

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ**

Гордана Ј. Кулић

**ПРИМЕНА СТАБЉИКА ДУВАНА ТИПА БЕРЛЕЈ
И ПРОЦЕНА ДОПРИНОСА ИСКОРИШЋЕЊУ
ПОЉОПРИВРЕДНЕ БИОМАСЕ У СРБИЈИ**

Докторска дисертација

Београд, 2021.

**UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF AGRICULTURE**

Gordana J. Kulić

**APPLICATION OF THE BERLEY TYPE
TOBACCO STALKS AND EVALUATION OF
THE CONTRIBUTION TO THE UTILIZATION
OF AGRICULTURAL BIOMASS IN SERBIA**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2021.

КОМИСИЈА ЗА ОЦЕНУ И ОДБРАНУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Ментор 1:

др Весна Радојичић, редовни професор,
Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду,
(Ужа научна област: Наука о преради ратарских сировина)

Ментор 2 :

др Олга Цветковић, научни саветник у пензији,
Научна установа Институт за хемију, технологију и металургију
Центар за хемију, Универзитет у Београду
(Ужа научна област: Хемија)

Чланови комисије:

др Жељко Долијановић, редовни професор,
Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду
(Ужа научна област: Агроекологија)

др Биљана Рабреновић, ванредни професор,
Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду,
(Ужа научна област: Наука о преради ратарских сировина)

др Марија Србиноска, редовни професор,
Универзитет Св. Климент Охридски из Битоља и
научни саветник Научног института за дуван из Прилепа,
(Ужа научна област: Технологија пољопривредних производа)

Датум одбране: _____

Изјаве захвалности

Захваљујем се ментору др Весни Радојичић, редовном професору на менторству, указаном поверењу, стрпљењу, разумевању и уложеном труду, као и на усмеравању и руковођењу у свим фазама израде и писања ове докторске дисертације.

Неизмерну захвалност изражавам и ко-менторки др Олги Цветковић на конструктивним коментарима и несебичној помоћи и мотивацији током целокупног периода израде докторске дисертације као и током прегледа рукописа.

Такође, желим да изразим захвалност др Жељку Долијановићу на саветима и сугестијама који су ми много значили у току писања и финализације ове дисертације.

Захвална сам др Биљани Рабреновић, ванредном професору на корисним сугестијама и саветима који су допринели квалитету ове дисертације.

Захваљујем се др Марији Србиноској, редовном професору на помоћи, корисним саветима и подрици током израде дисертације.

Захваљујем се колеги Борису Писиновом на указаној прилици да део лабораторијских истраживања своје докторске дисертације реализујем.

Захвалност упућујем и свим члановима Катедре за Технологију ратарских производа, Пољопривредног факултета Универзитета у Београду.

Велико хвала пријатељима који су веровали у мене и који су ми пружали подршку.

Најдубља и највећа захвалност припада мојим родитељима Босиљки и Јови, као и брату Горану који су ме подстицали током свих година образовања. Захвална сам им на финасиској подрици у току израде ове докторске дисертације, вери и љубави у свим мојим напорима да истрајем до краја.

Докторска дисертација је посвећена супругу Горану и ћерки Дејани без којих ништа не би имало смисао.

Аутор

ПРИМЕНА СТАБЉИКА ДУВАНА ТИПА БЕРЛЕЈ И ПРОЦЕНА ДОПРИНОСА ИСКОРИШЋЕЊУ ПОЉОПРИВРЕДНЕ БИОМАСЕ У СРБИЈИ

Сажетак

Чињеница да стабљике дувана, као биомаса, нису биле предмет систематичних истраживања, посебно не на нашем простору, су круцијални разлог и оправдање посвећивању пажње овој врсти биомасе.

Експериментална истраживања ове дисертације су спроведена на шест различитих облика биомасе: стабљикама дувана типа Берлеј са локалитета Шапца, пшеничној слами и окласцима кукуруза са локалитета Старе Пазове, сојиним стабљикама и остацима глава сунцокрета са локалитета Голубинаца и пиљевини дрвета букве, која је преузета као остатак након механичке обраде дрвета.

Извршено је одређивање основних агрохемијских параметара земљишта а на свим узорцима биомаса урађене су анализе хемијског састава, топлотне моћи и продуката сагоревања. За приказ метеоролошких услова локалитета коришћени су подаци Републичког хидрометеоролошког завода Србије. За потребе погонског испитивања направљени су брикети од свих испитиваних облика биомасе, без додавања везивних средстава.

Према хемијском саставу дуванска стабљика је у рангу са пшеничном сламом, бољих карактеристика у односу на сојине стабљике и нарочито на остатке глава сунцокрета. Елементарном анализом стабљика дувана утврђен је најнижи садржај угљеника и највиши садржај азота у односу на остале биомасе (и до 5 пута више). Количина никотина у димном гасу ($< 10 \text{ ppm}$) је далеко испод вредности захтева Европске уније. Вредност топлотне моћи дуванских стабљика не одступа значајно од осталих пољопривредних биомаса. Количине оксида угљеника и азота које испитиване биомасе емитују при сагоревању су испод максимално дозвољених количина, према Уредби о граничним вредностима емисија загађујућих материја у ваздух.

На основу свих изнетих резултата и поређења са карактеристикама осталих испитиваних облика биомасе, стабљике дувана типа Берлеј могу имати употребну вредност као биогориво и са енергетског и са еколошког аспекта.

Кључне речи: стабљике дувана типа Берлеј, пшенична слама, сојина стабљика, окласак кукуруза, остаци глава сунцокрета, пиљевина дрвета букве, хемијски састав биомаса, топлотна моћ, продукти сагоревања.

Научна област: Технолошко инжењерство

Ужа научна област: Наука о преради ратарских сировина

УДК:663.97.051.6:620.9(497.11)(043.3)

APPLICATION OF THE BURLEY TYPE TOBACCO STALKS AND EVALUATION OF THE CONTRIBUTION TO THE UTILIZATION OF AGRICULTURAL BIOMASS IN SERBIA

Abstract

The crucial reason and justification for focusing on tobacco stalks as biomass is the fact that it was not a scope of systematic research, especially not in our region.

In this dissertation, experimental analysis of six various forms of biomass was performed: Burley type tobacco stalks from the Sabac region, wheat straw and corn cobs from the Stara Pazova region, soybean stalks and the remnants of sunflower heads from the Golubinac region, and beech sawdust obtained as remnants after lumber production.

Fundamental agrochemical parameters of soil were determined and furthermore the analysis of chemical composition, calorific power, and products of combustion were determined for each sample of biomass as well. Data obtained from the Republic Hydrometeorological Institute of Serbia were used to present meteorological conditions for each corresponding locality. Briquettes of all types of biomass were made with no binder additives for the purpose of operational testing.

Tobacco stalks are found to be similar in chemical composition to wheat straw and they possess better properties than soybean stalks and especially remnants of sunflower heads. Elemental analysis of tobacco stalks reveals the lowest content of carbon and the highest content of nitrogen (even up to 5 times higher content) compared to all other samples of biomass. Content of nicotine in flue gases (< 10 ppm) is far below the maximum level allowed by the European Union. Calorific value of tobacco stalks is in range with other agricultural types of biomasses. According to the Regulation on emission limit values for air pollutants, the amounts of carbon and nitrogen oxides emitted by all tested biomass during combustion are below the maximum allowable amounts.

Based on all presented results and comparisons with characteristics of other investigated forms of biomass, Burley type tobacco stalks can be useful as biofuel considering both the energy efficiency and ecological aspect.

Key words: Burley type tobacco stalks, wheat straw, soybean stalks, corn cob, remnants of sunflower heads, beech sawdust, biomass chemical composition, calorific value, combustion products.

Scientific field: Technological engineering

Scientific subfield: Science of field crop processing

UDC:663.97.051.6:620.9(497.11)(043.3)

САДРЖАЈ

1. УВОД	1
2. НАУЧНИ ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА	3
3. ОСНОВНЕ ХИПОТЕЗЕ ОД КОЈИХ СЕ ПОЛАЗИ	5
4. ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА	6

ТЕОРИЈСКИ ДЕО

5. ОБНОВЉИВИ ИЗВОРИ ЕНЕРГИЈЕ	7
5.1. СОЈА.....	9
5.2. ПШЕНИЦА.....	10
5.3. СУНЦОКРЕТ.....	12
5.4. КУКУРУЗ.....	13
5.5. ДРВО БУКВЕ	15
5.6. ДУВАН ТИПА БЕРЛЕЈ.....	16
5.6.1. Физичке и хемијске особине дуванске стабљике	18
5.7. БРИКЕТИРАЊЕ БИОМАСЕ	19
5.8. ПРОЦЕНА ДОПРИНОСА ИСКОРИШЋЕЊУ ПОЉОПРИВРЕДНЕ БИОМАСЕ КАО ОБНОВЉИВОГ ИЗВОРА У СВЕТУ И ЕВРОПИ	20
5.9. ПРОЦЕНА ДОПРИНОСА ИСКОРИШЋЕЊУ ПОЉОПРИВРЕДНЕ БИОМАСЕ КАО ОБНОВЉИВОГ ИЗВОРА У СРБИЈИ.....	21
5.10. РАСПОЛОЖИВИ ПОТЕНЦИЈАЛ ИСПИТИВАНИХ ОБЛИКА ПОЉОПРИВРЕДНЕ БИОМАСЕ У СРБИЈИ.....	23
5.11. ЗАКОНСКА РЕГУЛАТИВА О КОРИШЋЕЊУ БИОМАСЕ.....	25
5.11.1. Законска регулатива о коришћењу биомасе у Србији	25
5.11.2. Законска регулатива о коришћењу биомасе у свету	26
5.12. ХЕМИЈСКИ САСТАВ БИОМАСЕ	28
5.12.1. Елементарни састав пољопривредне биомасе	28
5.12.2. Минерална супстанца биомасе и тешки метали.....	29
5.12.3. Целулоза и лигнин.....	32
5.12.4. Никотин	33
5.13. УТИЦАЈ ХЕМИЈСКОГ САСТАВА БИОМАСЕ НА ТОПЛОТНУ МОЋ	34
5.14. ЕМИСИЈЕ КОЈЕ НАСТАЈУ САГОРЕВАЊЕМ БИОМАСЕ	36

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

6. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ ИСПИТИВАЊА	39
6.1. МАТЕРИЈАЛ ИСПИТИВАЊА	40
6.2. ПРОИЗВОДНА ПОДРУЧЈА ИСПИТИВАНЕ БИОМАСЕ.....	41
6.2.1. Производно подручје Шабац	41
6.2.2. Производно подручје Стара Пазова.....	41
6.2.3. Производно подручје Голубинци	41
6.3. МЕТОДЕ ИСПИТИВАЊА БИОМАСА И ЗЕМЉИШТА.....	42
6.3.1. Методе испитивања земљишта.....	42
6.3.2. Методе испитивања биомаса	43

6.4. ПРЕДВИЋАЊЕ HHV (<i>Higher Heating Value</i>) УЗОРАКА БИОМАСЕ	45
6.5. ОДРЕЂИВАЊЕ ТОПЛОТНЕ МОЋИ УЗОРАКА БИОМАСЕ	46
6.6. ПРЕДВИЋАЊЕ ПРОДУКАТА САГОРЕВАЊА УЗОРАКА БИОМАСЕ –CO ₂ , SO ₂ , N... ..	46
6.7. БРИКЕТИ.....	47
6.7.1. Уситњавање узорака за брикетање	47
6.7.2. Израда брикета од испитиваних узорака биомасе	48
6.8. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОДРЕЂИВАЊЕ ПРОДУКАТА САГОРЕВАЊА БРИКЕТА БИОМАСА – CO, CO ₂ , SO ₂ , NO, NO _x	49
6.9. ОДРЕЂИВАЊЕ КОЛИЧИНЕ НИКОТИНА У ДИМУ ПРИ САГОРЕВАЊУ БРИКЕТА ОД СТАБЉИКА ДУВАНА ТИПА БЕРЛЕЈ.....	50
6.10. АГРОЕКОЛОШКИ УСЛОВИ НА ИСПИТИВАНИМ ЛОКАЛИТЕТИМА	50
6.10.1. Метеоролошки услови	50
6.10.1.a. Метеоролошки услови производних подручја Шапца и Сурчина.....	50
6.10.1.b. Вегетациони период испитиваних биомаса	53
6.11. СТАТИСТИЧКА ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА.....	58

7. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И ДИСКУСИЈА

7.1. ОСНОВНЕ АГРОХЕМИЈСКЕ ОСОБИНЕ ЗЕМЉИШТА ЗА РАСТ И РАЗВОЈ БИЉАКА	59
7.2. АНАЛИЗЕ САДРЖАЈА ОРГАНСКЕ СУПСТАНЦЕ ИСПИТИВАНИХ БИОМАСА ПО ЛОКАЛИТЕТИМА	61
7.2.1. Садржај органске супстанце испитиване биомасе на локалитету Шабац.. ..	62
7.2.2. Садржај органске супстанце испитиване биомасе на локалитету Сурчина.....	63
7.3. АНАЛИЗА ИСКОРИШЋАВАЊА РАСПОЛОЖИВЕ КОЛИЧИНЕ ДУВАНСКИХ СТАБЉИКА У СРБИЈИ.....	65
7.4. РЕЗУЛТАТИ ХЕМИЈСКОГ САСТАВА УЗОРАКА БИОМАСЕ.....	66
7.4.1. Одређивање количине пепела, целулозе и лигнина	66
7.4.2. Резултати елементарног састава испитиваних узорака биомасе: угљеника (C), водоника (H), азота (N), сумпора (S) и кисеоника (O) из разлике.....	69
7.5. РЕЗУЛТАТИ ПРЕДВИЋАЊА HHV (<i>Higher heating value</i>) ИСПИТИВАНИХ УЗОРАКА	71
7.6. РЕЗУЛТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНОГ ОДРЕЂИВАЊА ТОПЛОТНЕ МОЋИ ИСПИТИВАНИХ УЗОРАКА	72
7.7. ПРЕДВИЋАЊЕ МИНИМАЛНЕ КОЛИЧИНЕ КИСЕОНИКА И ВАЗДУХА И ПРОДУКАТА САГОРЕВАЊА ИСПИТИВАНИХ УЗОРАКА – CO ₂ , SO ₂ , N.....	73
7.8. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОДРЕЂИВАЊЕ ПРОДУКАТА САГОРЕВАЊА ИСПИТИВАНИХ УЗОРАКА БРИКЕТА – CO, CO ₂ , SO ₂ , NO, NO _x	75
7.9. ОДРЕЂИВАЊЕ КОЛИЧИНЕ НИКОТИНА У ДУВАНСКОЈ СТАБЉИЦИ И ДИМУ ПРИ САГОРЕВАЊУ БРИКЕТА ОД СТАБЉИКА ДУВАНА ТИПА БЕРЛЕЈ	78
7.10. ОДРЕЂИВАЊЕ САСТАВА ПЕПЕЛА БРИКЕТА ИСПИТИВАНИХ БИОМАСА.....	78
7.11. СТАТИСТИЧКА ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА.....	81

8. ЗАКЉУЧАК.....	86
------------------	----

9. ЛИТЕРАТУРА	89
---------------------	----

Биографија аутора

Изјаве: Изјава о ауторству
Изјава о истоветности штапане и електронске верзије докторског рада
Изјава о коришћењу

СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 1. Показатељи за производњу соје у Републици Србији за период 2014-2017.г.	10
Табела 2. Показатељи за производњу пшенице у Републици Србији за период 2014-2017.г..	11
Табела 3. Показатељи за производњу сунцокрета у Републици Србији за период 2014-2017. г.	13
Табела 4. Показатељи за производњу кукуруза у Републици Србији за период 2014-2017.г..	15
Табела 5. Површине шума по регионима Србије 2014. године.....	15
Табела 6. Показатељи за производњу дувана у Републици Србији за период 2014-2017.г.....	17
Табела 7. Национални свеобухватни циљеви за учешће ОИЕ у укупној финалној потрошњи енергије у 2020. години	22
Табела 8. Временски период прикупљања потенцијалне биомасе	23
Табела 9. Најзначајније карактеристике стандарда пелета и брикета	27
Табела 10. Елементарни хемијски састав биомасе	29
Табела 11. Концентрација метала у пепелу биомасе.....	30
Табела 12. Типичне концентрације тешких метала у различитим врстама горива од биомасе.....	31
Табела 13. Карактеристике мерног опсега анализатора димних гасова МРУ	49
Табела 14. Средње месечне температуре ваздуха (Т _{сп} , °С) и количине падавина (RR, mm) на испитиваним локалитетима у 2015. години.....	51
Табела 15. Средње месечне температуре ваздуха (Т _{сп} , °С) и количине падавина (RR, mm) за 30- годишњи период (1981-2010)	52
Табела 16. Средње месечне температуре ваздуха (Т _{сп} , °С) и количине падавина (RR, mm) на локалитету Шапца у вегетационом периоду дувана у 2015. години и за 30- годишњи период (1981-2010)	54
Табела 17. Средње месечне температуре ваздуха (Т _{сп} , °С) и количине падавина (PP, mm) на локалитету Сурчина у вегетационом периоду сунцокрета, соје и кукуруза у 2015. години и за 30- годишњи период (1981-2010).....	55
Табела 18. Средње месечне температуре ваздуха (Т _{сп} , °С) и количине падавина (PP, mm) на локалитету Сурчина у вегетационом периоду пшенице у 2015. години и за 30- годишњи период (1981-2010)	57
Табела 19. Хемијске особине земљишта са различитих локалитета	59
Табела 20. Вегетациони период за испитиване биомасе.....	61
Табела 21. Одноговане површине под дуваном (ha).....	65
Табела 22. Расположиве количине стабљика дувана типа Берлеј (t).....	66
Табела 23. Хемијски састав испитиваних узорака (%).....	67
Табела 24. Карактеристике брикета	68
Табела 25. Елементарни састав органске супстанце сувог узорка (%).....	69
Табела 26. Елементарни састав фосилних горива	70
Табела 27. Елементарни састав угљева.....	70
Табела 28. Резултати предвиђања ННВ (MJ kg ⁻¹) на основу хемијског и елементарног састава.....	71
Табела 29. Резултати експерименталног одређивања топлотне моћи испитиваних узорака (MJ kg ⁻¹).....	72
Табела 30. Резултати предвиђања минималне количине кисеоника и ваздуха и запремине продуката сагоревања испитиваних облика биомасе	74
Табела 31. Анализа продуката сагоревања брикета направљених од биомасе.....	75

Табела 32. Средње вредности продуката сагоревања брикета направљених од биомасе, прерачунатих на вредност O ₂ од 11%	77
Табела 33. Количина елемената у пепелу брикета испитиваних биомаса	79
Табела 34. Степен зависности карактеристика биомасе, од хемијских особина земљишта на локалитету Шабац.....	81
Табела 35. Степен зависности карактеристика биомасе, од хемијских особина земљишта на локалитету Стара Пазова.....	82
Табела 36. Степен зависности карактеристика биомасе од хемијских особина земљишта на локалитету Голубинци.....	83
Табела 37. Дескриптивна статистика испитиваних обележја за анализиране узорке.....	84
Табела 38. Вредност Пеарсон-ових коефицијента корелације испитиваних обележја за анализиране узорке.....	85

СПИСАК СЛИКА

Слика 1. Соја.....	10
Слика 2. Пшеница	11
Слика 3. Сунцокрет.....	13
Слика 4. Кукуруз.....	14
Слика 5. Дрво букве.....	16
Слика 6 (а и б). Дуван типа Берлеј	17
Слика 7. Осушено лишће дувана типа Берлеј	17
Слика 8. Стабљике дувана након завршене бербе листова.....	18
Слика 9. Финална потрошња енергије у Европској унији (%).....	21
Слика 10. Структура обновљивих извора енергије у Републици Србији.....	22
Слика 11. Структурна формула никотина (3-[(2S)-1-метилпиролидин-2-ил]-пиридин)	33
Слика 12. Изглед различитих биомаса са места узорковања.....	40
Слика 13. Изглед самлевених узорака	48
Слика 14. Приказ изгледа брикета испитиваних узорака биомасе	48
Слика 15. Продукти сагоревања (CO, NO, NO _x) настали током сагоревања брикета направљених од различитих облика биомасе	77
Слика 16. Продукти сагоревања (CO ₂) настали током сагоревања брикета направљених од различитих облика биомасе	78
Слика 17. Изглед пепела након сагоревања брикета испитиваних биомаса.....	79

СПИСАК ГРАФИКОНА

Графикон 1. Климадијаграми по Walter-у за Шабац и Сурчин (2015)	52
Графикон 2. Климадијаграми по Walter-у за Шабац и Сурчин у вишегодишњем периоду (1981-2010)	53
Графикон 3. Садржај органске супстанце испитиване биомасе на локалитету Шабац.....	62
Графикон 4. Садржај органске супстанце испитиване биомасе на локалитету Сурчина.....	64

1. УВОД

“Треба знати искористити природне силе и на тај начин добити сву потребну енергију. Сунчеви зраци су облик енергије, ветар и морске струје су такође енергија. Користимо ли их? О, не! Палимо шуме и угаљ, као да подстанари пале улазна врата наше куће за грејање. Живимо као дивљи досељеници који не схватају да ова богатства припадају свима нама.”
(Thomas A. Edison, 1916)

У протеклих сто година, коришћење енергије фосилних горива значајно је утицало на атмосферу и промену климатских услова.

Истраживања (Berndes et al., 2003; Junginger et al., 2008; Njit et al., 2010; Renewable Energy Europe, 2010) указују да би у будућности биомаса могла да представља значајан обновљиви извор енергије, чијом употребом би се смањила зависност од фосилних горива, и истовремено смањило загађење животне средине.

Извори обновљиве енергије виђени су као могућност решавања многих еколошких проблема са којим се свет данас суочава. Уводе се циљане политике да би се подржале нове мере енергетске ефикасности и што веће коришћење обновљивих извора енергије.

Република Србија се обавезала на свеобухватни национални циљ од 27 % учешћа енергије из обновљивих извора енергије (ОИЕ) у укупној финалној потрошњи енергије, који је требало да се оствари до 2020. године. Из ових обавеза настао је и Национални акциони план за коришћење ОИЕ (ОИЕ - НАПОИЕ) Републике Србије, који је донет током 2013. године. Овим документом утврђени су циљеви коришћења ОИЕ до 2020. године, као и начин за њихово достизање.

Посебно се, у досадашњим истраживањима указује на вишеструке предности употребе остатака ратарске производње, у односу на фосилна горива. Наводи се њихова константна обновљивост као последица уобичајених биолошких процеса, хемијске реакције угљеник (IV)-оксида из ваздуха и воде под утицајем сунчеве енергије (фотосинтезе), што је кључна предност.

Савремени изазови човечанства у задовољавању потреба за енергијом постављају потпуно нове захтеве за горива и технологије које ће се у будућности користити. Многе земље широм света спроводе истраживања како би се процениле могућности примене биомасе у енергетске сврхе (Berndes et al., 2003; Junginger et al., 2008; An EU Strategy for Biofuel, 2006; Njit et al., 2010; Renewable Energy in Europe, 2010). Наведена истраживања указују да ће у будућности биомаса представљати значајан обновљив извор енергије, који омогућава смањење зависности од фосилних горива, сигурност снабдевања, смањење загађења животне средине.

За разлику од фосилних горива, сматра се да експлоатација ОИЕ генерално не утиче на загађење животне средине и да уз примену принципа одрживости, омогућава искоришћење неограниченог (обновљивог) енергетског потенцијала.

Генерални закључак је да биомаса представља добар извор енергије, али се за добијање енергије користи само око 4 % укупне светске производње биомасе. Међутим, ове цифре се стално мењају. Тако је 2014. године производња у свету била већа за 7,4 % у односу на 2013. годину, али већ 2015. године производња је опала за 0,9 % у односу на 2014. годину. (Li et.al., 2017). Најзначајнији извор биомасе у свету је ратарска производња. У биомасу спадају сви заостали делови једногодишњих и вишегодишњих култура као сто су: слама, кукурузовина, окласак, стабљике, љуске, коштице и остаци резидбе (Ђевић и сар., 2008).

Од тога, међу три најважније врсте жита по укупним површинама које заузима у свету, са око 219 милиона ha, је пшеница, а следе је пиринач (156 милиона ha) и кукуруз (155 милиона ha), па према томе представљају и највеће изворе бимасе (www.faostat.fao.org). У Републици Србији, највећи проценат биомасе чине пшенична слама, окласци и стабљике кукуруза и сојина слама, а мањи проценат али подједнако важан, главе и стабљике сунцокрета, као и стабљике дувана.

Потенцијална количина биомасе у производњи дувана у Републици Србији је око 76 000 тона. Око 30 % стабљика након бербе дувана оставља се на њиви и заорава у циљу побољшања плодности, тако да око 53 200 тона остаје на располагању, што би могло да се искористи као биогориво.

Жетвени остаци су веома битни производи јер је у њима сконцентрисана велика маса органске и минералне супстанце, а у остацима који могу да се користе као биогориво и значајна количина енергије. Уклањање жетвених остатака, да би се њиве благовремено припремиле за наредну годину, углавном се реализује њиховим заоравањем или сакупљањем и одношењем са њива у циљу прављења органског ђубрива компостирањем.

Претходно наведени начини су еколошки прихватљиви пошто омогућавају посредно или непосредно враћање жетвених остатака, у већој или мањој мери, у кружење материје агроекосистема. Подједнако еколошки прихватљиво искоришћавање жетвених остатака је њихова употреба као биогорива. Поред наведених решења жетвени остаци се, и поред законске забране, веома често спаљују на парцелама (Службени гласник РС бр.111/2009). Спаљивањем се губи органска супстанца што доводи до смањења садржаја хумуса у земљишту и тиме његове плодности. При спаљивању жетвених остатака у атмосферу, поред угљеника, одлазе и други биогени елементи, као што су азот и сумпор. Ако је сагоревање потпуно, остаје само пепео који садржи само минералне супстанце и то већином у теже приступачном облику за биљке.

У току сагоревања жетвених остатака троши се значајна количина кисеоника и истовремено загађује средина димом и пепелом и уништава корисна микробиолошка равнотежа земљишта. Осим тога, спаљивање захтева и одређени утрошак рада и материјалних средстава.

Спаљивање жетвених остатака је оправдано у случајевима уништавања семена коровских биљака, штеточина и загађених жетвених остатака.

2. НАУЧНИ ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Проблем који се односи на неискоришћеност дуванског отпада, скуп процес уништавања под строго контролисаним и законски прописаним условима, као и његово неконтролисано одлагање, у Републици Србији је апсолутно запостављен а јавност са њим није ни упозната, тако да је до сада мало шта предузето на задовољавајући начин.

Светска истраживања која се односе на могућност коришћења дуванског отпада, пре свега стабљика дувана, малобројна су, док су у Србији рађена само прелиминарна истраживања (*Radojičić et al., 2014a; Ećim-Đurić et al., 2014; Mijailović et al., 2014; Malnar et al., 2016*).

Претпоставка је да је основни узрок недовољне искоришћености ове врсте отпада садржај никотина у биљци дувана. Међутим, садржај никотина је у биљци распоређен тако да се највећа количина никотина налази у листовима дувана. Према ранијим истраживањима (*Baylov and Popov, 1965*) расподела никотина се разликује у зависности од врсте дувана. У оријенталном типу дувана (Басма) садржај никотина у стабљници је 0,28 % а у листу 1,21 %. Такође, та разлика у садржају никотина потврђена је и у новијим истраживањима код крупнолисних типова дувана. Код дувана типа Вирџинија садржај никотина у стабљници је 0,34 % а у листу 1,89 %, док је у дувану типа Берлеј 0,11 % у стабљници и 1,77 % у листу (*Malnar et al., 2015*).

На основу прегледа литературних података о досадашњим резултатима из ове области и програма предвиђеног за ово истраживање, предложени су примарни циљеви:

- утврђивање расположиве количине ове категорије дуванског отпада у Србији,
- утврђивање хемијских карактеристика стабљика дувана типа Берлеј, јер до сада нису објављени резултати хемијског састава стабљика дувана Берлеј гајеног на територији Србије,
- утврђивање технолошких карактеристика стабљика дувана Берлеј, првенствено топлотне моћи биомасе, која биомасу пласира као биогориво, и разматрање његових карактеристика компарацијом са стандардом прописаним величинама појединачних параметара за биогориво (SRPS EN 14778:2012),
- утврђивање хемијских и технолошких карактеристика четири облика пољопривредне биомасе: пшенична и сојина стабљика, који имају примену као биогориво и окласак кукуруза и главе сунцокрета, који се ређе употребљавају као биогориво,
- утврђивање хемијских и технолошких карактеристика пиљевине букве, која се највише користи као биогориво,
- експериментално испитивање продуката-гасова сагоревања стабљика дувана типа Берлеј, на основу којих је могуће указати да је употреба остатака дувана примењива као биогориво и у потпуности еколошки прихватљива,
- детаљно разматрање великог броја експерименталних података свих испитиваних карактеристика стабљика дувана типа Берлеј, до којих се дошло применом система валидности резултата испитивања прописаног стандардом за лабораторијска испитивања 17025:2006, и поређење са карактеристикама осталих испитиваних облика биомасе, а на основу њих разматрање могућности увођења стабљика дувана типа Берлеј у укупни потенцијал пољопривредне биомасе као биогорива у Србији, а све у циљу добијања

производа који има употребну вредност који повећава аутономност пољопривреде, пре свега у области производње и обраде дувана и који ће решити питање неконтролисаног одлагања или спаљивања отпада.

Чињеница да стабљике дувана као биомаса нису биле предмет систематичних истраживања, посебно не на нашем простору, су круцијални разлог опсежних експерименталних истраживања и оправдање посвећивању пажње овој врсти биомасе. Предност потенцијалног коришћења стабљике дувана као биогорива је што се користи цела стабљика, за разлику од сламе, на пример, чије искоришћење стабљике зависи од могућности подешавања покошене дужине стабљике косионим апаратом.

3. ОСНОВНЕ ХИПОТЕЗЕ ОД КОЈИХ СЕ ПОЛАЗИ

При састављању програма и постављању циљева ове докторске дисертације пошло се од неколико хипотеза:

Хипотеза 1: Србија је у врху европских земаља по количини расположиве али и неискоришћене биомасе. У поређењу са осталим облицима пољопривредне биомасе, стабљике дувана још увек нису довољно испитане, па су стога и неискоришћене.

Хипотеза 2: Управљање дуванским отпадом као специфичним агро-индустријским отпадом, на простору наше земље још увек није адекватно законски регулисано.

Хипотеза 3: Пољопривредна биомаса, у односу на угаљ, у атмосферу испушта значајно мање CO_2 , SO_x и NO_x , што позитивно утиче на смањење ефекта стаклене баште (*Isobe et al., 2010*). У истраживању се пошло од претпоставке да ће дуванске стабљике, као и остали облици биомасе, током сагоревања продуковати мале количине SO_x , NO_x , CO и CO_2 .

Хипотеза 4: Такође, пошло се од претпоставке да ће стабљике дувана продуковати занемарљиве количине никотина, јер садрже свега до 12 % никотина у односу на листове.

Хипотеза 5: Очекује се да ће дуванске стабљике имати приближно исту вредност топлотне моћи као остали облици пољопривредне биомасе, с обзиром да имају сличан хемијски састав, па се топлота њиховог сагоревања може искористити за сушење других биљних производа, као на пример дувана типа Вирџинија.

Хипотеза 6: Искоришћење пепела добијеног сагоревањем стабљика дувана као ђубрива или додатак већ дефинисаним ђубривима са применом у хортикултури.

4. ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА

Истраживања ове докторске дисертације могу да се поделе на фазе:

1. Утврђивање агроеколошких карактеристика подручја са кога су прикупљени узорци пет облика пољопривредне биомасе.
2. Одређивање хемијских карактеристика свих шест испитиваних облика биомасе.
3. Одређивање топлотне моћи и продуката сагоревања свих шест испитиваних облика биомасе.
4. Одређивање садржаја никотина у стабљикама дувана и диму током њиховог сагоревања.
5. Одређивање количине и састава пепела који остаје након сагоревања испитиваних облика биомасе.
6. Поређење свих испитиваних карактеристика стабљика дувана типа Берлеј са карактеристикама осталих пет облика биомасе.

ТЕОРИЈСКИ ДЕО

5. ОБНОВЉИВИ ИЗВОРИ ЕНЕРГИЈЕ

Обновљиви извори енергије (ОИЕ) представљају неисцрпан природан вид енергије која се налази свуда око нас. Под појмом обновљиви извори енергије, подразумевају се извори енергије који се налазе у природи и обнављају се у потпуности или делимично. Најзначајнији обновљиви извори су:

- соларна енергија;
- енергија ветра;
- енергија воде (хидроенергија);
- геотермална енергија;
- биоенергија (биомаса).

