

Изследвания за определяне на гориво-техническите характеристики на продукти от растителна биомаса

Грета Събева, Никола Цветков, Силвия Бойчева, Петьо Гаджанов, Никола Станков

Резюме: В настоящата статия са представени експериментално получени резултати свързани с определяне гориво-техническите характеристики на продукти от растителна биомаса. Определена е топлината на изгаряне при различно съдържание на външна влага. Определени са и основните баластни характеристики – съдържание на пепел и влага. Направен е сравнителен анализ на установените стандарти за качество на дървесна биомаса и е проверено съответствието на експериментално определените характеристики с тези от съответните стандарти.

Surveys to determine the fuel- technical characteristics of products of plant biomass

G. Sabeva, N. Zvetkov, S. Boycheva, P. Gadjanov, N. Stankov

Abstract: in the current article are presents experimental obtained results for determination of fuel-technical characteristics of products of plant biomass. Determination a calorific value on different content of external moisture. Defined are and basic ballast characteristics - ash and moisture. A comparative analysis of established standards of quality for woody biomass and verified conformity experimentally determined characteristics with those from relevant standards.

1. Въведение

Ефективното изгаряне на растителната биомасата е предпоставка за използването ѝ като екологично гориво. Освен високата степен на оползотворяване на топлината енергия, при процеса на горене не трябва да се формират вредни емисии извън лимитираните стойности. В най-голяма степен тези изисквания зависят от качествата на биомасата. В бита и промишлеността практическо приложение намират следните видове биомаса: дърва за огрев, енергийни дървесни трески, дървесна кора, дървесни пелети, дървесни брикети и др.

Най-важният показател за характеризиране на дървесината като гориво е нейната долна толина на изгаряне (Q_f^r). Дървесината от твърдите широколистни дървесни видове (дъб, бук, габър и др.) е по-плътна и независимо, че топлотворната ѝ способност е по-ниска, отделя топлина за по-дълго време, поради което е предпочитана за изгаряне в отоплителни системи. Толината на изгаряне на дървесината в голяма степен зависи от нейната влажност. Съдържанието на влага в биомасата намалява Q_f^r , тъй като част от енергийния ѝ запас се изразходва за нейното изпарение.

Плътността на дървесината е от важно практическо значение, както за транспортирането, така и за някои физикомеханични качества, като в най-голяма степен зависи от влажността и от дървесния вид. В практиката се различава плътност на дървесината в сурово състояние, въздушно сухо състояние и абсолютно сухо състояние.

В дървесината се съдържат и известни количества минерални вещества, които при изгарянето ѝ се отделят като пепел.

2. Качество на биомасата

Качеството на биомасата се определя от топлината на изгаряне, съдържанието на влага и пепел.

През 2011г. в Р. България са въведени следните стандарти [1] :

- БДС EN 14961-2:2011 – Твърди биогорива. Спецификации и видове горива. Част 2: Дървени пелети за непромишлени нужди.
- БДС EN 14961-3:2011 – Твърди биогорива. Спецификации и видове горива. Част 3: Дървени брикети за непромишлени нужди.
- БДС EN 14961-4:2011 – Твърди биогорива. Спецификации и видове горива. Част 4: Дървени стърготини за непромишлени нужди.

2.1 Качество на дървесните пелети

Дървесните пелети са горивен продукт, формиран чрез сухо пресоване на дървесна отпадъчна биомаса без добавяне на свързващи вещества. За производството им се използват главно отпадъци от иглолистни и широколистни дървесни видове. Може да се използват и отпадъци от селскостопанското производство.

С приемането на новия стандарт на ЕС за дървесни пелети (EN 14961-2) през 2010 г. се въвежда нов сертификат „Enplus“, за пелети използвани в котли за битова употреба и EN-B за промишлени пелети, използвани в промишлени котли. Този сертификат дефинира два класа за качество: A1 и A2. За клас A1 са въведени най-строги ограничения за съдържание на пепел в пелетите ($\leq 0,7\%$); докато за клас A2 съдържанието на пепел е до 1,5 % [2] - таблица 1. За промишлените пелети сертификата EN-B е със значително намалени ограничения. Въвеждането на единен стандарт за качество на битови и промишлени пелети ще позволи ясно отчитане на потреблението и качеството на продукцията.

