	Дрвени енергетски сечки Wood energetic particles	Слама (пченична) Straw (wheat)	Дрвени видови / Wood species		
				Бука / Beech	Бел бор / White pine	Смрча / Picea
Јаглерод Carbon	C, %	50,0	47,4	49,3	51,0	50,9
Водород Hydrogen	H, %	6,2	6,0	5,8	6,1	5,8
Кислород Oxygen	O, %	43	40	43,9	42,3	41,3
Азот Nitrogen	N, %	0,3	0,6	0,22	0,10	0,39
Сулфур Sulfur	S, %	0,05	0,12	0,04	0,02	0,06
Хлор Chlorine	Cl, %	0,02	0,40	0,01	0,01	0,03
Пепел Ash	A, %	1,0	4,8	0,7	0,5	1,5
Испарливи компоненти Evaporation components	%	81	81	83,8	81,8	80,0
Долна енергетска вредност Low energy values	Q_{m0} , MJ/kg	19,4	17,9	18,7	19,4	19,7
Типична содржина на вода Common water content	U_a , %	35÷45	10÷15	/	/	/
Долна енергетска вредност при $U_a=12\%$ Low energy values at $U_a=12\%$	Q_{m12} , MJ/kg	9,7÷11,7	14,8÷15,8	/	/	/

Суштинскиот процес на горење започнува со истовремено протекување на два процеса - површинска пиролиза (загревање на горивото без додавање на гасификациони предуслови, т.е. кислород и вода) и зголемување на температурата во внатрешните слоеви, спроведено со испарување на влагата. Така, додека горивните честички одвнатре се уште се сушат, однадвор веќе започнува пиролизно разградување на составните елементи на лигно-целулозното гориво, кое што се предизвикува од взаемното дејство на повисоката температура од околу 150°C . Доаѓа до разградување на долгите синџири на органските соединенија, од кои што е составена лигно-целулозната биомаса, до соединенија со куси синџири, при што се формираат запалливи гасови како CO и гасовити јаглеводороди (C_kH_m), како и масла (катрани) од пиролизата. При тоа, со постепено испарување на водата, пиролизната зона во горивото се продлабочува.

Одделениот гас како резултат на пиролизата се запалува над горивото и започнува да оддава топлотна енергија за продолжителните процеси на испарување и пиролиза. За обезбедување на непрекинат процес со одделување на топлотна енергија од формираните запалливи гасови, неопходно е во местото на пиролизното разградување да се внесува кислород од воздухот - т.н. "првичен воздух". При тој

делумен процес неопходната енергија се добива од непотполното протекување на реакциите со кислородот на гасовитите продукти од пиролизата.

Потоа, под влијание на делумно насочено додавање на кислород од воздухот ("вторичен кислород") се добива повеќе или помалку полна оксидација на одделните гасовити продукти CO и C_kH_m , при што преку формирањето на меѓупродукти, например водород, се добиваат CO_2 и H_2O . Разградувањето на јагленоводородите се случува, кога се формира меѓупродуктот CO , кој што понатаму оксидира до CO_2 . Во тој стадиум горењето се катализира и станува егзотермично, при што се формираат светлосни и топлотни зраци, изразени со видлив пламен.

Топлотната енергија од оксидационите реакции се троши, од една страна за протекување на ендотермичките процеси - загревање и сушење, а од друга страна - за пиролизно разградување.

Освен оксидирањето, изразено со формирање на пламен, согорувањето без пламен кај биоенергетските тврди горива е исто по значење. Таа форма на оксидација настапува во крајниот стадиум на горењето. По одделувањето на испарливите гасови тврдото биоенергетско гориво, например дрвото, се трансформира во тлеечки дрвен јаглен, кој што под дејство на кислородот гори, додека не остане само пепел.

Пепелта претставува смеса од негориви компоненти на биогоривото (минерални соли) и загадувачи. Специфичниот квалитет на пепелта претставува нејзина топлоакумулациона способност. Пепелниот слој на дното на печките за дрва формира загреана површина, која што додава топлина за конечно согорување на дрвениот јаглен. При горивните системи во вид на скара пепелниот слој игра улога на заштита на скарата од топлината на пламените.