Сви облици ОИЕ имају велики значај, првенствено ради своје расположивости и доступности, па самим тим могу да представљају велику енергетску сигурност сваке државе.

Биомаса, као један од обновљивих извора, је извор енергије са најдужом традицијом коришћења (*Kanevče et al., 2016*).

У складу са дефиницијом наведеном у Директиви 2009/28/ЕС, биомаса, као обновљив извор енергије, представља биоразградиву компоненту производа, отпада и остатака биолошког порекла из пољопривреде (укључујући биљне и животињске супстанце), шумарства и повезаних индустрија, као и биоразградиви део индустријског и комуналног отпада.

Европска унија (ЕУ) је истом Директивом детаљно дефинисала циљеве у овој области. Као главни циљ наводи се да у ЕУ до 2020. године удео ОИЕ у потрошњи примарне енергије буде најмање 20 %, а да се бар 20 % електричне енергије произведе из ОИЕ (*Накомчић-Смарагдакис и сар., 2015*).

Енергија акумулирана у биомаси је резултат природних хемијских процеса, па током њене експлоатације нема прекида који су карактеристични за друге ОИЕ, као што су соларна или енергија ветра.

Са овог аспекта, биомаса више наликује фосилним горивима него ОИЕ, али се ипак третира као угљенично неутрално гориво јер се њеним сагоревањем ослобађа угљеник који представља део природног угљеничног циклуса биљке, тј. угљеник који је апсорбован из атмосфере током периода раста биљке (*Циндрић, 2016*).

Поменута аргументација односи се само на процес сагоревања биомасе, али не и њено прикупљање, транспорт и прераду, али подразумева и испуњеност критеријума одрживости. То значи да искоришћење биомасе мора бити увек мање или једнако прирасту биомасе, како би се одржао негативан или барем неутралан биланс угљеник – (IV) оксида током животног циклуса биомасе као горива.

Заоравање жетвених остатака такође позитивно утиче на физичко-хемијске и биолошке особине земљишта, те општу плодност и квалитет земљишта, у првом реду на садржај

органске супстанце (*Lehtinen et al., 2014; Манојловић и Јаћимовић, 2014*). Заоравањем, а не одношењем или спаљивањем ове масе, уз комбиновану примену са органским и минералним ђубривима утиче се на значајно повећање садржаја и приступачности хранива, повећање садржаја хумуса у земљишту, а тиме и његове опште плодности и повећања приноса гајених биљака (*Lemon-Ortega et al., 2000; Pracházková et al., 2002; Јаћимовић и сар., 2009; Latković et al., 2015; Јаћимовић et al., 2016*).

Као једна од основних предности биомасе у односу на друга обновљива горива истиче се могућност њеног складиштења, чувања и наменског искоришћења за подмиривање тренутних енергетских потреба. Поред тога, шире друштвено-социјалне предности коришћења биомасе огледају се и кроз нова радна места и промовисање развоја руралних подручја која учествују у циклусу гајења, прикупљања и дистрибуције биомасе као горива.

Како претходно наведена дефиниција биомасе обухвата широк спектар могућих производа, препозната је неопходност стандардизације одређених врста биомасе као горива, чији ће тачно дефинисани квалитет омогућити да процеси сагоревања у постројењима намењеним за сагоревање биогорива резултују очекиваном количином енергије и радом одговарајућих постројења за сагоревање.

Познавање карактеристика коришћеног горива представља основни податак који утиче на карактеристике и ефикасност процеса сагоревања, као и на емисије супстанци које загађују животну средину.

Европски комитет за стандардизацију (*European Committee for Standardization - CEN*) дефинисао је грубу класификацију биомасе према пореклу и то на (www.cen.eu):

1. нетретирану дрвну биомасу,
2. енергетске засаде,
3. остатке и отпад из пољопривредне и животињске производње,
4. органске остатке и отпад из комуналне и индустријске делатности.

У зависности од агрегатног стања, биомаса се може поделити на:

- а) чврсту (брикетирана и пелетирана биомаса),
- б) течну (биоетанол, биометанол и биодизел),
- ц) гасовиту (биогаз, депонијски отпад...).

а) Биомаса у *чврстом облику* обухвата дрвну биомасу из сектора шумарства, остатке дрвно прерађивачке индустрије, остатке и отпад из пољопривредне производње, укључујући ратарство, воћарство и виноградарство, органску компоненту комуналног отпада и енергетске засаде, као и чврста горива добијена од поменутих сировина.

б) Биомаса у *течном облику* обухвата течна биогорива (биоетанол, биодизел и биљна уља) која се добијају прерадом примарне пољопривредне сировине, као и синтетичка биогорива.

ц) *Гасовито биогориво* подразумева биогаз или синтетички гас који се добија углавном прерадом животињских екскремената, енергетских засада или остатака из пољопривреде.

У складу са EN ISO 17225-1 : 2014 (*European Committee for Standardization, 2014*) најгрубља подела чврсте биомасе извршена је по пореклу и то на следеће категорије :

1. дрвна биомаса,
2. биомаса из ратарске производње,
3. биомаса из воћарске производње.

Поједини аутори (*Panwar et al., 2012, Gvozdenac et al., 2010a; Demirbas et al., 2009*) су установили другачију поделу биомасе - према пореклу на:

1. дрвна биомаса (остаци из шумарства, отпадно дрво),
2. дрвна узгојена биомаса (брзорастуће дрвеће),
3. недрвна узгојена биомаса (брзорастуће алге и траве),
4. остаци и отпаци из пољопривреде,
5. животињски отпад и остаци,
6. градски и индустријски отпад.

Главне карактеристике биомасе као извора енергије су (McKendry, 2002):

- садржај воде,
- топлотна моћ или калоријска вредност,
- однос коксног остатка и волатила,
- садржај пепела као остатка,
- садржај алкалних метала,
- однос целулоза/лигнин.

Полазећи од чињенице да постоји велики број различитих биомаса које могу да се примене као биогорива, разматраће се само карактеристике и сазнања до којих се до сада дошло о биомасама које су предмет истраживања у овој дисертацији.

5.1. СОЈА

Соја (*Glycine max*) је глобално најраспрострањенија махунарка, чије зрно садржи велику количину протеина и уља. Ово је једногодишња биљка, која је временом, због своје употребне вредности у многим државама постала епитет усева будућности (Вратарић, 1986). Соја је релативно отпорна на ниске (мада је изузетно осетљива на мраз) и врло високе температуре, при чему јој се производни оптимум разликује, зависно од фазе раста и развоја. Ово је легуминоза из групе термофилних биљака, чији је вегетациони период у условима Србије од 100 до 145 дана. Потребне у топлоти, зависно од сорте, изражене у топлотним сумама за успевање соје, зависно од дужине вегетације износе од 1600 °C до 3200 °C (Марковић, 2015). Соја успева на већини типова земљишта, али јој посебно одговарају дубоке, плодне, добро дрениране иловаче, неутралне реакције. У нашим климатским условима највећи приноси постижу се на чернозему, затим на ливадској црници, смоници и алувијалном земљишту (Миладиновић, 2012).

У зрну соје, налази се око 40 % укупних протеина и око 20 % уља, тако да има велику хранљиву и енергетску вредност. У складу са светским и европским трендом, посебно према Директиви 2009/28/ЕС, жетвени остаци соје (стабљика) представљају важан ресурс обновљиве енергије.

Стабљика соје, влажности 14 %, има топлотну моћ (15-16) MJ kg⁻¹, која превазилази вредности биљних остатака других усева. Просечан жетвени индекс за 2011. годину износио је 0,47 што је типично за висок принос зрна, али и за висок принос жетвених остатака, који је износио 5,3 t ha⁻¹ суве материје. При жетви соје примењује се мала висина реза косионог апарата да би се смањили губици.



Слика 1. Соја

Табела 1. Показатељи за производњу соје у Републици Србији за период 2014-2017. година

Година	Пожњевена површина/родна површина, ha	Укупан принос, t	Принос, t /ha
2014	154.249	545.898	3,5
2015*	184.841	454.431	2,5
2016	182.362	576.446	3,2
2017	201.712	461.272	2,3

Извор: Подаци за соју за Републику Србију за период 2014-2017. година.

Доступно на: <http://webrzs.stat.gov.rs/WebSite/public/ReportView.aspx>

Напомена: * 2015 –година истраживања.

5.2. ПШЕНИЦА

Пшеница (*Triticum sp.*) као једна од најважнијих хлебних жита у свету, данас заузима прво место према сетвеним површинама. Захваљујући високом степену адаптивности на агроколошке услове пшеница се гаји на највећем географском простору и у данашње време заузима око 23 % светских обрадивих површина (www.europlantaze.com). Према произведеним количинама зрна, пшеница је на трећем месту, иза кукуруза и пиринча.

Пшеници највише одговарају дубока, умерено влажна и благо кисела (pH 6,5-7) земљишта, богата хумусом, као што су чернозем, ливадске црнице, плодне гајњаче и алувијуми, уколико нису угрожени подземним водама.

Релативно добро подноси ниске (осим у критичној фази ницања и клијања, кад захтева температурни оптимум од 14 °C до 20 °C, а у којима је посебно осетљива на дуге периоде са јаким мразевима) и високе температуре (Мађарић, 1985). Температурни захтеви озиме пшенице се могу сагледати и кроз потребну суму средњих дневних температура у периоду вегетације, која се креће у распону од 1400 °C до 1500 °C (Оторенец, 1980). У производним условима Србије, озима пшеница највише захтева за водом има у пролећном периоду, захтевајући просечно око 300 mm воде (Dragović, 2008).

Пшеница се користи пре свега као хлебна биљка, и у употреби је код 70 % светске популације. Пшенични хлеб изузетно је калоричан (9 MJ kg^{-1}), а садржи и висок проценат протеина (16-17) %. Пшеница је пре свега млински производ а њен најважнији нуспроизвод - слама, може имати велику примену у добијању енергије из биомасе, након обављене жетве.

У сточарству се слама као споредни производ користи и као простирка у стајама (*Gibson and Benson, 2002*). Жетвени остаци пшенице (слама и плева) представљају потенцијално велики извор енергије. Слама у просечном приносу надземне биомасе учествује, зависно од сорте, са (5-45) % тако да се са једног хектара може добити (4000-6500) kg сламе и плеве (*Ђурић и сар., 2015*).

Будући да се гаји на највећим површинама у свету, остају велике количине сировине подесне за коришћење у производњи биогорива. Вредности просечног жетвеног индекса* износе 0,49 (*Вишковић и сар., 2012*).

Вредност доње топлотне моћи пшеничне сламе је око 14 MJ kg^{-1} што је еквивалентно топлотној моћи 3 kg пшеничне сламе или 1 kg лож уља (*Јовановић и Паровић, 2009*).



Слика 2. Пшеница

Табела 2. Показатељи за производњу пшенице у Републици Србији за период 2014-2017. година

Година	Пожњевена површина/родна површина, ha	Укупан принос, t	Принос, t/ha
2014	604.748	2.387.202	3,9
2015*	589.922	2.428.203	4,1
2016	595.118	2.884.537	4,8
2017	556.115	2.275.623	4,1

Извор: Подаци за пшенице за Републику Србију за период 2014-2017. година

Доступно на: <http://webrzs.stat.gov.rs/WebSite/public/ReportView.aspx>

Напомена: * 2015 –година истраживања.

*Жетвени индекс представља однос између укупног биолошког приноса (надземне биомасе) и пољопривредног приноса (приноса зрна). Овај параметар у великој мери зависи од метеоролошких услова у посматраној години, начина гајења и избора генотипа (*Ољача и Долијановић, 2010*).

5.3. СУНЦОКРЕТ

Сунцокрет (*Helianthus annuus* L.) је значајна биљна врста у свету али и код нас. Просечан принос у свету износи око $1,2 \text{ t ha}^{-1}$. У Србији се сунцокрет гаји на 5 % обрадиве површине са просечним приносом од око $2,6 \text{ t ha}^{-1}$.

Цвета од јуна до септембра, а велики главичасти цветови развијају се појединачно на врховима стабљике. Плод сунцокрета је семе које се користи за добијање уља и мањим делом за исхрану стоке. Сунцокрет се може прилагодити различитим климатским условима. Иако добре производне резултате даје на многим типовима земљишта, највише му одговарају дренирана земљишта високе плодности (богата хумусом), неутралне реакције (оптималан ранг рН земљишта је 6-8), попут чернозема, ритске црнице и алувијума. Не одговара му изражено присуство азота, с обзиром да јак вегетативни пораст биљке (лисна маса и главица) захтева доста воде и умањује отпорност биљке ка суши и болестима (Балалић, 2012).

Оптимална температура код клијања семена и ницања биљке је $(10-12) \text{ }^\circ\text{C}$ (доња граница је $4 \text{ }^\circ\text{C}$), док у каснијим фазама температура испод $6 \text{ }^\circ\text{C}$ може трајно да оштети одраслу биљку. Идеалне температуре у вишим фазама раста и развоја су у распону $21 \text{ }^\circ\text{C}$ до $25 \text{ }^\circ\text{C}$, при чему излазак из температурног опсега ($17-33$) $^\circ\text{C}$ умањује продуктивност биљке. У условима Србије, просечне потребе за водом се крећу око 460 mm , док ефекат наводњавања на раст приноса у просеку износи око 40 % (Dragović, 2008). Изузетно високе температуре доводе до слабије наливености зрна и нижег учешћа уља у зрну. Укупан период раста варира од 70 до 200 дана (Joshi, 2015). Према температурном индексу GDD - Growing degree days (суми акумулиране температуре током вегетационог циклуса), може се процењивати развој биљке, њена зрелост, принос и компоненте приноса. За сунцокрет је карактеристично да се, зависно од сортимента и хибрида, вредност овог индекса креће у распону од $1140 \text{ }^\circ\text{C}$ до $1400 \text{ }^\circ\text{C}$ (Qadir et al., 2007). Расположиве површине под сунцокретом и прерадни капацитети у највећем обиму смештени су у Војводини (Стевановић, 2009).

Број истраживања која обрађују могућност убирања жетвених остатака и њихово коришћење као обновљивог извора енергије је мали. Просечна количина жетвених остатака након убирања сунцокрета, која може да се искористи, износи 32 % укупних жетвених остатака.

Количина биљних остатака сунцокрета је 2,1 пута већа од зрна. То даје жетвени индекс 0,32 (Rosentrater et al., 2009). Однос зрно : глава : стабљика (са гранама и лишћем) је 1 : 1,3 : 2,9 (Мартинов, 1982).

Као обновљив извор енергије могуће је користити и главе сунцокрета које заостају након технолошког поступка прераде. Од пречника главе зависи број цветова, а самим тим и број зрна по глави, што има директан утицај на принос семена по биљци (Tahir et al., 2002) а тиме и на расположиву количину ове врсте биомасе.

На величину главе велики утицај има генотип, али и услови спољашње средине који се јављају у време цветања и оплодње (Маринковић и сар., 2003). Од спољашњих чинилаца најзначајнији су правилан распоред, број биљака по јединици површине, снабдевеност водом и хранљивим супстанцама.

Жетвени индекс биљке сунцокрета нижи је него код већине ратарских биљних врста (типично око 0,5 за пшеницу и кукуруз). То значи да, при производњи сунцокрета, на парцели остаје више биљних остатака, односно, уколико се у обзир узме нижи принос зрна, количина биљних остатака може да буде на нивоу који је упоредив са пшеницом или сојом. На располагању су и значајне количине љуске сунцокрета, које остају при преради у уљарама, а углавном се користе као сточна храна или у енергетске сврхе.

Вредност доње топлотне моћи за ваздушно суву стабљику је $13,9 \text{ MJ kg}^{-1}$, а $16,3 \text{ MJ kg}^{-1}$ за пелете од љуски сунцокрета (*Lindley, 1988*). Доња топлотна моћ суве масе љуски сунцокрета је, према мерењима спроведеним у Србији, око $19,1 \text{ MJ kg}^{-1}$, а највише зависи од поступка одвајања, односно удела дробљеног зрна (које има висок садржај уља и знатно вишу доњу топлотну моћ).



Слика 3. Сунцокрет

Табела 3. Показатељи за производњу сунцокрета у Републици Србији за период 2014-2017. година

Година	Пожњевена површина/родна површина, ha	Укупан принос, t	Принос, t/ha
2014	175.366	509.250	2,9
2015*	166.192	437.084	2,6
2016	200.299	621.127	3,1
2017	219.338	540.590	2,5

Извор: Подаци за сунцокрет за Републику Србију за период 2014-2017. година

Доступно на: <http://webzrs.stat.gov.rs/WebSite/public/ReportView.aspx>

Напомена: * 2015 –година истраживања.