Таблица 1. Европейски стандарти за качество на пелетите

Параметри	Измервателни единици	ENplus-A1	Enplus-A2	EN-B
Диаметър	mm	6(± 1); 8 (± 1)		
Дължина	mm	3,15 $\leq L \leq$ 40,00		
Насипна плътност	kg/m ³	≥ 600		
Калоричност	MJ / kg	$\geq 16,5-19,0$	$\geq 16,3-19,0$	$\geq 16,0-19,0$
Влажност	%	≤ 10		
Пепел	%	$\leq 0,70$	$\leq 1,50$	$\leq 3,50$
Съдържание на сяра	%	$\leq 0,03$	$\leq 0,03$	$\leq 0,04$
Съдържание на азот	%	$\leq 0,30$	$\leq 0,30$	$\leq 1,00$
Съдържание на хлор	%	$\leq 0,02$	$\leq 0,02$	$\leq 0,03$
ENplus за пелети, използвани в котли за битова употреба; EN-B за промишлени пелети, използвани в промишлени котли.				

2.2 Качество на дървесните брикети

Екобрикетите са екологично чисто твърдо гориво, произведено от натурални дървени стърготини. Те се произвеждат (пресоват) под високо налягане без да се използват свързващи вещества. Екобрикетите се използват като самостоятелно гориво, а също и в комбинация с дърва. Производството им осигурява оползотворяване на дървесните отпадъци и допринася за опазване на околната среда. Основните характеристики на дървесните брикети според стандарта БДС EN 14961- 3:2011 са дадени в таблица 2.

Таблица 2. Европейски стандарти за качество на дървесните брикети

Клас	A1	A2	B
Влажност, %	$M12 \leq 12$	$M15 \leq 15$	$M15 \leq 15$
Пепел, %	$A0.7 \leq 0.7$	$A1.5 \leq 1.5$	$A3.0 \leq 3.0$
Калоричност, MJ/kg, %	$Q15.5 \geq 15.5$	$Q15.3 \geq 15.3$	$Q14.9 \geq 14.9$

2.3 Качество на енергийните трески (чипс).

Дървесният чипс представлява раздробена биомаса с определени размери. В таблица 3 са дадени основните гориво-технически характеристики [3].

Таблица 3. Европейски стандарти за качество на дървесния чипс

Клас	A1	A2	B
Влажност, %	$M10 < 10; M25 \leq 25$	$M35 \leq 35$	
Пепел, %	$A1.0 \leq 1.0$	$A1.5 \leq 1.5$	$A3.0 \leq 3.0$
Калоричност, MJ/kg, %	$Q13.0 \geq 13.0$	$Q11.0 \geq 11.0$	

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Експерименталните изследвания са свързани с определяне на следните гориво-технически характеристики на биомаса и продукти от биомаса: горна топлина на изгаряне на аналитична маса (Q^a_s), съдържание на влага и пепел на аналитична маса (W^a, A^a).

W^a (%) е определена тегловно по загубите от налягане при 120 °C на проби с маса 1g от предварително доведена до въздушно сухо състояние биомаса.

Метод: сушилнята се загрява предварително до 120°C, претеглената проба се поставя в сушилнята, където престоява 30 min, след това се изважда поставя се в ексикатора за 10 - 15 min, след което се претегля.

A^a (%) е измерена тегловно при изгаряне до постоянна маса на аналитични проби 1g при 800 °C. Използвана е муфелна пещ тип Dentamatic 6000-M с програмно управление. Охлаждането на пробите от температурата на съответната термообработка до стайна такава е извършено в суха среда (ексикатор, зареден със силикагел).

Метод: муфелната пещ се загрява предварително до 800 °C; претеглената проба се поставя в пещта и престоява в нея 50 min. След изваждането пробата се поставя в ексикатора за 15 - 20 min и след това се претегля.

На изследване са подложени аналитични проби биомаса от предварително взета и смляна до подходящ гранулометричен състав средна проба. Толината на изгаряне е измерена с помощта на дигитален калориметър КЛ-10, чрез изгаряне на пресовани таблетки от изследвания материал с маса 1g в кислородна среда под налягане 2 МРа.