3. ИСПАРЛИВИ И ДРУГИ МАТЕРИИ КОИ СЕ ФОРМИРААТ ПРИ ОКСИДАЦИЈАТА НА ГОРИВАТА

Биоенергетските лигно-целулозни горива содржат околу 80% испарливи материи. Тоа се оние компоненти од лигно-целулозната биомаса, кои што се одделуваат при горивниот процес како запалливи гасови, додека останатиот дел се трансформира во дрвен јаглен.

Материите формирани при согорувањето на биоенергетското гориво можат да се поделат на испарливи материи, добиени од потполно и непотполно согорување, како и на штетни материи од микроелементите, адекватни на горивните отпадни загадувачи.

Материите од потполната оксидација на основните компоненти на горивата (C , H и O) се јаглородниот диоксид (CO_2) и водородните пари (H_2O). За биогените горива тие се еколошки чисти. Појавата на висока содржина на испарливи материи од тој вид покажува, дека повеќе горивен воздух треба да се додава над слојот гориво (вторичен воздух), каде што согоруваат гасовите, а не под слојот гориво (првичен воздух).

Материите од непотполната оксидација на основните компоненти на горивото главно се: јаглороден моноксид (CO), јаглеводороди (C_kH_m катрани), саѓи (горивни делови од прашкастите емисии).

Јаглородниот моноксид е гас без мирис и се употребува како индикатор за квалитетот на горењето. Јаглеводородите се со значително повисок ризик за околината и за човечкото здравје, а освен тоа го заситуваат воздухот со непријатен мирис. Саѓите претставуваат речиси чист прашкаст јаглород, кој што често пати е сокриен.

Причините за непотполното горење ретко се кријат само во недоволниот пристап на кислород. Често пати температурата при горењето во зоната за оксидација е надоволно висока и реакциите протекуваат бавно. Тоа се случува кога се користи многу влажно гориво.

До непотполно горење доаѓа и кога времето, при кое реакционите материи престојуваат во горивната зона, е многу кусо (лошо димензионирана горивна комора).

4. ВИШОК НА ВОЗДУХ ПРИ ГОРЕЊЕТО

За дадено гориво е неопходно точно определено количество на воздух (кислород) за неговата стехиометрична реакција, при што коефициентот на вишок на воздух (v) е рамен на единица (Gamborg, 1998). Тоа е валидно при идеални услови. Во праксата горењето секогаш протекува при некаков вишок на воздух, затоа што при стехиометричното количество на воздух не е можно да се постигне потполно горење.

Најдобро е горењето на дрвото при коефициент на вишок на воздух меѓу 1,4 и 1,6. Во таков случај содржината на кислород во димните гасови е 7,5%. При таа вредност јаглеродниот диоксид е приближно 13%, а коефициентот на вишок на воздух-1,5. Во табела 2 се дадени типично употребувани вредности за v , како и соодветната содржина на кислород во димните гасови.

Табела 2. Типични вредности за коефициентот на вишок на воздух и на содржината на кислород во сувите димни гасови
Table 2. Typical values of coefficient of surplus of air and content of oxygen in dry fumes gas

Вид на огништето и горивото Type of fireplace and fuel	Коефициент на вишок на воздух, v Coefficient of surplus of air, v	Кислород во сувите димни гасови, % Oxygen in dry fumes gas, %
Отворено огниште Open fireplace	>3	>14
Печки за дрва Stoves	2,1÷2,3	11÷12
Дрвени сечки Wooden particles	1,4÷1,6	6÷8
Дрвени пелети Wooden pellets	1,2÷1,3	4÷5
Дрвна прашина Wooden dust	1,1÷1,2	2÷3

Како што покажуваат вредностите во табелата вишокот на воздух зависи во голем степен од употребената горивна технологија, а исто така и од карактеристиките на горивото.