5.4. КУКУРУЗ

Кукуруз (*Zea mays L.*) припада групи жита, једногодишњи ратарски усев. Успешно се гаји у климатским условима од умерених до тропских (распрострањен је на свим континентима), у периодима године када дневне просечне температуре не падају испод $15 \text{ }^\circ\text{C}$ (није толерантан на мраз и ниске температуре).

Кукуруз је биљка висине од 1,5 m до 3 m. Стабљика је снажна, са широким линеарним листовима. Време цветања ове биљке протеже се од јуна до августа. Као термофилна биљка тражи доста топлоте и светлости, односно може захтевати суму средњих дневних температура од $1800 \text{ }^\circ\text{C}$ (рани хибриди), до више од $3700 \text{ }^\circ\text{C}$ (касни хибриди). Толеранција на топлоту и суве атмосферске услове (трпи температуре и до $45 \text{ }^\circ\text{C}$) је само у случају уколико на располагању има довољне количине воде. Веома ефикасно користи воду у погледу стварања суве материје, те је међу житарицама можда и најприноснији усев. Добри приноси захтевају од 500 mm до 800 mm воде у току вегетационе сезоне (*Steduto et al., 2012*).

У зависности од климатских карактеристика производних подручја у Србији, вегетациони период је од априла до октобра. Као критичан период развоја биљке означен је период од фазе убрзаног раста стабљике, преко метличења и цветања, до фазе наливања зрна (од половине јуна до половине августа). Потребне за водом у том периоду најчешће износе: током јуна око 90 mm, јула око 100 mm, августа око 95 mm. Иако добро подноси краће сушне периоде, висином приноса значајно реагује на додатне количине воде (*Гламочлија, 2012*). Кукуруз у просеку има потребу за око 500 mm воде, распоређене у 2-4 турнуса наводњавања, при чему ниво наводњавања по једном циклусу може да варира од 40 mm до 60 mm. Наводњавани кукуруз има значајно више просечне приносе у односу на кукуруз произведен у систему сувог ратарења, просечно веће за чак 40 % (*Dragović, 2008*).

Најбоље успева на земљиштима благо киселе до благо алкалне реакције, а као најпогоднији типови земљишта се означавају чернозем, ливадска и ритска црница, плодне гајњаче и плодни алувијуми (*Настућ, 2014*).

Употребљава се за исхрану људи и домаћих животиња и за индустријску производњу. Веће количине кукуруза се користе у производњи алкохола (*Stockinger et al., 1998*), а све је већа примена кукурузних остатака као биомасе, из које је могуће добити биогорива (*Obernberger et al., 2000*). Често се у нашим крајевима кукуруз користи као огревно средство због велике топлотне вредности.

Енергетска вредност кукурузовине као биогорива је висока. Већа је од лигнита и износи око 16,6 MJ kg⁻¹. Кукурузовина је са окласком, комушином (огризином) и метлицом, дуго времена била једино гориво за загревање сеоских домаћинстава. Дрво је коришћено само за потпалу, а угаљ за одржавање ватре. Поменути остаци могу се користити за добијање, како топлотне, тако и електричне енергије. Искуства из развијених земаља у Европи, попут Данске, показују да се ради о изузетно вредном извору енергије, који не би требало занемарити.

Након бербе кукуруза остаје стабилка са лишћем и даје просечан однос зрна и масе (53:47) %. Може се закључити да је количина зрна и биомасе скоро једнака. Међутим, заоравањем се мора остављати један део те масе, па се сматра да око 30 % остаје за искоришћавање у енергетске сврхе. То је значајан %, нарочито у регионима где је највећа производња, а то су, пре свега, Семберија и Војводина.



Слика 4. Кукуруз

Табела 4. Показатељи за производњу кукуруза у Републици Србији за период 2014-2017. година

Година	Пољевена површина/родна површина, ha	Укупан принос, t	Принос, t/ha
2014	1.057.877	7.951.583	7,5
2015*	1.010.227	5.454.841	5,4
2016	1.010.097	7.376.738	7,3
2017	1.002.319	4.018.370	4,0

Извор: Подаци за кукуруз за Републику Србију за период 2014-2017. година.

Dostupno na: <http://webrzs.stat.gov.rs/WebSite/public/ReportView.aspx>

Напомена: * 2015 - година истраживања.

5.5. ДРВО БУКВЕ

Србија се сматра средње шумовитом земљом. Према подацима РЗС, под шумом и шумским земљиштем је око 2,2 милиона хектара, а степен шумовитости износи 29 % површине Србије (без територије Косова и Метохије), што је близу светског (30 %), али знатно ниже од европског (46 %) и оптималног степена шумовитости (41 %).

Табела 5. Површине шума по регионима Србије 2014. године

Република Србија, региони	Укупно, ha	Учешће %
Регион Војводина	123.811	5,7
Београдски регион	61.626	2,8
Регион Шумадије и Западне Србије	963.740	44,4
Регион Јужне и Источне Србије	1.019.569	47,0
Укупно Република Србија	2.168.746	100,0

Извор: Статистички годишњак републике Србије, 2017.

Из приказаних података у табели 5 може се видети да највеће површине под шумама имају региони Јужне и Источне Србије (47,0 %) и Шумадије и Западне Србије (44,4 %).

У односу на укупан шумски фонд по запремини, учешће лишћара у Србији износи 87,7 %, а четинара 12,3 %. У региону Војводине 55 % укупних шума чине чисти лишћари, а 43 % мешовити лишћари. У Шумадији и Западној Србији половину укупних шума (51 %) чине чисти лишћари, а у региону Јужне и Источне Србије чак 71 %. Везано за врсте дрвећа, у Србији је констатовано присуство 40 лишћарских и 9 четинарских врста дрвећа. Најзаступљенија лишћарска врста је буква (29 %), а од четинарских врста бели и црни бор са 6 % (Банковић и сар., 2009).

Буква (*Fagus sylvatica* L.) припада породици *Fagaceae*. Представља најраспространију листопадну дрвенасту врсту у Европи. Листови су овални, дужина им се креће од 5 cm до 10 cm. Крошња букве је густа, плод им је купола, која кад сазри, пуца на четири дела. Кора стабла је сива. Стабло може да достигне и 30 m висине, и има успорен раст (Гајић и сар., 1992).

Опрашује се ветром. Расте на брдским и планинским подручјима као аутохтона шумска врста. У Србији буква се може наћи на надморским висинама од 70 m (у Ђердапу), па до

преко 1500 m на високим планинама, на Проклетијама и до 2100 m надморске висине. Ипак, њен еколошки оптимум је у зони њене највеће биопродукције између 450 m и 1100 m, чак и до 1500 m надморске висине, што зависи и од регионалних карактеристика климе. Испод ове оптималне зоне, повећана температура и смањена количина влаге су главни ограничавајући фактори, док је на већим надморским висинама њена распрострањеност у највећој мери ограничена нижим температурама (Јовановић *i sar.*, 2005; Јанковић и Цејетићанин, 2012; Schieber *et al.*, 2013). Буква расте при врло различитим условима спољашње средине: на киселим и базним подлогама, и на местима где је годишњи ниво преципитације (процес стварања талога хемијским путем) > 2,000 mm (Leuschner, 1998). Добро подноси и засенчена места (Masarovicova and Stefanich, 1990).

Дрво се сматра једним од најзначајнијих обновљивих извора енергије (Grieco *et al.*, 2011). Дрвна биомаса може се добити од засада који су намењени управо за производњу дрвне биомасе, али и од шумског отпада (Orfao *et al.*, 1999).



Слика 5. Дрво букве.

5.6. ДУВАН ТИПА БЕРЛЕЈ

Дуван (*Nicotiana tabacum*) типа Берлеј спада у групу крупнолисних дувана. Према технолошкој класификацији спада у АС дуване (*air-cured tobacco*) који се суше на ваздуху, у хладу.

У зависности од услова гајења мења се висина струка и може да нарасте од 140 cm до 230 cm. Стабљика код овог типа дувана је чврста и дебела, зелено-беличасте боје. Може да развија 18-24 листа, од којих се бере 14-16 (слика 6а). Однос ширине и дужине листа је 1:1,8 што зависи од квалитета земљишта на ком је дуван гајен, и примењених агротехничких мера.

У зависности од сорте, дужина средњег лишћа се креће (40-60) cm, а некадашња сорта “Т” имала је листове до 1 m дужине. Главно ребро је дебело и изражено. Величина листа у великој мери зависи од агротехничких мера, пре свих заламања цвасти и закидања заперака, као и од врсте и количине примењених ђубрива. Боја осушеног листа је мрка (слике 6 б и 7). Боја доњег лишћа треба да је слична ораху, код средњег лишћа боји лешника, а код горњих инсерција је светло црвена или жуто-кафена. Све боје морају да имају и одговарајући сјај (Радојичић, В., 2011).



Слика 6 (а и б). Дуван типа Берлеј

Дуван типа Берлеј прилагођен је дубоком, добро аерираном и плодном земљишту. Одговарају му земљишта као што су чернозем, алувијално и песковито земљиште, ливадске црнице са преко 3 % хумуса, док тешке смонице треба избегавати јер имају слабу пропустљивост воде и слабе су аерације. Овај тип дувана захтева око 600 mm воденог талога у вегетационом периоду. Обавезне агротехничке мере су заламање цвасти, закидање заперака и ђубрење NPK ђубривом (Радојичић, В., 2011).

Слика 7. Осушено лишће дувана типа Берлеј
(www.sixstarstobacco.co.uk)

Просечно се расађује 20.000-25.000 струкова по хектару, са просечним приносом до 100 грама осушених листова по струку. Гаји се у војвођанском и подрињско-колубарском производном подручју (Радојичић, В., 2011).

Табела 6. Показатељи за производњу дувана у Републици Србији
за период 2014-2017. година

Година	Пожњевена површина/родна површина, ha	Укупан принос, t	Принос, t/ha
2014	4.899	9.341	1,9
2015*	5.012	8.776	1,8
2016	5.256	7.810	1,5
2017	5.069	7.173	1,4

Извор: Подаци за дуван за Републику Србију за период 2014-2017. година.

Доступно на: <http://webzrzs.stat.gov.rs/WebSite/public/ReportView.aspx>

Напомена: * 2015 –година истраживања.

5.6.1. Физичке и хемијске особине дуванске стабљике

Боја дуванске стабљике може да варира од тамнозелене, преко зелене, светлозелене, маслинасте, беличасто зелене до беличасто жуте (слика 8). Према дебљини стабљика може да буде танка, средње дебела и дебела. На стабљници је причвршћено лишће у виду спирале.



Слика 8. Стабљике дувана након завршене бербе листова (www.flickr.com)

Стабљике дувана, које су према категоризацији сврстане у зелени дувански отпад (*Radojičić et al., 2009b*), такође чине значајан део биомасе Србије.

Према истраживању (*Peševski et al., 2010*) дуванска стабљика садржи (40-45) % лигнина и значајну количину целулозе (35-40) %. Према прелиминарним истраживањима рађеним на дувану типа Берлеј са производног подручја у Србији, стабљика дувана типа Берлеј садржи: 46,47% целулозе, 18,5% лигнина, 4,21% пепела и 0,114% никотина (*Malnar et al., 2015*).

Потенцијална количина биомасе из производње дувана у Републици Србији се мења из године у годину (табела 6). Према подацима Републичког завода за статистику, у 2012. години крупнолисни дувани, Берлеј и Вирџинија, гајили су се на 5.407 хектара. Имајући у виду да је просечан број стабљика 22.500 по хектару, укупан број стабљика износио је 121.657.500. Просечна тежина осушене стабљике је око 400 g (*Radojičić et al., 2014a*), што значи да се може добити 9.000 kg осушених стабљика по хектару. Дакле, у 2012. години са 5.407 хектара добијено је око 48.663 тона стабљика дувана. Рачунајући да се један део (око 30 %) оставља на њиви и заорава, у циљу побољшања плодности, расположиво је било око 34.064 t стабљика, које би се могле искористити за добијање различитих производа.

Од 2016. у Републици Србији производе се само крупнолисни дувани, тип Берлеј и Вирџинија. Према подацима приказаним у табели 6, дуван се у 2017. гајио на 5.069 хектара. Узимајући у обзир просечан број стабљика по хектару (22.500) и просечну тежину стабљике (400 g), укупан број стабљика у 2017 износио је 114.052.500, што укупно износи 45.621 t (расположиво 31.935 t).

У последњој деценији у Србији су порасла интересовања о примени дуванских стабљика као биогорива. Истраживања реализована на дувану из Србије, али без навођења врсте која је испитивана, показала су да је доња топлотна вредност стабљике дувана 13,85 MJ kg⁻¹ (*Јовановић и сар., 2009*).

Стабљике дувана, према литературним подацима, могу да имају разноврсну примену и да се употребе за добијање великог броја производа, као на пример:

- пресовањем или брикетирањем може се добити еколошко гориво;
- помоћу савремене индустријске прераде биомасе могу да се произведу грађевински материјали попут разних пресованих плоча;
- могуће је производити делове намештаја (плоче, иверице);
- користе се за производњу агенаса за чишћење металних површина, као прах;
- пошто ова биомаса садржи велике количине укупних шећера, погодна је за производњу алкохола и биогаса ферментацијом;
- користе се за производњу компоста за гајење печурака;
- користи се за производњу папира, картона, текстила, због високог садржаја целулозе (Kulić and Radojičić, 2011).

5.7. БРИКЕТИРАЊЕ БИОМАСЕ

Давне 1918. године у Швајцарској је патентирана преса за брикетирање старог папира влажним поступком, а 1923. основни принцип брикетирања дрвне масе (високим притиском и повишеном температуром), па је искуство брикетирања лигноцелулозног материјала скоро вековно (Радовановић и сар., 1995).

На овом принципу заснован је и савремени индустријски поступак брикетирања лигноцелулозног отпада у биобрикету (отпадака од дрвета, тресета и друге биомасе).

Под биобрикетима подразумева се производ технолошког поступка брикетирања - компактна форма биомасе која има далеко већу запреминску масу него што је то запреминска маса материјала од кога је биобрикет направљен. Сам поступак брикетирања се састоји у сабијању лигноцелулозног материјала у што мању запремину помоћу преса (Митић, 1998).

Процес брикетирања примењивао се прво у рудницима угља. На клипној преси вршено је пресовање отпадака и прашине од угља. Сама реч-брикет, води порекло из енглеског језика - „*briquet*” и значи цигла или опека, што је асоцијација на изглед брикетиране масе.

Процес брикетирања биомасе у Србији кренуо је 80-тих година прошлог века а 90-их година се из бројних разлога стало са брикетирањем биомасе. Развој је настављен касније, тако да од 2007. године креће експанзија развоја фирми које се баве како брикетирањем, тако и пелетирањем биомасе.

Брикетирање биомасе се врши како би се смањила запремина кабасте биомасе и на тај начин олакшао транспорт, складиштење и чување. При томе, дозирање биомасе у ложиште не мора да буде континуално, као што је случај са растреситом биомасом. На тај начин, биомаса која се углавном користила за потребе или самих пољопривредника или индустријских постројења, где је настајала као нуспроизвод главне производње, постаје доступна и другим индустријама, али и домаћинствима, дакле постаје роба за тржиште. Брикетирање је, осим наведених предности, носило и повећање ефикасности у процесу сагоревања, али и отпорност материјала на биолошке процесе кварања.

Сам процес производње брикета је једноставан и не захтева велика улагања (Остојић, 1996). Међутим због трошкова обраде, паковања и транспорта, биомаси се повећава цена на тржишту.

Брикети се формирају пресовањем уситњених честица лигноцелулозног материјала, са или без везивних средстава, при чему се компактност и збијеност обезбеђује термопластичним слепљивањем честица биљног материјала. Брикетирање се врши под одређеним условима: висок притисак, повишена температура и оптималан садржај влаге у материјалу од 15 %.

Јако је битан и степен уситњености полазног материјала од 3 mm до 5 mm. Правилно уситњени материјал омогућава већу сабијеност брикета, без прашине и пуцања (*Grover and Mishra, 1996*). Величина притиска пресе дефинише се на основу физичких својстава материјала. Повећаном притиску одговара већа збијеност (густина) материјала и обрнуто.

За производњу брикета могу се користити различити остаци у пољопривредној производњи: слама од житарица и уљарица, кукурузовина, окласак, стабљике сирка, љуске од семена сунцокрета, главе и стабљике сунцокрета, остаци од стабљике конопље, хмеља и дувана, стабљике пасуља, отпаци од зрна житарица и уљарица настали у поступку чишћења зрна, коштице и љуске воћа, гране од резаних стабала воћа и винове лозе.