Точността на температурното отчитане е ± 0.002 °C. Условиата за експерименталното определяне на Q^a_s (маса и плътност на таблетката, работно налягане) са съобразени със спецификата на апаратурата и са установени предварително така, че да осигуряват пълно изгаряне на пресованата таблетка.

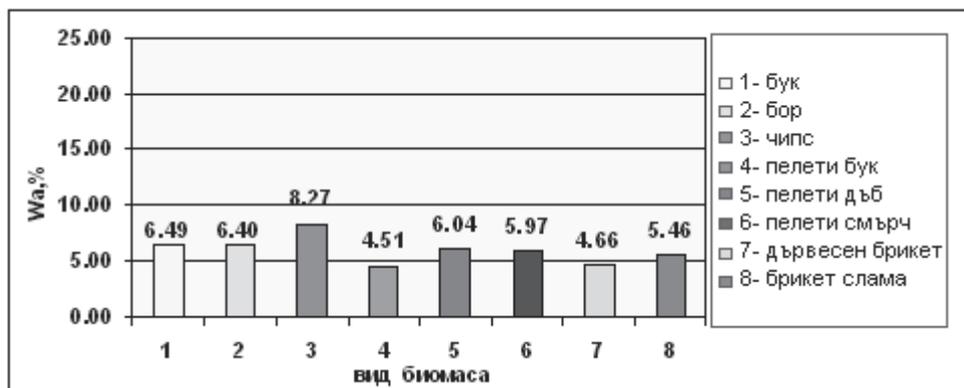
4. РЕЗУЛТАТИ

Резултатите от измерванията на съдържанието на влага на аналитични проби биомаса са представени в таблица 4.

Табл. 4. Експериментално определено съдържание на влага на аналитични проби биомаса

	бук	бор	чипс бук	пелети бук	пелети дъб	пелети смърч	дървесен брикет	брикет слама
Интервал на изменение, W^a , %	6.4÷6.5	6.1÷6.5	7.9÷8.3	4.5÷4.6	5.8÷6.3	5.9÷6.0	4.4÷4.9	5.3÷ 5.5
Ср. сойност от измерванията, W^a , %	6.49	6.40	8.27	4.51	6.04	5.97	4.66	5.46
Средно отклонение, $SD\pm$	0.01	0.16	0.17	0.08	0.25	0.05	0.18	0.06

На фигура 1 е представено изменението на съдържанието на W^a за изследваните видове растителна биомаса. Най-висока стойност на W^a е измерена в енергийните трески.



Фигура 1. Изменение на съдържанието на влага на аналитични проби биомаса

Резултатите от измерванията на съдържанието на влага на работни проби биомаса са представени в таблица 5.

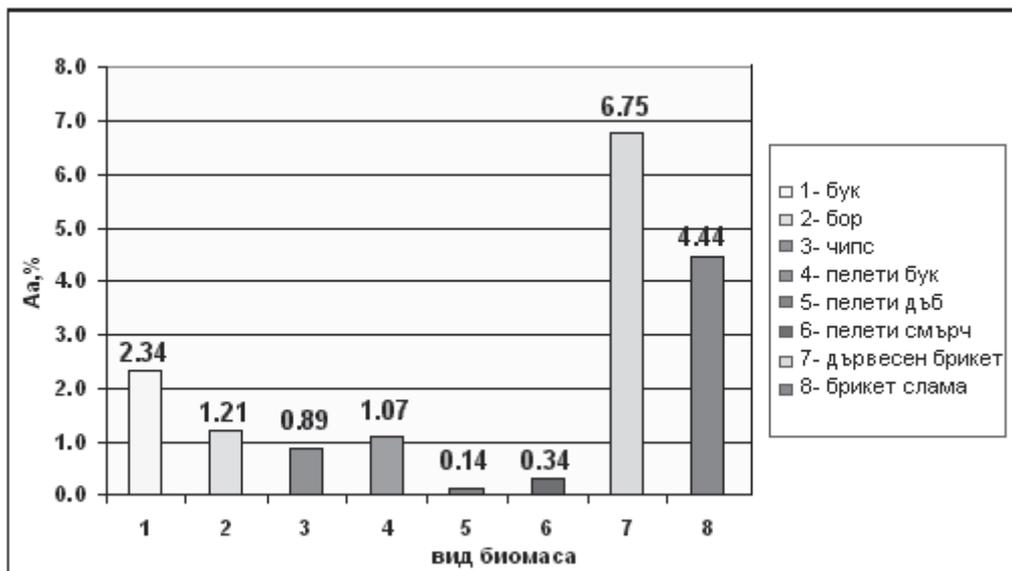
Таблица 5. Съдържание на влага на работни проби биомаса