При додавање на повеќе кислород се појавува кислород во димните гасови. На пример, при $v=2$, додадениот воздух е два пати повеќе од потребниот за горење при идеални услови.

5. ЕКОЛОШКИ ПРОБЛЕМИ ПРИ СОГОРУВАЊЕТО НА БИОЕНЕРГЕТСКИТЕ ГОРИВА

При горењето се формираат емисии на гасови и пепелни супстанции, дел од кои што се штетни, како за околната средина, така и за човечкото здравје. При потполното согорување на биоенергетските горива се формираат споредбено нештетните гасовити емисии на јаглероден диоксид и водена пара. На пример, во споредба со јаглените, при согорувањето на дрвените брикети се одделуваат значително помалку штетни материи (табела 3.).

Потполното согорување води до формирање на штетни емисии како јаглероден моноксид (CO), јагленороди, полиароматични јагленоводороди (ПАЈ) и мала количина неизгорен јаглерод во згурата. Ниски вредности на тие емисии се гарантираат при ефективно согорување на горивата, т.е. при висока температура, вишок на воздух, доволно време за согорување на соодветната смеса. Треба да се знае, дека при гореспоменатите услови се формираат азотни оксиди (NO_x), кои што

исто така се штетни за околната средина. Тоа значи, дека треба да се користи соодветна технологија (горивен систем) и метод за намалување на азотните оксиди.

Табела 3. Гасовити емисии и тврди материи, одделени при согорување на 1 тон гориво

Table 3. Emission of gas and hard matters, separated with combustion of 1 tone fuel

Вид на гориво Type of fuel	Пепел, kg Ash, kg	SO ₂ , kg	N ₂ O ₅ , kg	CO ₂ , kg
Кафеав јаглен Brown coal	26,5	30	5	40
Дрвени брикети Wooden briquettes	0,3	1	1,8	1
Однос на вредностите - кафеав јаглен према дрвени брикети Value ratio - brown coal to wooden briquettes	88 пати / times	30 пати / times	2,7 пати / times	40 пати / times

Загадувачи на атмосферскиот воздух се димните гасови, кои се формираат при согорување на горивата. Нивниот состав е променлив и содржи CO₂, воздух и водени пари, а исто така и определени количини непожелни продукти на горењето, како например CO, јаглеводороди, ПАЈ, NO_x и др.

Пепелта содржи, освен минерални фракции на калиум (K), натриум (Na), форфор (P), калциум (Ca) и магнезиум (Mg), исто така и тешки метали, кои што имаат непријатен ефект врз околната средина. Содржината на тешките метали и дрвената пепел е значително помала во споредба со тврдите фосилни горива.

6. ДИСКУСИЈА И ЗАКЛУЧОК

Процесот на горење зависи од смесата меѓу горивото и кислородот во контролиран меѓусебен однос. Исто така, врз процесите на горењето суштинско влијание има и количината на вода во горивото и неговиот елементарен хемиски состав.

Проучувањата покажаа дека, ефективноста на процесот на горење на рестителната бомаса, освен од влажноста и хемискиот состав на горивото зависи: од содржината на неоргански материи во бимасата, од фракциониот состав на раздробената биомаса, од конструкцијата на уредот за согорување.

Оксидационите процеси при согорување на горивата се од суштинско значење. Материите кои се формираат при согорувањето на биогоривото се делат на испарливи материи добиени со потпорно и непотполно согорување на горивото, како и на отпадни материи од микроелементите. Овие материи се штетни и спаѓаат во групата на загадувачи. Констатирано е дека, материите добиени како продукт на потполната оксидација на основните компоненти на горивата се еколошки чисти. Со ова се потврдува еколошката димензија на биоенергетските горива.

Податоците од таб. 3 даваат јасна претстава за еколошките предности на биоенергетските горива во однос на класичните фосилни горива. Податоците покажуваат дека, количините на отпадни штетни материи изразени во kg кои се остануваат при согорување на кафеав јаглен во однос на тие кај дрвените брикети се поголеми од 2,7 до 88 пати. Тоа една од предностите на биоенергетските горива во однос на класичните фосилни горива.