Што се тиче употребе дрвета као биомасе за коришћење у енергетске сврхе, да би се могао производити брикет ниво влажности дрвног остатка не сме бити нижи од 6 % нити виши 16 % укупне унутрашње влаге. Коначна влажност готових дрвних брикета је у опсегу (7-10) %. Према истраживањима, 2 kg дрвних брикета дају енергетску вредност као 1 литар лож уља (*Главоњић, 2011*).

5.8. ПРОЦЕНА ДОПРИНОСА ИСКОРИШЋЕЊУ ПОЉОПРИВРЕДНЕ БИОМАСЕ КАО ОБНОВЉИВОГ ИЗВОРА У СВЕТУ И ЕВРОПИ

Доступни подаци указују да се свет убрзано приближава граници исцрпљивања неких извора енергије и да се озбиљно сусреће са феноменом недостатка енергетских ресурса. Енергетска баријера је карактеристичан феномен данашњег света који мора континуирано да се прати, израчунава и контролише (*Цветановић и Младеновић, 2015*).

Забринутост за ту енергетску нестабилност датира од 1970. године, када је свет био погођен „нафтном кризом”. Због тога је 1974. године основана Међународна агенција за енергију - *International Energy Agency – IEA* (<https://www.iea.org/about/history>).

Осим тога, коришћењем фосилних горива као енергената настају велика загађења ваздуха што значајно доприноси повећању ефекта стаклене баште. Из тих разлога континуирано се ради на изналажењу нових извора енергије, што првенствено укључује ОИЕ.

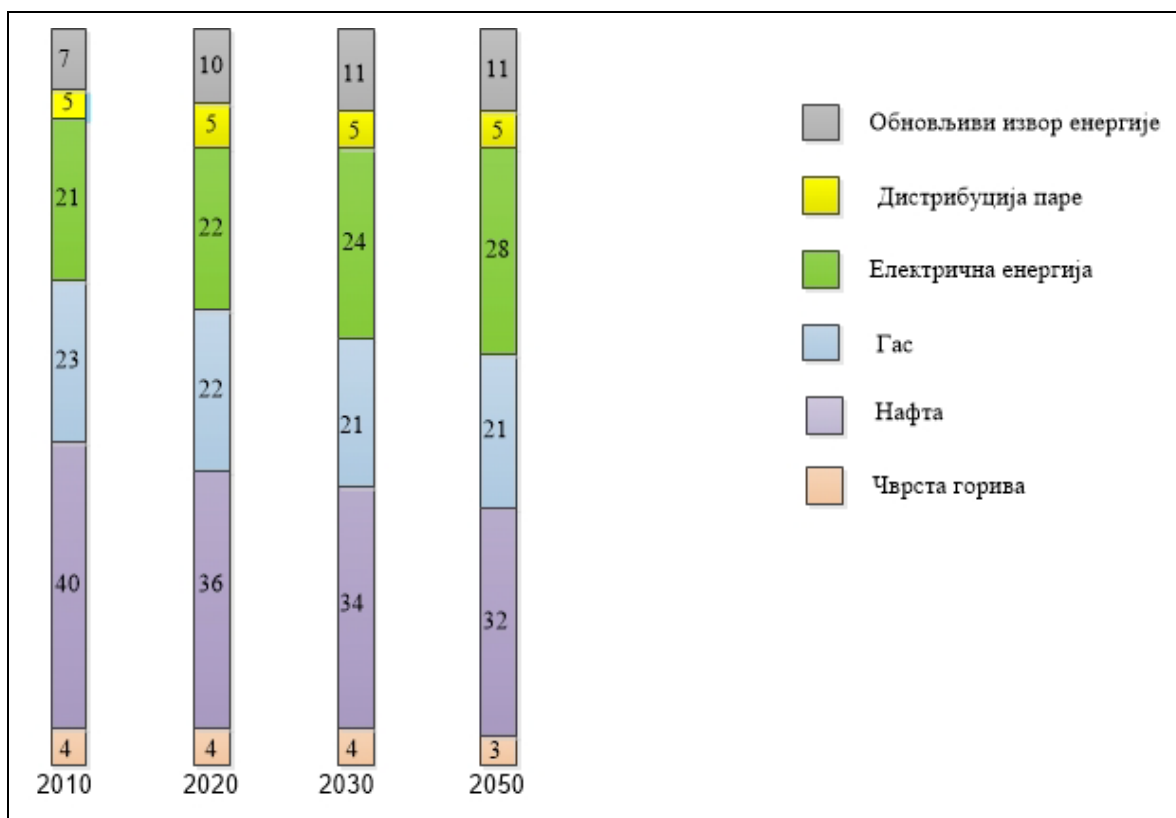
Обновљиви ресурси, који тренутно задовољавају незнатан део светских потреба за енергијом, могли би постати значајнији. Њихов велики допринос заштити животне средине је кроз смањење емисије штетних гасова.

Гасови као што су угљеник - (IV) оксид, метан, азотни оксиди и водена пара су познати као гасови стаклене баште, из разлога што као и стакло у стакленој башти, задржавају инфра црвену радијацију која би иначе отишла у земљину атмосферу. Ово задржавање доводи до ефекта загревања и то “глобалног загревања” које може узроковати климатске промене.

Европска унија (ЕУ) представља глобалног лидера у борби за веће учешће ОИЕ у сектору енергетике. Доследним и систематским приступом ЕУ успешно повећава коришћење ОИЕ у земљама чланицама, промовише употребу “чистих” технологија и све значајније се окреће техничким решењима која мање нарушавају стање животне средине и здравље људи, чак и по цену да то представља економски неповољнију опцију производње енергије.

Један од главних задатака Европске уније и у 21. веку је искоришћење обновљиве енергије као битног потенцијала у обезбеђењу енергетских потреба и као еколошки прихватљивог извора енергије. Субвенције за коришћење ОИЕ које су увођене у земљама ЕУ, почевши од 2000. године (најпре у Немачкој и Данској, а затим и у осталим земљама ЕУ), сведоче у прилог чињеници да је ЕУ спремна да дугорочно подржи примену ОИЕ.

На слици 9 приказан је предлог ЕУ са аспекта финалне потрошње енергије до 2050. године. Уочава се смањење у коришћењу нафте и гаса. Потрошња чврстог горива остаје непромењена до 2030. године, док се до 2050. године очекује мало смањење.



Слика 9. Финална потрошња енергије у Европској унији (%)

Извор: European Commission, *EU energy, transport and GHG emissions trends to 2050, EU Reference scenario 2013*, European Union, 2013, str. 35.

5.9. ПРОЦЕНА ДОПРИНОСА ИСКОРИШЋЕЊУ ПОЉОПРИВРЕДНЕ БИОМАСЕ КАО ОБНОВЉИВОГ ИЗВОРА У СРБИЈИ

Као земља која претендује на чланство у ЕУ, Република Србија је потписивањем различитих међународних споразума преузела читав низ обавеза у погледу повећања коришћења ОИЕ.

Поменуте одлуке сведоче о озбиљној намери државе да повећа учешће ОИЕ у енергетски интензивним делатностима, како би до 2020. године учешће ОИЕ у бруто финалној потрошњи енергије са 21,2 %, колико је износило у 2009. години, било повећано на 27 %.

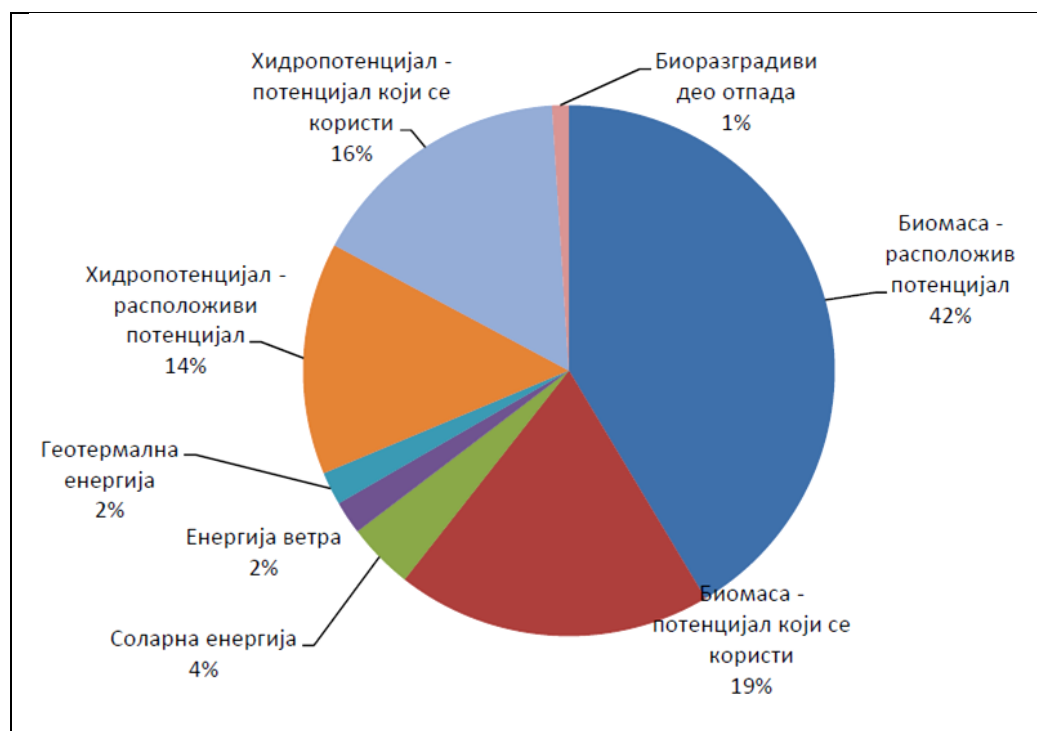
Табела 7 приказује учешће о обавезујућим циљевима ОИЕ у биомаси за регион Југоисточне Европе, међу којима је и Република Србија.

Табела 7. Национални свеобухватни циљеви за учешће ОИЕ у укупној финалној потрошњи енергије у 2020. години

Држава	Учешће енергије из ОИЕ у укупној финалној потрошњи енергије у 2009.	Циљ за учешће енергије из ОИЕ у укупној финалној потрошњи енергије у 2020.
Албанија	31,2 %	38 %
Босна и Херцеговина	34,0 %	40 %
Хрватска	12,6 %	20 %
Македонија	21,9 %	28 %
Молдавија	11,9 %	17 %
Црна Гора	26,3 %	33 %
Србија	21,2 %	27 %
Украјина	5,5 %	11 %
УНМИК - Косово	18,9 %	25 %

Извор: (Ministerial Council of the Energy Community, 2012).

У Стратегији развоја енергетике Републике Србије до 2025. године, са пројекцијама до 2030. године („Службени гласник РС“, број 101/ 2015), препозната је очекивана улога ОИЕ у енергетској будућности Србије, при чему је биомаса, која учествује са чак 61 % у укупном потенцијалу ОИЕ наше земље, идентификована као најзначајнији обновљиви ресурс којим Србија располаже (слика 10).



Слика 10. Структура обновљивих извора енергије у Републици Србији

Извор: Република Србија, Министарство енергетике, развоја и заштите животне средине, Национални акциони план за коришћење обновљивих извора енергије Републике Србије, (2013) стр. 7.

У складу са националним акционим планом за коришћење обновљивих извора енергије - НАПОИЕ Републике Србије („Службени гласник РС“, број 53/2013), планирано је да учешће ОИЕ у поменутом сектору достигне 27 % у 2020. години.

Циљеви постављени у националном акционом плану за коришћење обновљивих извора енергије Републике Србије из 2013. године предвиђају њихово учешће у сектору електричне енергије од 36,6 %, у сектору грејања и хлађења 30 % и у саобраћајном сектору 10 % у 2020. години. Овако постављени појединачни циљеви, уколико се остваре, допринеће остварењу укупног циља од 27 % учешћа обновљивих извора у укупној потрошњи енергије у 2020. години (*Република Србија, Министарство енергетике, развоја и заштите животне средине, 2013*).

5.10. РАСПОЛОЖИВИ ПОТЕНЦИЈАЛ ИСПИТИВАНИХ ОБЛИКА ПОЉОПРИВРЕДНЕ БИОМАСЕ У СРБИЈИ

Од свих облика биомасе, тренутно се у Србији експлоатише дрвна биомаса (сеча шума, пањеви, остаци након резидбе воћњака и винограда) као енергент. Супротно чињеницама, еколошки прихватљива стратегија *CEI (2013)* до 2030. године ставља акценат на све масовније коришћење отпада из пољопривреде што значајно доприноси значају ове тезе, која се бави биомасом дувана типа Берлеј.

У пољопривредну биомасу спадају све оне биљне врсте које се данас комерцијално гаје ради задовољења основне човекове потребе за храном.

У Србији, као извор енергије из обновљивих извора, највећи потенцијал има биомаса, у износу од око 60 %. (*Martinov et al., 2015*). У табели 8 приказан је временски период прикупљања биомасе, која је испитивана у овој дисертацији.

Табела 8. Временски период прикупљања потенцијалне биомасе

Узорак Месец	Дуванска стабљика	Сојина стабљика	Пшенична слама	Главе сунцокрета	Окласак кукуруза
Јануар					
Фебруар					
Март					
Април					
Мај					
Јун					
Јул					
Август					
Септембар					
Октобар					
Новембар					
Децембар					

***Напомена:** Обојени квадратићи су временски периоди прикупљања биљних остатака: (дуван: октобар-новембар; соја: септембар; пшеница: јул; сунцокрет: септембар; кукуруз: октобар-новембар).

У Србији се сваке године произведе укупно око $12,5 \times 10^6$ t биомасе, од чега 9×10^6 t (72 %) у Војводини (Бркић и сар., 2007). Биомасе из остатака пољопривредне производње показују да више од половине ресурса лежи у биомаси кукуруза, више од четвртине у слами стрних жита, пре свега пшенице, а остатак од око 15 % у жетвеним остацима сунцокрета, соје, уљане репице, дуванских стабљика или после резидбе воћњака и винограда (Јовановић и Паровић, 2009).

Према подацима из студије коју је финансирала Влада Републике Србије под називом: "Енергетски потенцијал и карактеристике остатака биомасе и технологије за њену припрему и енергетско искоришћење у Србији" у оквиру Министарства науке и заштите животне средине закључено је да: Енергетски потенцијал биљних остатака износи 108.000 ТЈ/год., односно 40.000 ТЈ/год. остатака ратарских култура (процењено као 30 % укупних остатака у пољопривреди), 25.000 ТЈ/год. остатака у воћарству и виноградарству и 43.000 ТЈ/год., у шумарству и дрвној индустрији, не рачунајући могућност гајења биомасе богате уљима на необрађеној земљи за производњу од око 50.000 t/год. и наменског гајења брзорастућих шума са енергетским потенцијалом од око 16.000 ТЈ/год. (Митић и сар., 2009).

Према последњем попису пољопривреде (РЗС, 2013), пољопривредна газдинства у Србији су користила скоро 3,5 милиона хектара пољопривредног земљишта, где су у структури коришћеног пољопривредног земљишта доминирале оранице и баште са преко 73 %. На другом месту по заступљености су травњаци (ливаде и пашњаци) са скоро 21 %, затим воћњаци са око 5 %, односно виногради, окућнице и остали стални засади са учешћем мањим од 1 %.

Ратарска производња је најзаступљенија пољопривредна делатност у Србији и обезбеђује највећи проценат биомасе која се може користити као алтернативни извор енергије. Основу за израчунавање потенцијално расположиве биомасе у ратарству чине подаци о пожњевеним површинама и просечним приносима следећих врста усева: пшенице, јечма, кукуруза, овса, ражи, уљане репице, шећерне репе, сунцокрета, соје и дувана.

Интерес за коришћењем биомасе је велики, јер се смањује загађење околине, смањује потреба за коришћењем минералних ђубрива, смањује увоз енергената, повећава број радних места и промовише развој руралних подручја која учествују у циклусу узгајања, прикупљања и дистрибуције биомасе. Дакле, може се са сигурношћу тврдити да је Србија богата биомасом која потиче од ратарских усева.

Веће коришћење остатака из примарне производње пољопривредних производа и из њихове дораде у енергетске сврхе је посебно интересантно у Војводини, за коју се са правом може рећи да представља један од највећих „рудника” одрживог енергента у Србији. Сматра се да од укупних потенцијала биомасе настале из пољопривредне производње за добијање топлотне енергије несметано може да се користи (25-30) %, што би износило око 4×10^6 тона, што је еквивалентно количини лож уља од $1,4 \times 10^6$ тона (Јанић и сар., 2010).