	сурова топола	суров бор
Интервал на изменение, W^r , %	25.5÷26.4	30.7÷31.6
Средна сойност от измерванията, W^r , %	26.31	31.17
Средно отклонение, $SD\pm$	0.64	0.34

Резултатите от измерванията на съдържанието на пепел на аналитични проби биомаса са представени в таблица 6, а изменението на съдържанието на аналитична пепел в зависимост от изследвания вид биомаса е представен на фигура 2.

Табл. 6. Експериментално определено съдържание на пепел на аналитични проби биомаса

	бук	бор	чипс бук	пелети бук	пелети дъб	пелети смърч	дървесен брикет	брикет слама
Интервал на изменение, A^a , %	1.9÷2.8	0.7÷1.4	0.8÷0.9	0.7 ÷1.7	0.03÷0.3	0.1÷0.4	6.6÷ 6.9	4.3÷ 4.6
Средна сойност от измерванията, A^a , %	2.34	1.21	0.89	1.07	0.14	0.34	6.75	4.44
Средноотклонение, $SD\pm$	0.30	0.34	0.02	0.46	0.11	0.14	0.12	0.15



Фигура 2. Изменение на съдържанието на пепел на аналитични проби биомаса

Пелетите от дъб и смърч съответстват на изискванията на БДС EN 14961-2, plusA1 по отношение на съдържанието си на пепел (фигура 2). Докато пелетите от бук по този стандарт от направените експериментални изследвания може да се отнасят към клас A2. Изследваният чипс по отношение на показателя A^a се отнася към клас A1.

Резултатите от измерванията на съдържанието на пепел на работни проби биомаса са представени в таблица 7.

Таблица 7. Съдържание на пепел на работни проби биомаса

	сурова топола	суров бор
Интервал на изменение A^r , %	1 ÷ 1.2	1.4 ÷ 1.9
Средна стойност от измерванията, A^r , %	1.13	1.72
Средноотклонение, SD_{\pm}	0.07	0.21

Горната топлина на изгаряне (Q_s^r , kJ/kg) при различно съдържание на работна влага е определена по формулата:

$$Q_s^r = Q_s^a \left(\frac{100 - W^r}{100 - W^a} \right), \quad (1)$$

където: Q_s^a - горната топлина на изгаряне на аналитична маса (с включена аналитична влага и при 0 % външна влага); W^r и W^a са съответно съдържанието на влага на работна и аналитична маса, %.

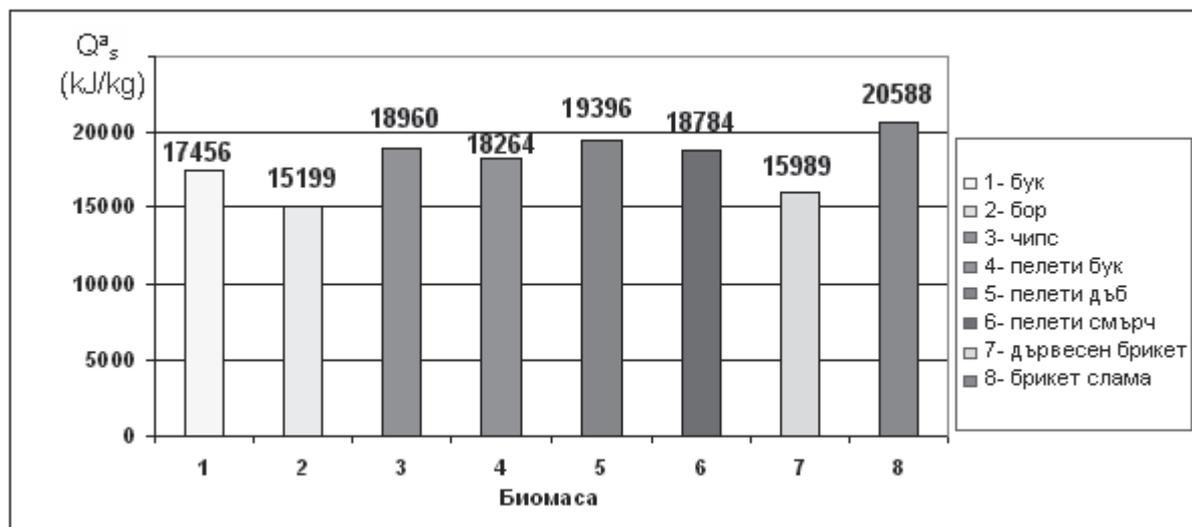
Резултатите от измерването на горната топлина на изгаряне, чрез калориметрична измервателна система (Q_s^a , kJ/kg) на аналитични проби биомаса и изчисляването им при различно влагосъдържание са представени в таблици 8 и 9.