На крај може да се констатира дека, биоенергетските горива претставуваат еколошки чисти горива, кои во основа ги задовулуваат строгите критериуми во областа на енергетиката. Имаат просечна топлотна моќ и не ја загадуваат околната средина. Во процесот на горење тие согоруваат до максимален степен ослободувајќи релативно мали количества на штетни отпадни материи.

Може да се каже дека, денес биоенергетските горива можат да бидат супституција за класичните фосилни горива. Во иднина овие горива ќе добијат на значење.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Божинов, Я. (2003): Възобновяеми енергийни източници, Народен будител, Варна.
- [2] Димески, Ј., Илиев, Б. (2002): Минимизирање и рециклажа на отпадот, II дел, Шумарски факултет, Скопје.
- [3] Йосифов, Н. (2005): Брикети и пелети от растителна биомаса, Издателство "Св. Климент Охридски", София.
- [4] Gamburg, G. (1996): Skovbugsserien od energisskov-produktion, milgo od ekonomi, Skovbrugsserien, No. 17, Horssholm.
- [5] Hartmann, H., Thuneke, K., Holdrich, A., Rossmann, P. (2003): Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen, Guzlow.
- [6] Soos, L., Borsekova, I., Rafaj, P., Gregor, R. (2000): Drevny otpad C. Snim.-Energeticke centrum Bratislava.
- [7] Yossifov, N., Blaskova, G., Mihailova, J., Valchev, I. (2003): Waste and residuals from forestry wood processing and wood utilization in Bulgaria, Seventh international seminar "Low pollutant combustion processes".

EFFECTIVENESS OF THE COMBUSTION PROCESS OF PALNT BIOMASS

Nikolay YOSSFIOV, Julia MIHAILOVA, Borce ILIEV, Josif DIMESKI¹⁾

SUMMARY

The biomass burning process is an important element when determination of its efficiency is analyzed. Taking this fact in consideration, this paper elaborates the biomass burning process at whole and separate phases during burning. The evaporated and other materials have been analyzed, which are products during the oxidation of bioenergetics fuel. Also, there are some basic facts about the air surplus during the burning process and the ecological problems that appear during the burning of bioenergetics fuel.

The results of these analyses has shown that the effectiveness of the biomass burning process depends, not only of the humidity and chemical elements, but also of the content of inorganically elements in the biomass; than of the fraction compound of the biomass and of the construction of the stove element.

The oxidation during burning process plays very important role. The elements, which develop within bioenergetic burning process comprise evaporation elements and waste elements of the microelements. They are harmful and can be classified as polluters. Only the elements which are product of full oxidation process can be classified as ecological clean elements. This fact is the foundation for promoting the positive ecological point of bioenergetics fuel.

The ecological advantages of the bioenergetics fuel instead of classic fossil fuels are shown at table 3. The data at this table show that the quantities of the waste harmful elements (kg) which are appearing at the burning of brown coal are higher from 2,7 to 88 times, instead of the quantities during burning of wooden briquettes. That is one of the most important advantages of the bioenergetics fuel, comparing the classic ones.

The main conclusion is that the bioenergetics fuel are ecological pure fuels, which has average hot power and they are not polluting the environment. During the burning process they are fully burning and there are only small quantities of harmful elements as products of this process.

So, this kind of fuels can be a substitute for classic fossil fuels and in the future their importance should increase.

Key words: combustion, effectiveness, plant biomass, bioenergetics fuel.

¹⁾Nikolay Yossifov, Ph.D., professor in pension, University of Forestry, Sofia, Republic of Bulgaria
Julija Mihajlova, Ph.D., associate professor, University of Forestry, Sofia, Republic of Bulgaria
Borce Iliev, Ph.D., associate professor, Faculty of Forestry, Skopje, Republic of Macedonia
Josif Dimeski, Ph.D., full professor, Faculty of Forestry, Skopje, Republic of Macedonia