У оквиру ратарске производње, значајан удео чини и производња дувана, односно отпад који заостаје након производње. Према доступним подацима из 2005. године, годишња количина дуванског отпада у свету износи око $1,25 \times 10^6$ тона (Jun et al., 2010). За сакупљање, транспорт, прераду и сигурно одлагање дуванског отпада највећу одговорност имају произвођачи дувана и дуванских производа (Curtis et al., 2017).

Податак о количини у Републици Србији никада није званично објављен, али прегледом литературе установљено је да је дувански отпад, пре свега отпадне листове, могуће користити вишеструко: за справљање компоста за гајење гљива (Civilini et al., 1997), добијање инсектицида за заштиту биља (Radojčić, et al., 2008), добијање органског ђубрива (Brohi et al., 1998; Adediran et al., 2006; Okur et al., 2008), производњу лаког бетона

(Öztürk and Bayraklı, 2005), за добијање каталитичких адсорбената (Bandosz, 2007), за производњу биогаса (Kapadiya et al., 2010).

Сваке године, након бербе листова на пољима остају велике количине стабљика дувана које су неупотребљиве и немају никакву економску вредност.

Мања количина се заорава, док се већа количина одлаже као отпад или се спаљује на њивама, што доводи до расипања ресурса и загађења животне средине, пре свега због садржаја никотина (Kulić and Radojičić, 2011). Спаљивање биљних остатака сматра се непожељном праксом и нашом законском регулативом је забрањено (Сл. гласник РС, 62/2006, 65/2008 и 41/2009, Члан 28).

Дувански отпад у Србији сврстан је у девет категорија. Под редним бројем девет је зелени дувански отпад, који садржи делове листова и стабљика, који су одбачени у процесу производње дувана на њиви или који остају након бербе дувана (Radojičić et al., 2009b).

Министарство животне средине и просторног планирања и Агенција за заштиту животне средине Републике Србије објавили су Каталог отпада (Сл. гласник РС, бр. 56/2010 и 93/2019), према којем је претходно наведен и категорисан дувански отпад свртан у отпад који није токсичан, под бројем 02.03.

Међутим, према прописима Европске уније дувански отпад са садржајем никотина преко 500 mg/kg сврстава се у категорију опасног отпада и не може да се одлаже на депоније са урбаним отпадом, већ изискује посебне услове који „финансијски оптерећују и произвођаче и прерађиваче дувана“ (Novotny and Zhao, 1999).

У Србији, на основу података предузећа за производњу и обраду дувана, цена уништавања 1 kg дуванског отпада износи 0,03 евра / kg.

5.11. ЗАКОНСКА РЕГУЛАТИВА О КОРИШЋЕЊУ БИОМАСЕ

5.11.1. Законска регулатива о коришћењу биомасе у Србији

Република Србија је кроз бројне законе, стратегије, програме, правилнике и уредбе регулисала коришћење биомасе као обновљивог извора енергије (ОИЕ):

- **Закон** о интегрисаном спречавању и контроли загађивања животне средине („Службени гласник РС”, број 135/2004).

- **Закон** о потврђивању Кјото Протокола уз Оквирну конвенцију Уједињених нација о промени климе („Службени гласник РС”, број 88/2007).

- **Закон** о процени утицаја на животну средину („Службени гласник РС”, број 135/2004 и 36/2009).

- **Закон** о стратешкој процени утицаја на животну средину („Службени гласник РС”, број 135/2004 и 88/2010).

- **Закон** о управљању отпадом („Службени гласник РС”, број 36/2009 и 88/2010).

- **Закон** о заштити животне средине („Службени гласник РС”, број 135/2004, 36/2009, 72/2009, 43/2011).

- **Закон** о Фонду за заштиту животне средине („Службени гласник РС”, број 72/2009 и 101/2011).

- **Закон** о енергетици Републике Србије („Службени гласник РС”, број 57/2011, 80/2011 исправка, 93/2012 и 124/2012).

- **Закон** о заштити ваздуха („Службени гласник РС”, број 36/2009 и 10/2013).

- **Закон** о планирању и изградњи Републике Србије („Службени гласник РС”, број 72/2009, 81/2009 исправка, 64/2010, 24/2011, 121/2012, 42/2013, 50/2013, 98/2013).

-Национална **стратегија** одрживог развоја од 2009. до 2017. године („Службени гласник РС”, број 57/2008).

-**Стратегија** увођења чистије производње у Републици Србији („Службени гласник РС”, број 17/2009).

- **Стратегија** развоја енергетике Републике Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. године („Службени гласник РС”, број 101/2015).

-**Програм** остваривања стратегије развоја енергетике Републике Србије („Службени гласник РС” бр. 57/11, 80/11 - исправка, 93/12 и 124/12).

-**Правилник** о техничким и другим захтевима за течна горива биопорекла („Службени лист СЦГ”, број 23/2006).

-**Уговор** о енергетској заједници југоисточне Европе или ECSEE („Службени гласник РС”, број 62/2006).

-**Уредба** о мерама подстицаја за повлашћене произвођаче електричне енергије („Службени гласник РС”, број 8/2013).

-**Уредба** о начину обрачуна и начину расподеле прикупљених средстава по основу накнаде за подстицај повлашћених произвођача електричне енергије („Службени гласник РС”, број 8/2013).

-**Уредба** о висини посебне накнаде за подстицај у 2014. години („Службени гласник РС”, број 3/2014).

-**Уредба** о условима и поступку стицања статуса повлашћеног произвођача електричне енергије („Службени гласник РС”, број 8/2013 и 70/2014).

5.11.2. Законска регулатива о коришћењу биомасе у свету

Европска унија располаже декларисаним стандардима који прописују методологију испитивања биомасе, да би се применила као биогориво и граничне вредности сваког испитиваног параметра, да би се одређена биомаса применила.

Земље западног Балкана могу да изаберу да користе међународне стандарде за горива за примену биомасе (развијене од стране нпр. ISO или CEN) или да развију сопствене националне стандарде. Најзначајнији међународни технички стандарди за горива из биомасе укључују:

- *ISO 17225 -1:2019* - Чврста биогорива — Спецификације и класе горива — Део 1: Општи захтеви - одређује класе квалитета и спецификације за горива из биомасе и произашао је из шумарства и пољопривреде.

- *EN 15234-1:2011* - Чврста биогорива — Обезбеђење квалитета горива — Део 1: Општи захтеви - дефинише процедуре за испуњавање захтева квалитета (контролу квалитета) и описује мере да би се обезбедила поузданост испуњења спецификације горива из биомасе (обезбеђење квалитета); покрива цели ланац снабдевања, од набавке сировина до тачке испоруке крајњем кориснику.

-*EN 16214-1:2012* - Критеријуми одрживости за производњу биогорива и течних биогорива за енергетске намене - Принципи, критеријуми, индикатори и верификатори - Део 1: Општи захтеви - дефинише процедуре, критеријуме и индикаторе, укључујући њихове шеме верификације и ревизије, да би се обезбедили докази о производњи горива из биомасе уз поштовање принципа одрживости.

На нивоу Европског комитета за стандардизацију, израђени су стандарди који прописују карактеристике, класе квалитета, начине и поступке испитивања пелета и брикета као и њихово паковање и испоруку.

Националне стандарде за пелете и брикете у Европи су прве развиле Шведска (*SS187120:1998* за пелете и *SS 187121:1990* за брикете), Аустрија (*ONORM M1735:1990* за пелете и брикете) и Немачка (*DIN 51731:1996* за пелете и брикете), такође је у оквиру европског Комитета за стандардизацију израђен *CEN/TS 14961:2005* (табела 9).

Табела 9. Најзначајније карактеристике стандарда пелета и брикета

Спецификација	Аустрија ONORM M 1735:1990		Немачка DIN 51731:1996			CEN CEN/TS 14961:2005
Димензије	Пелети	Брикети	Брикети 5 класа(по величини у cm)			Пелети
	пречник 4-20 mm	prečnik 4-120 mm	HP1	≤30	≤10	D06 ≤ 6 mm L ≤ 5
	Дужина max 100 mm	Дужина max 400 mm	HP2	15-30	6-10	D08 ≤ 8 mm L ≤ 4
			HP3	10-15	3-7	D10 ≤ 10 mm L ≤ 4
			HP4	≤10	1-4	D12 ≤ 12 mm L ≤ 4
			HP5	≤5	0,4-1	D25 ≤ 25 mm L ≤ 4
Специфична (јединична) густина	≥ 1 kg/dm ³	≥ 1 kg/dm ³	1 -1,4 g/cm ³			
Садржај воде	≤ 12 %	≤18 %	≤12 %			M10 ≤ 10 % M15 ≤ 15 % M20 ≤ 20 %
Садржај пепела	≤ 0,5 %	≤ 6 %	≤ 1,5 %			A0,7 ≤ 0,7 % A1,5 ≤ 1,5 % A3,0 ≤ 3,0 % A6,0 ≤ 6,0 % A6,0+ ≤ 6,0 %
Енергетска вредност	≥ 18 MJkg ⁻¹	≥ 18 MJkg ⁻¹	17,5 MJkg ⁻¹ -19,5 MJkg ⁻¹			
Сумпор	≤ 0,04 %	≤0,08 %	≤ 0,08 %			S0,05 ≤ 0,05 % S0,08 ≤ 0,08 % S0,10 ≤ 0,10 % S0,20+ ≤ 20 %
Азот	≤ 0,3 %	≤ 0,6 %	≤ 0,3 %			N0,3 ≤ 0,3 % N0,5 ≤ 0,5 % N1,0 ≤ 1,0 % N3,0 ≤ 3,0 % N3,0+ ≤ 3,0 %
Арсен	/	/	≤ 0,8 mg/kg			/
Кадмијум	/	/	≤ 0,5 mg/kg			/
Хром	/	/	≤ 8 mg/kg			/
Жива	/	/	≤ 0,05 mg/kg			/
Адитиви	Max 2 % само природни		/			Тип и садржај свих додатака и било каквих адитива мора да се прецизира.

У комуникацији продавца и потрошача у неким земљама ЕУ најчешће се користе следеће ознаке класа квалитета пелета и брикета:

- “Премијум” класа са ≤ 1 % пепела,
- “Стандард” класа са више од 1 %, а мање од 3 % пепела,
- “Класа са високим садржајем пепела” са више од 3 %.

Шведска, САД и Канада представљају највеће светске произвођаче пелета, затим земље чланице Европске уније (Аустрија, Немачка, Италија, Летонија, Пољска и Данска).

5.12. ХЕМИЈСКИ САСТАВ БИОМАСЕ

5.12.1. Елементарни састав пољопривредне биомасе

Елементарни састав биомасе умногоме одређује начин и карактеристике процеса њеног сагоревања.

Биомасу чине угљеник као најзаступљенији елемент, водоник, азот и многи други елементи: сумпор, фосфор, халогени елементи, металоиди и метали, који су заступљени у знатно мањим количинама (*Vassilev et al., 2010*).

Одређивање хемијског састава биомасе у аналитичком смислу подразумева одређивање, грубо дефинисано, органске супстанце биомасе (заступљеност биогених елемената: С, Н, N, S) и неорганског дела - пепела.

Уколико се испитивање спроводи на узорку са претходно одстрањеном аналитичком влагом, испитане вредности су меродавни подаци за поуздану процену топлотне моћи испитиване биомасе. Свакако, испитивања могу да се спроведу и на аналитичком узорку, а аналитичка влага одреди директно гравиметријском методом и прерачунавањем дође до податка о елементарном саставу биомасе. У табели 10 су приказан резултати испитивања елементарног састава неколико испитиваних биомаса.

Количина кисеоника у биомаси може да се израчуна према једначини (*Protásio et al., 2011*):

$$O (\%) = 100 \% - C (\%) - H (\%) - N (\%) - S (\%) - A (\%)$$

у којој су: С (%) масени удео угљеника, Н (%) масени удео водоника, N (%) масени удео азота, S (%) масени удео сумпора, А (%) количина пепела која се добила сагоревањем испитиване биомасе.

Заступљеност кисеоника у органској супстанци се израчунава из разлике укупне органске супстанце у биомаси (100 %) и збира свих осталих биогених елемената прерачунатих на органску супстанцу.

Елементарна хемијска анализа неких врста биомаса, сведена на суву супстанцу показује да је елементарни састав сличан дрвету. Процентуални масени удео појединих компонената односи се на апсолутно суву супстанцу. Ако се посебно изражава садржај влаге у биомаси (W), онда све масене уделе треба свести на влажну основу (табела 10).

Угљеник (С) представља основну компоненту органске и сагорљиве масе горива (пољопривредне биомасе), који при потпуном сагоревању до угљеник – (IV) оксида (CO₂) ослобађа топлоту око 33,90 MJ kg⁻¹ (*Гулич и сар., 1991*). Угљеник се у гориву не налази слободан, него у виду сложених органских једињења са водоником, кисеоником, азотом и сумпором, чије распадање захтева одређену количину топлоте, па се при сагоревању горива не ослобађа теоријска количина топлоте, већ нешто мања. При непотпуном сагоревању угљеника ствара се угљеник – (II) оксид (CO), при чему се ослобађа знатно мања количина топлоте од око 10,20 MJ kg⁻¹ (*Гулич и сар., 1991*). Повећањем садржаја угљеника, побољшава

се квалитет горива, јер се особине горива приближавају особини чистог угљеника. Углавном сагорева у угљеник – (IV) оксид али у недостатку кисеоника сагорева у угљеник – (II) оксид.

Табела 10. Елементарни хемијски састав биомасе (Бркић и сар., 2007)

Редни број	Хемијски елемент	Слама (%)	Окласак (%)	Љуске сунцокрета (%)	Дрво (%)	Кора од дрвета (%)
1.	Угљеник (C)	44,84	48,31	50,57	50,30	50,60
2.	Водоник (H)	5,68	5,74	5,68	6,20	5,90
3.	Кисеоник+ Азот (O+N)	41,48	43,13+0,66	40,91+0,57	43,10	40,70
4.	Пепео (A)	8,00	2,16	2,27	0,40	2,80

Угљеник у биомаси настаје фотосинтетичким везивањем CO_2 и стога је у потпуности органски. Током одређивања испарљивих материја (волатила - VM), део органског угљеника се трансформише у угљенични материјал који се назива фиксни угљеник (C_{fix}). Како C_{fix} зависи од количине VM, не може се директно одредити. Испарљива материја такође варира у зависности од брзине загревања. Фиксни угљеник представља чврсти угљеник у биомаси који остаје у чврстом остатку током процеса пиролизе након деволатилизације. При анализи гасификације, C_{fix} је значајан параметар јер у већини гасификатора конверзија фиксног угљеника у гасове одређује брзину гасификације и принос наведених гасова.

Водоник (H) је саставни део сваког горива. При потпуном сагоревању 1 kg водоника ослобађа се количина топлоте од $143,20 \text{ MJ kg}^{-1}$, ако се продукт сагоревања (вода) налази у течној фази, односно $119,60 \text{ MJ kg}^{-1}$, ако се налази у парној фази (Гулич и сар., 1991).

Азота (N) у биомаси по правилу има мало. При високим температурама сагоревања азот се једини са кисеоником у азотне оксиде (NO_x).

Сумпор (S) је један од кључних елемената који даје предност употреби биомасе као биогорива у односу на фосилна горива. Наиме, заступљен је у незнатној количини, као што су показали експериментални резултати испитивања мискантуса (Цветковић и сар., 2016).

Кисеоник (O) је саставни део органске супстанце и служи за оксидацију сагорљивих елемената у биогориву. Кисеоник није сагорљиви део горива али потпомаже и омогућава сагоревање. У горивима се јавља везан са другим елементима. Кисеоник својим присуством умањује топлотну моћ пољопривредне биомасе, јер сагоревањем даје воду и троши ослобођену топлоту.

5.12.2. Минерална супстанца биомасе и тешки метали

Минералну супстанцу биомасе представљају количине метала које се у биомаси током вегетационог периода налазе у облику неорганских и органских соли, комплексних једињења или које егзистирају као јони (Кастори и Максимовић, 2008). Заступљеност алкалних, земноалкалних метала, силицијума и других метала је различита, као што се може закључити из података (Stockinger et al., 1998; Obernberger et al., 2000) наведених у табели 11.