Табл. 8. Експериментални резултати от определянето на горната топлина на изгаряне

външна влага	Горната топлина на изгаряне (KJ/kg), интервал на изменение						
	бук	бор	пелети бук	пелети дъб	пелети смърч	дървесен брикет	брикет слама
0%	16886±17740	14908±15587	18193±18335	18847±19915	18532±19106	15461±16521	20363±20766
8%	16613±17454	14653±15320	17528±17665	18453±19500	18131±18694	14919±15942	19816±20208
10%	16252±17075	14335±14987	17147±17281	18052±19076	17738±18288	14595±15596	19386±19768
средна стойност от 5 измервания, KJ/kg							
	бук	бор	пелети бук	пелети дъб	пелети смърч	дървесен брикет	брикет слама
0%	17456	15199	18264	19396	18784	15989	20588
8%	17174	14939	17104	17858	17347	15773	19798
10%	16165	13872	16732	17470	16970	15430	19368
Средно отклонение, SD±							
0%	83.71	61.22	34.69	17.18	117.13	50.99	109.69

Табл. 9. Експериментални резултати от определяне на горната топлината на изгаряне на (аналитична и работна) на дървесен чипс

чипс бук	Съдържание на външна влага, %	0%	10%	12%
	Горната топлина на изгаряне, KJ/kg, интервал на изменение	18771±19148	18418±18788	18009±18370
	Средна стойност от 5 измервания, KJ/kg	18960	18603	18190
	Средно отклонение, SD±	61.31	-	-



Фигура 3. Изменение на горната топлина на изгаряне на аналитични проби биомаса

На фигура 3 изследваните пелети, чипс и дървесен брикет отговарят на клас А1 в съответствие на изискванията на стандартите БДС EN 14961-2:2011, БДС EN 14961-3:2011, БДС EN 14961-4:2011 по отношение на горна топлината на изгаряне.

Резултатите от измерването на горната топлина на изгаряне (Q_s^r) на работни проби биомаса са представени в таблица 10.

Таблица 10. Горна топлина на изгаряне на работни проби биомаса

Биомаса	сурова топола	суров бор
Съдържание на работна влага, %	26.31	31.17
Q^r_s , KJ/kg, интервал на изменение	17221÷17321	18897÷19148
Средна стойност от 5 измервания, KJ/kg	17284	19035
Средно отклонение, SD±	9.69	26.90

Влагата е един от вредните примеси в горивото. Повишеното ѝ съдържание води до понижаване на температурите в пещната камера, до увеличаване на обема на газовете (продуктите на горене), което от своя страна оказва негативно влияние върху ефективността на горивната инсталация.

Колкото повече дървесина се съдържа в даден вид биомаса, толкова по-калорична е тя. С нарастване на примесът от кора, иглички или листа, намалява топлината на изгаряне, а количеството отпадна пепел се покачва.

Топлинната стойност на дървата зависи от съдържанието на смола и лигнин. При иглолистните дървета, тя е по-голяма.

В таблица 11 са представени данни за елементния състав на основни химични елементи в естествените лигно-целулозни материали в абсолютно сухо състояние [4 -7].