Табела 11. Концентрација метала у пепелу биомасе

Елемент (масени % на сув узорак)	Дрво (смрча)	Кора (смрча)	Слама (пшеница, раж)	Цели усеви (пшеница, раж)
Са	26-38	24-36	4,5-8,0	3,0-7,0
К	4,9-6,3	3,5-5,0	10,0-16,0	11,0-18,0
Mg	2,2-3,6	2,4-5,6	1,1-2,7	1,2-2,6
Na	0,3-0,5	0,5-0,7	0,2-1,0	0,2-0,5
P	0,8-1,9	1,0-1,9	0,2-6,7	4,5-6,8
Si	4,0-11,0	7,0-17,0	16,0-30,0	16,0-26,0

Садржај минералних супстанци у биљкама је условљен деловањем различитих фактора, од којих су најважнији: биљна врста, старост засада, климатски услови, педолошке карактеристике земљишта и примена агротехничких мера (*Radanović et al., 2006*).

Испитивање количине пепела, односно количине минералне супстанце у биомаси која се добија сагоревањем један је од кључних аналитичких параметара за процењивање класе биогорива која би могла да се добије из одређене биомасе. Познавање квалитативног и квантитативног састава минералних компонената је значајно јер састав оксида (заступљеност Са, К, Mg, Na, P, Si) у пепелу одређене биомасе условљава физичке карактеристике пепела и самим тим температуре топљења пепела. Ова физичко-хемијска карактеристика пепела биомасе одређује квалитет материјала за израду пећи за сагоревање биомасе.

Према неким литературним наводима, просечан садржај у сувој материји биљака је: 0,5 % Са; 0,2 % Mg; 1,0 % P; 0,01 % К и 2 % Na (*Убавић и Богдановић, 2001*).

Количине претходно наведених метала варирају у земљиштима по производним реонима Србије. Количина ових метала се временом повећава у земљишту као последица употребе вештачких ђубрива, што неминовно доводи до повећаног садржај минералне супстанце у биомаси.

Група елемената (такозваних тешких метала), међу којима има и есенцијалних микроелемената Fe, Zn, Cu, Mn, Co и други, при већим концентрацијама делују токсично на биљке (фитотоксичност), што се манифестује у поремећају једног или већег броја метаболичких и хемијских реакција (*Кастори и сар., 1997*).

Концентрација тешких метала, попут кадмијума и цинка, такође треба да буде ограничена у пепелу, посебно са еколошке тачке гледишта. Пољопривредна биомаса генерално показује много ниже концентрације тешких метала од дрвне биомасе, што се може објаснити краћим периодом раста, као и повишеном рН вредношћу пољопривредног земљишта у поређењу са шумским земљиштем.

Из еколошких разлога, садржај тешких метала у пелетима и брикетима неопходно је строго контролисати уклопо је планирано коришћење пепела биогорива у било ком облику (директно или у некој смеси) за ђубрење земљишта. Унос тешких метала могао би значајно да угрози раст биљака или их оштети. Типичне концентрације тешких метала у различитим врстама горива од биомасе (*Van et al., 2008*), приказане су у табели 12.

Прекорачење садржаја тешких метала у земљиштима, чак и у случају есенцијалних елемената, доводи до фитотоксичности (*Обратов-Петковић и сар., 2008*). Граничне вредности садржаја за неке метале су: за цинк (500-1500) mg/kg; за бакар (25-40) mg/kg; за кадмијум (5-700) mg/kg (*Madejon et al., 2002*).

Табела 12. Типичне концентрације тешких метала у различитим врстама горива од биомасе према пр EN 14961-2 (Van et al., 2008)

Елементи (mg/kg, на сув узорак)	Граничне вредности	Дрво (смрча)	Кора (смрча)	Слама (пшеница, раж)	Цели усеви (пшеница, раж)
As	≤ 1	0,0-1,5	0,2-5	1,6	0,6
Cd	≤ 0,5	0,06-0,4	0,2-0,9	0,03-0,22	0,04-0,1
Cr	≤ 10	1,6-17	1,6-14	1,1-4,1	0,4-2,5
Cu	≤ 10	0,3-4,1	1,5-8,0	1,1-4,2	2,6-3,9
Pb	≤ 10	0,3-2,7	0,9-4,4	0,1-3,0	0,2-0,7
Hg	≤ 0,1	0,01-0,17	0,01-0,17	0,01	0-0,02
Ni	≤ 10	1,7-11	1,6-13	0,7-2,1	0,7-1,5
Zn	≤ 100	7-90	90-200	11-57	10-25

Последице продужене изложености високим концентрацијама метала могу довести до коначне смрти ћелије. Међутим, треба истаћи да је фитотоксичност пре свега повезана са неесенцијалним металима као што су то: As, Cd, Pb и Cr, који уобичајено имају и веома ниске прагове токсичности (Vamerali et al., 2010). Фитотоксична концентрација хрома износи од (6-100) mg/kg у зависности од врсте (Zayed and Terry, 2003).

До сада је 53 елемената сврстано у категорију тешких метала, која је прецизније дефинисана као група елемената чија је густина већа од 5 g/cm³ (Sarma, 2011).

Плодна земљишта снабдевају биљке скоро свим хемијским елементима, који су им потребни за раст. При томе, земљишта могу предати биљкама и токсичне елементе (Hg, Pb и Cd) или пак високе концентрације Cu, Co, Cr, Ni и других елемената, које могу бити токсичне (Коломејцева, 2010). Примена интензивних агротехничких мера (првенствено се мисли на употребу заштитних хемијских средстава и вештачког ђубрива) у савременој пољопривредној производњи, близина индустријских постројења, термоелектрана, рудника и саобраћајница, неминовно доводи до контаминације земљишта и биљака тешким металима.

Кадмијум (Cd) је већ у врло ниским концентрацијама веома отрован за живе организме, а сматра се да има и канцерогена својства (Коломејцева, 2010). Просечан садржај Cd у земљиштима Војводине износи 0,63 mg/kg (Čuvardić et al., 2006), а што је испод законског лимита од 3 mg/kg (Службени гласник РС, бр.23/1994). Нормална концентрација Cd у биљкама је (0,1- 2,4) mg/kg суве масе (Nagajyoti et al., 2010). Праг токсичности Cd у ткиву биљака је различит, на пример: (5-10) mg/kg суве масе (Vamerali et al., 2010) или (5-30) mg/kg суве масе (Alloway, 1990).

Жива (Hg) је један од најјачих отрова међу тешким металима. Употребом минералних ђубрива, отпадних муљева, креча и фунгицида, повећава се концентрација Hg у земљишту. Максимално дозвољен садржај Hg у земљишту Републике Србије је 2 mg/kg земље (Службени гласник РС, бр.23/1994). Жива се уноси у атмосферу сагоревањем фосилног горива, преко вулканских ерупција и индустријских процеса. Уобичајена вредност садржаја Hg у биљкама је у опсегу (0,005-0,17) mg/kg а праг токсичности у ткиву биљака је (1-3) mg/kg суве масе (Alloway, 1990). Биљке лако апсорбују живу из хранљивих раствора, која се затим преноси на целу биљку (Вучетић и Крстић, 2000).

Олово (Pb) је отровно и за људе и за животиње, а у већим концентрацијама омета раст биљака. Сматра се једним од главних загађивача животне средине. У природи углавном долази у форми сулфида, као минерал галенит (PbS). Просечан садржај Pb у земљиштима Војводине износи 17,17 mg/kg (*Убавић и Богдановић, 2001*), односно 34,6 mg/kg (*Čuvardić et al., 2006*). Дозвољена количина Pb у земљишту, одређена националном регулативом износи 100 mg/kg (*Службени гласник РС, бр.23/1994*). Нормална концентрација у биљкама је (1-13) mg/kg суве масе (*Nagajyoti et al., 2010*) а праг токсичности у ткиву биљака је у опсегу (10-20) mg/kg на суву масу (*Vamerali et. al., 2010*) или (30-300) mg/kg суву масу (*Alloway, 1990*). Фитотоксична концентрација олова износи око 300 mg/kg (*Yoon et al., 2006*).

Арсен (As) у изградњи земљине коре учествује са 1,5 mg/kg (*Коломејцева, 2010*). Због велике токсичности, важан је елемент за оцену квалитета животне средине. Покретљивост и фитотоксичност As је већа у песковитом земљишту у односу на глинена земљишта (*Богдановић и сар., 1997*). Садржај As у пољопривредним земљиштима је у опсегу (0,1-50) mg/kg, а уобичајена вредност је (1-20) mg/kg (*Alloway, 1990*). Просечна вредност As у земљишту Војводине је 2,19 mg/kg (*Убавић и Богдановић, 2001*). Максимално дозвољена концентрација за As у земљишту Србије је до 25 mg/kg земље (*Службени гласник РС, бр.23/1994*). Извори As у земљишту, па према томе и у биљкама су хербициди, фосфорна ђубрива, атмосферски депозит, топионице бакра и отпадни муљевци. Садржај у биљкама је обично знатно нижи него у земљишту и није неопходан за биљке. Један број аутора указује на стимулативно деловање ниских концентрација As на раст корена. Међутим, висока концентрација As има негативан ефекат (*Кастори и Петровић, 1993*). Нормална концентрација As код различитих биљних врста је (0,02-7) mg/kg на суву масу, (*Nagajyoti et al., 2010*), а праг токсичности у ткиву биљака је у опсегу (5-10) mg/kg на суву масу (*Alagić et al., 2013*). Фитотоксична концентрација арсена је од (3-10) mg/kg (*Madejon et al., 2002*).

5.12.3. Целулоза и лигнин

На основу бројних истраживања установљено је да биомаса као гориво има својих специфичности у погледу: хемијског састава, температуре сагоревања, температуре синтерована пепела.

Главне компоненте биомасе су целулоза, хемицелулоза и лигнин.

Целулоза је најраспрострањенији полисахарид, заступљен са чак 50 % целокупне суве масе у биљкама. По саставу је полисахарид на бази глукозе (*Vigouroux, 2001*). Целулоза се не раствара у води, нити већини органских растварача, захваљујући јаким молекулским водоничним везама које се формирају између целулозних ланаца. Целулоза чини (40-50) % дрвног материјала. Стабљика дувана садржи (35-36) % целулозе а главно ребро листа (10-15) %. Код старијих листова дувана целулоза је присутна у кристалном облику, а код млађих листова преовладава целулоза у аморфном облику. Садржај целулозе у листовима је у просеку (10-12) % (*Tso, 1990*).

Лигнин као и целулоза нерастворљив је и не подлеже утицају фермената дувана (*Омеровић, 2012*).

Представља дрвенасту компоненту, просечно (15-35) % дрвне масе (*Leaver, 2001*), која држи на окупу влакнасте ћелије и влакно чини доста чврстим и грубим. Његова основна функција је да обезбеди механичку чврстоћу али и да пружи отпорност биљци на дејство микроорганизама, као и на оксидативни стрес. Структуре лигнина су различите, у зависности

од извора из ког је добијен. Лигнин чини (4-5) % суве супстанце дувана и представља најзаступљенији природни органски ароматични полимер нађен у биљкама.

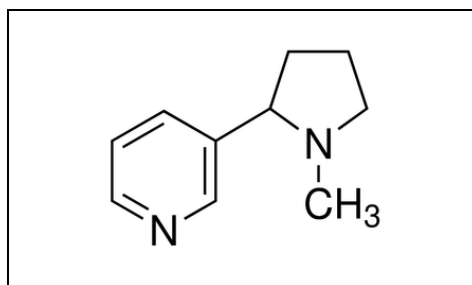
Садржај кисеоника у лигнину је значајно нижи него код целулозе и хемицелулозе (12-30) % (Бонефачић, 2012), па је топлотна вредност биогорива са лигнином као доминантном структуром знатно већа у поређењу са топлотном моћи биомасе у којој доминира целулозна структура.

5.12.4. Никотин

Никотин ($C_{10}H_{14}N_2$), настаје у корену биљке дувана (*Nicotiana tabacum*), па се из корена преноси по читавој биљци у облику соли јабучне или лимунске киселине, а може да се нађе у малим количинама у парадајзу, кромпиру, зеленом биберу.

У дувану се налази најмање десет алкалоида, а око 90 % укупне количине алкалоида чини никотин. У дувану садржај никотина варира у зависности од врсте дувана и дела дуванске биљке. Највеће количине никотина садржи лисна плојка (део листа без главног ребра), од 0,3 % до чак 10 %, у зависности од типа и сорте дувана. Никотина има и у свим осталим деловима биљке, при чему количине опадају следећим редоследом: корен, главно ребро, стабљика, цветови, семе. Количина никотина у стабљници износи око 12 % у односу на количину у лисној плојки (Радојичић, 2016).

Никотин спада у алкалоиде који садрже некондензоване петочлане и шесточлане прстенове. Структура никотина је дата на слици 11:



Слика 11. Структурна формула никотина
(3-[(2S)-1-метилпиролиди-2-ил]-пиридин)
(Николић, 2004)

Чист никотин је безбојна уљаста течност са slabим мирисом пиридина, која тамни на ваздуху и добија светлосмеђу боју. Меша се са водом у свим односима због изражене способности да гради водоничне везе са молекулима воде.

За одређивање количине никотина у дувану примењују се различите аналитичке технике: гравиметрија као најстарија метода, спектрофотометрија (Радојичић, В., 2011), гасна хроматографија (Ђорђевић, 1981) и течна хроматографија као најсавременија техника испитивања, која је примењена за одређивање никотина у овој дисертацији.

Резултати испитивања количине никотина у дувану типа Берлеј и Вирџинија, претходно наведеним трима техникама, показали су да се разлике добијених резултата за исту сорту дувана налазе у границама мерне несигурности резултата испитивања. За Берлеј су добијене вредности: (1,70-1,96) % техником гасне хроматографије; (1,80-2,01) % техником спектрофотометрије и (1,70-1,85) % гравиметријом.

5.13. УТИЦАЈ ХЕМИЈСКОГ САСТАВА БИОМАСЕ НА ТОПЛОТНУ МОЋ

Један од основних показатеља употребљивости неке биомасе као горива је њена топлотна моћ, односно количина топлоте која се ослобађа при сагоревању јединице биомасе-биогорива. Изражава се у kJ kg^{-1} или MJ kg^{-1} .

Експерименталним одређивањем при потпуном сагоревању биомасе, у којој је угљеник најзаступљенији елемент, настаје угљеник (IV)-оксид или угљен-диоксид, а сагоревањем водоника, настаје водена пара која се, након хлађења система на собну температуру, кондензује и прелази у течно стање. Осим наведених главних производа сагоревања, ослобађају се и оксиди сумпора и азота, који у реакцији са водом дају азотну и сумпорну киселину. Реакција је егзотермна те се умањује топлотна моћ биогорива. Са комерцијалног аспекта овај параметар је изузетно значајан.

Неоходно је да се током аналитичког поступка доследно прате захтеви примењиваног стандарда (ASTM, EN, ISO), од припремања аналитичког узорка за испитивање (испитивани узорак мора да буде хомоген и да репрезентује испитивану количину), принципа спровођења и израчунавања. Подразумева се да се и горња топлотна моћ сагоревања исказује на узорак биогорива са укупном влагом, аналитичком влагом и на сув узорак. Топлотна вредност на узорак са укупном влагом и на сув узорак се израчунавају, јер је аналитички најприхватљивије да се топлота сагоревања биогорива одређује на узорку са аналитичком влагом (SRPS EN 14918:2011).

Висок садржај воде је основна карактеристика биомасе и у појединим врстама биомасе достиже и 95 %. Биомаса са високим садржајем воде - влаге је непогодна за експлоатацију, јер се сагоревање одвија вишефазно, тако што се у првој фази троши значајна количина енергије за превођење воде у водену пару. Због тога је влага значајни улазни параметар при пројектовању постројења за сагоревање биомасе и процене трошкова сушења биомасе.

Са практичног аспекта битно је разликовати горњу и доњу топлоту моћ. Доња топлотна моћ је нижа од горње за количину енергије која се троши на испаравање воде при сагоревању, али и настајања воде реакцијом водоника и кисеоника при сагоревању органске супстанце. Принцип израчунавања је прописан стандардом који се примењује за експериментално одређивање горње и доње топлотне моћи.

Различити аутори су се бавили истраживањима везаним за топлотну моћ остатака из пољопривредне производње. Тако топлотна моћ сламе жита и соје износи (12,7-16) MJ kg^{-1} , (Бркић, 2000), а окласка кукурузног клипа 14,7 MJ kg^{-1} (Viglasky, 1999).

Са порастом садржаја влаге у биљној маси опада топлотна моћ биомасе. За апсолутно сув окласак добијена је горња топлотна вредност од 18,35 MJ kg^{-1} . Топлотна вредност окласка мења се са садржајем влаге: за садржај влаге од 5 %, вредност је 17,45 MJ kg^{-1} , за 10 % је 16,4 MJ kg^{-1} , за 15 % је 15,36 MJ kg^{-1} , за 20 % је 14,3 MJ kg^{-1} и за 25 % је 13,3 MJ kg^{-1} (Viglasky, 1999).