Таблица 11. Елементен съста на изследваните видове биомаси

	C	H	O	N	K	S	Cl
Смърч с кора	49.8	6.3	43.2	0.13	0.13	0.015	0.005
Бук с кора	47.9	6.2	43.3	0.22	0.22	0.015	0.006
Топола	47.5	6.2	44.1	0.42	0.35	0.031	0.004
Пшенична слама	45.6	5.8	42.4	0.48	1.00	0.082	0.190
Рапица	51.5	7.4	30.1	4.97	1.60	0.550	0.019
Кора от игл. дървесина	51.4	5.7	38.7	0.48	0.24	0.085	0.019
Бор с кора	49.5	6.5	42.6	0.12		0.014	
Стойности за необработени дървестни материали от иглолистна дървесина	47-54	5.6-7.0	40-44	<0.1-0.5		<0.01-0.05	<0.01-0.03
Стойности за необработени дървестни материали от широколистна дървесина	48-52	5.9-6.5	41-45	<0.1-0.5		<0.01-0.05	<0.01-0.03
Стойности за необработени дървестни материали от остатъци от дърводобива	50-53	5.9-6.3	40-44	0.3-0.8		0.01-0.08	<0.01-0.04
Стойности за необработен дървесен материал от бързо растящи дървета	47-51	5.8-6.7	40-46	0.2-0.8		0.02-0.10	<0.01-0.05
Пелети смърч	50.24	6.09		0.05		0.004	0.004
Дървесен брикет	51.2	6.19		0.03		0.008	0.002
Дървесен чипс	50	6.2	49	0.3		0.05	0.02

От сравнителното разглеждане на таблици от 1 до 11 се вижда, че по нормираните компоненти, продуктите от биомаса не надвишава въведените в ЕС максимално допустими стойности. Съдържанието на пепел не надвишава препоръчителната норма, което означава,

че директното изгаряне на този субпродукт е подходящ за битови условия. Измерените концентрации на S, N и Cl не надхвърлят максимално приетите [4-7]. Съдържанието на влага е <10 %, а горната топлината на изгаряне на аналитична маса за дървесните пелети е 18264 -19396 KJ/kg. По-високо калоричните пелети реализират и по-голяма икономия на конвекционални горива.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направените експериментални изследвания и сравнителни проучвания показват, че пелетите от растителна биомаса притежават значителен енергиен потенциал. Горната топлината на изгаряне определена, чрез калориметрична измервателна система на аналитична маса е в границите 18193÷18335 KJ/kg за пелети бук; 18847÷19915 KJ/kg за пелети дъб, 18532÷19106 KJ/kg за пелети смърч, 18771÷19148 KJ/kg за дървестния чипс, 15461÷16521 KJ/kg - дървесния брикет, 20363÷20766 KJ/kg – брикет слама. Стойностите за съдържание на влага и пепел, на изследваните продукти от растителна биомаса отговарят на тези от нормативните изисквания.

Настоящия доклад е представен във връзка с изпълнението на научно изследователска програма финансирана от Вътрешния конкурс на ТУ - София – 2012г., договор № 78.

Литература:

- 1 http://www.bds-bg.org/standard/info.php?standard_id=53130
- 2 Асоциация за енергийно оползотворяване на биомаса, Стандарти, Норми
- 3 European Standard (EN 14961) for wood chips and hog fuel, Eija Alakangas, Forest bioenergy 2010
- 4 <http://eco-rai-energy.com/content/view/89/218/>
- 5 <http://national7.bg/>
- 6 <http://peleti.at/files/Certificate-quality-Pellet.pdf>
- 7 Wood Fuels Handbook, Production-Quality-Requirements-Trading, AEBIOM, April 2009

Автори:

маг. инж. Грета Петрова Събева, ТУ-София, e-mail: greta_p_s@abv.bg

маг. инж. Никола Сергиев Цветков, Worley Parsons ЕООД

гл. ас. д-р. инж. Силвия Василева Бойчева, ТУ-София, e-mail : sboycheva@tu-sofia.bg

доц. д-р инж. Петьо Георгиев Гаджанов, ТУ-София, e-mail: gadjanov@tu-sofia.bg

доц. д-р инж. Никола Бориславов Станков, ТУ-София, e-mail : nstankov@tu-sofia.bg