Топлотна моћ се може одредити експериментално и рачунски. Одређивање топлотне моћи рачунским путем врши се на основу познатих података о елементарном саставу сировине.

Особине биомасе варирају у зависности од порекла или географског региона у коме се формирају (García et al., 2014). Из тих разлога се и предвиђања Higher Heating Value (HHV) биомасе из одређених региона препоручују. Такође, приликом разматрања о могућности увођења новог облика у укупни потенцијал биомасе неког региона или државе, препоручује се предвиђање HHV рачунским путем.

Многи истраживачи су се бавили прорачуном топлотне моћи биогорива на основу хемијског састава (*Demirbas, 1997; Sheng and Azevedo, 2005; Chun-Yang, 2011*). *Demirbas (2001)* је утврдио и однос између ННВ и садржаја лигнина. Постоји значајна линеарна веза између ННВ и садржаја лигнина. ННВ (MJ kg^{-1}) биогорива као функција садржаја лигнина (L) се рачуна коришћењем следећих једначина:

$$\text{HHV} = 0,0889 (L) + 16,8218 \quad (\text{једначина за узорке пољопривредне биомасе})$$

$$\text{HHV} = 0,0877 (L) + 16,4951 \quad (\text{једначина за узорке дрвета})$$

Досадашњим истраживањима је установљено да целулоза и хемицелулоза имају ННВ око $18,60 \text{ MJ kg}^{-1}$, а лигнин има ННВ од $23,26 \text{ MJ kg}^{-1}$ до $25,58 \text{ MJ kg}^{-1}$ (*Demirbas, 2005*). Дакле, ННВ лигноцелулозних горива је функција количине лигнина. Уопште, ННВ лигноцелулозног горива расте са порастом садржаја лигнина у гориву.

Формула која повезује ННВ и садржај пепела даје добру поузданост (а и најјефтинија је анализа) у односу на остале формуле, и може се користити у пракси за предвиђање ННВ биомасе (*Sheng and Azevedo, 2005*):

$$\text{HHV} = 19,914 - 0,2324 (\text{Ash})$$

Пепео (*Ash - A*) представља неоргански чврсти остатак након потпуног сагоревања горива. Основни састав пепела чине силицијум диоксид, оксиди алуминијума, гвожђа и калцијума, а оксиди магнезијума, титанијума, натријума и калијума могу бити присутни у малим количинама. Садржај пепела у биомаси је најчешће веома мали, али може да има значајну улогу при коришћењу биомасе, нарочито ако садржи алкалне метале као што је калијум (код сламе, траве и дрвне биомасе).

Температура топљења пепела је најважнији фактор у процесима сагоревања пољопривредне биомасе. Пепео, као смеша више компонената, нема једну одређену температуру топљења. Појава топљења пепела је веома значајна за оцену понашања пепела у ложишту. Висок садржај калијума у пепелу условљава слепљивање честица пепела и формирање компактне масе која се тешко одваја од ложишта и самим тим лоше утиче на термоенергетско постројење (*Wang et al., 2012*).

Према температури топљења пепео се дели на: лакотопљив (до $1200 \text{ }^\circ\text{C}$); топљив (од $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ до $1350 \text{ }^\circ\text{C}$); тешкотопљив (од $1350 \text{ }^\circ\text{C}$ до $1650 \text{ }^\circ\text{C}$); практично нетопљив (преко $1650 \text{ }^\circ\text{C}$).

Пепео се лакше топи уколико у биомаси има мање силиката и алуминијумових једињења. Повећањем масених удела алкалних и земноалкалних оксида у биомаси такође долази до повећања топљивости пепела.

Корелације предложене од истих аутора (*Sheng and Azevedo, 2005*), омогућавају предвиђање ННВ вредности из састава основних елемената биомасе (C, O и H). Формула коју су предложили је једна од најпоузданијих, са мерном несигурношћу $\pm 5 \%$:

$$\text{HHV} = - 1,3675 + 0,3137 (C) + 0,7009 (H) + 0,0318 (O)$$

Коришћењем наведених формула, истраживачи са Пољопривредног факултета Универзитета у Београду су у својим истраживањима израчунали ННВ вредности за стабљике дувана типа Берлеј и Вирџинија (*Radojicic et al., 2014a, 2014b*). На основу садржаја лигнина ННВ износи $18,243 \text{ MJ kg}^{-1}$, а на основу садржаја пепела $18,475 \text{ MJ kg}^{-1}$ за Вирџинију, а $18,47 \text{ MJ kg}^{-1}$ и $18,94 \text{ MJ kg}^{-1}$ за Берлеј.

5.14. ЕМИСИЈЕ КОЈЕ НАСТАЈУ САГОРЕВАЊЕМ БИОМАСЕ

Сагоревање је процес претварања хемијске енергије у топлотну енергију (Trninić, 2015) Због брзине одвијања процеса сагоревања, неопходно је да се процес прати са прецизном мерном техником а параметри регулишу аутоматски.

Тежња да се смањи потрошња фосилних горива, као и да се смањи емисија гасова који повећавају ефекат стаклене баште и глобалног загревања Земље, довели су до повећане пажње за коришћењем обновљивих извора енергије и политике подршке за њихово шире коришћење (Јанић и сар., 2013). Повећано коришћење обновљивих извора енергије и повећање енергетске ефикасности у производњи и коришћењу топлоте има за циљ да се концентрација штетних гасова у околини одржава у дозвољеним границама.

У Републици Србији квалитет ваздуха је дефинисан Законом о заштити ваздуха („Службени гласник РС“, бр. 36/2009 и 10/2013), који уређује управљање квалитетом ваздуха и мере којима се спречава емисија штетних гасова у ваздух.

Емисије које настају сагоревањем биомасе зависе од врсте биомасе и њених особина, технологије сагоревања, врсте ложишта као и мера примењених за смањење емисија сагоревања.

У зависности од хемијског састава биомасе која сагорева и услова процеса сагоревања настају гасови као продукти сагоревања који представљају смешу продуката сагоревања:

- угљеник-(IV)оксид (CO_2) који настаје потпуним сагоревањем угљеника (C),
- угљеник- (II) оксид (CO) који настаје непотпуним сагоревањем угљеника (C),
- сумпор – (IV) оксид (SO_2) који настаје сагоревањем сумпора (S),
- сумпорни – (VI) оксид (SO_3), приликом сагоревања сумпорни оксид је произведен у облику SO_2 , а 1 до 3 % сумпора може да се оксидује у SO_3 у присуству метала у гориву, који делује као катализатор.
- азотни оксиди (NO_x),
- кисеоник (O_2) у гасовима сагоревања услед довођења ваздуха у ложиште,
- водена пара (H_2O) која настаје испаравањем воде, која се налази у биомаси и сагоревањем.

Код биомасе, за разлику од фосилних горива, CO_2 се сматра неутралним јер се сагоревањем биомасе ослобађа онолико CO_2 колико је биљка у току свог раста усвојила из атмосфере. Приликом сагоревања чврстих горива прво настају CO и гасовити угљоводоници. Исти се у фази сагоревања оксидационо разлажу, при чему оксидација CO у целини протиче знатно спорије. Стога је емисија CO по правилу за један ред величине већа од емисије угљоводоника (Nussbaumer, 2001).

Сагоревањем горива које садржи **сумпор** превасходно настаје сумпор - (IV) оксид, безбојни, оштрог мириса, кисели гас који се емитује у атмосферу уколико се не предузимају мере за одсумпоравање гаса. Чулом мириса се констатује при концентрацији од око $(0,6 - 1) \text{ mg/m}^3$.

Приликом сагоревања биомасе и у каналима за одвод отпадног гаса може да дође до даље оксидације дела SO_2 у SO_3 . Углавном се на крају сагоревања 99 % сумпора јавља у облику SO_2 и 1 % као SO_3 . У једињењу са воденом паром из SO_3 настаје сумпорна киселина (H_2SO_4) која изазива корозију у ложишном постројењу и каналима за одвод димног гаса, односно до чађења у димњаку. Услед ниског садржаја сумпора у биомаси, емисија SO_2 је незнатна, што је предност примене биомасе као биогорива.

Азотни оксиди (**NO_x**) у ложишним постројењима, састоје се од око 95 % NO и 5 % NO₂. Тек у атмосфери (при већем парцијалном притиску кисеоника и нижим температурама него у ложишној комори) долази до готово комплетног претварања у NO₂. Услед велике вероватноће ове реакције, граничне концентрације за групу монооксида азота (NO) увек се наводе као NO₂. До формирања азотних оксида приликом сагоревања начелно долази у три различите реакције: формирање NO_x из азота у гориву, термичко формирање NO_x (настанак из атмосферског азота), формирање NO_x (настанак из радикала у гориву са атмосферским азотом). Азот из горива се приликом сагоревања биомасе претвара у N₂O, у NO и у зависности од регулисања процеса сагоревања великим делом у N₂. Један мали део може и да се веже у пепелу. Пре свега, чврста горива садрже хемијски везани азот. Код чврстих биомаса садржај азота расте од дрвета, преко сламе, до целих биљака. Критичан садржај азота у биомаси износи око (1 – 2) % (*Hartmann et al., 2004*).

При технички уобичајеним температурама сагоревања (1000 °C до 1300 °C) азотни оксиди готово искључиво настају путем формирања NO_x из горива. Термички NO_x тек при већим температурама добија на значају (*Zieba et al., 2012*). У оксидирајућој атмосфери (тј. код вишка ваздуха) се у појачаној мери формира NO₂, док редукујућа атмосфера поспешује конверзију у жељени N₂. При томе, у условима редукације, пре свега већ формирани NO са несагорелим материјама као што су CO, H₂ или угљоводоници, даје N₂.

Честице, често назване и **прашином**, величине (0,001 – 100) μm у ваздуху се одржавају у суспензији (*Nussbaumer, 2001*). Респирабилне честице из процеса сагоревања сматрају се посебно штетним, јер са собом могу да носе друге штетне супстанце, као што су угљоводоници, диоксини, тешки метали. Честице могу бити производи како непотпуног, тако и потпуног сагоревања.

Честице из непотпуног сагоревања састоје се с једне стране од производа разлагања са садржајем угљеника, углавном као последица лошег сагоревања, и с друге стране, од производа синтезе са садржајем угљеника, нпр. чађи. Формирање чађи се као и лоше сагоревање поспешује недовољним доводом ваздуха, односно лошим мешањем ваздуха са димним гасовима и сувише ниским температурама, нпр. у току фазе паљења. Поред тога, честице могу да се издвоје и директно из слоја горива и да несагореле доспеју у отпадни гас. Посебна опасност при томе постоји код сагоревања прашине.

Честице настале потпуним сагоревањем састоје се од компоненти пепела (нпр. CaO, Al₂O₃, SiO₂, KCl, нитрата), материјала слоја (ложишта са флуидизованим слојем) као и страних материја (песак, земља). Оне у модерним ложиштима за биомасу са добрим условима сагоревања чине већи део емисије прашине, док садржај преосталог угљеника износи између 1 и 10 тежинских процената (*Nussbaumer, 2001*).

Емисија честица само је делимично у корелацији са садржајем пепела у гориву, док значајан утицај, поред системске технике, пре свега има врста горива. Тако актуелна истраживања показују да дрвна горива са високим садржајем пепела проузрокују знатно ниже емисије прашине од лигноцелулозне биомасе. Разлозима за то сматрају се пре свега финоћа и ниска специфична тежина честица код сагоревања лигноцелулозних материјала (*Hartmann et al., 2004*). На емисију честица само ограничено може да се утиче техником сагоревања и начином рада ложишта. Ради сигурног испуњења граничних вредности емисије у већини случајева треба предвидети уређаје за отпашивање димног гаса.

Пепео који настаје приликом сагоревања дрвета је, услед већих честица и веће густине горива, крупнији (> 10 μm). Код лигноцелулозних материјала, осим тога, велики садржај алкалија, хлора и сумпора доводи до формирања соли (KCl, K₂SO₄), које стварају најфиније честице летећег пепела (< 1 μm). Емисије честица из ложишта у којима се сагорева биомаса могу са више од 90 % да се састоје од fine прашине, са величином честица < 10 μm, при

чему максимум расподеле броја честица је у опсегу 0,03 μm и 0,1 μm . Да би се смањиле емисије честица примењују се превасходно следећи поступци одвајања (*Gaderer et al., 2011*): центрифугални одвајач (нпр. циклон, мултициклон), филтер (нпр. врећасти филтер), електростатично одвајање (суви и влажни електрофилтер).

Биомасе обично имају висок садржај алкалних метала, који, заједно са другим минералним компонентама пепела, доводе до таложења пепела насталог у процесу сагоревања, чиме се смањује пренос топлоте и долази до изазивања повећане корозије котловских цеви (*Sarablo et al., 2009*).

Пепео формиран током сагоревања се може поделити на пепео са дна ложишта и летећи пепео (*Čudić et al., 2007*). Летећи пепео се састоји од грубе и fine фракције. Грубу фракцију чине честице чији је пречник већи од неколико микрона (μm), док fine фракцију чине честице чији је пречник мањи од 1 μm (*Obernberger et al., 2006*).

Пепео од сагоревања биомасе се може користити за ђубрење и обогаћивање земљишта (*Obernberger et al., 2009*). Пепео настао сагоревањем чврстих минералних горива због веће количине силикатног садржаја, са дна ложишта, примењује се у изградњи путева за асфалтне мешавине и израду камених агрегата, док се летећи пепео настао сагоревањем угља користи као адитив у цементу или бетону и као асфалтни филер (*Van Eijk et al., 2012*).

При процесу сагоревања на стварање штетних супстанци велики утицај има температура на којој се врши сам процес и врста ложишта која се користи за сагоревање. Температура сагоревања биомасе је од 900 °C до 1300 °C. За сагоревање пољопривредне биомасе углавном се користе котлови и ложишта са равном непокретном решетком (*Јанић и сар., 2006 б*).

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

6. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ ИСПИТИВАЊА

Истраживања обухваћена дисертацијом су реализована кроз низ фаза:

- Узорковања биомасе са различитих локалитета (производних подручја Шапца, Старе Пазове и Голубинаца) током 2015.
- Узорковања земљишта са истих локалитета са којих је узоркована биомаса.
- Анализа метеоролошких података у периоду узорковања и у вишегодишњем просеку, преузетих из датотеке Републичког хидрометеоролошког завода Србије (РХМЗ) за локације узорковања.
- Припремање узорака за испитивања применом различитих аналитичких метода.
- Испитивање свих узоркованих матрикса (6 облика биомаса, као и земљишта на којима су гајене пољопривредне врсте) применом различитих класичних и савремених инструменталних метода.
- Предвиђање ННВ (Higher Heating Value) свих свих испитиваних узорака биомасе на основу хемијског и елементарног састава
- Експериментално одређивање топлотне моћи свих 6 испитиваних узорака биомасе у калориметријској бомби
- Предвиђање продуката сагоревања свих свих 6 испитиваних узорака биомасе
- Израда брикета (у машини за брикетирање) од свих 6 испитиваних узорака биомасе, без додавања везивних материјала;
- Испитивање састава производа сагоревања биомасе (погонско сагоревање).
- Обрађивање резултата испитивања које укључује и статистичку обраду резултата у пакету *IBS SPSS Statistic V.21*.
- Реализација планираног мултидисциплинарног истраживања је резултат сарадње са великим бројем лабораторија у различитим институцијама:
 - Лабораторија Катедре за технологију ратарских производа, Пољопривредног факултета, Универзитета у Београду;
 - Лабораторија Центра за хемију Научне установе Института за хемију, технологију и металургију, Универзитета у Београду, који се, између осталог, бави проучавањем минералних чврстих и течних горива;
 - Лабораторија за агрохемију Института за кукуруз „Земун Поље“, Земун;
 - Лабораторија Научног Института за ветеринарство Србије, Одељење за хемију и биохемију и испитивање лекова, Београд;
 - Лабораторија Института за земљиште, Београд.







Истраживања, којима је у овој дисертацији потврђен и апликативни аспект, остварена су у погонима компанија:

- „ПИОНИР“ - у Војки;
- „ТЕРМОМОНТ“ - у Шимановцима.

Да би се подаци добијени експерименталним истраживањем различитих облика биомаса детаљније и поузданије анализирали са аспекта примене, узимајући у обзир количину расположиве биомасе у Србији, као и ефекте према аспектима животне средине, коришћени су статистички подаци Републичког завода за статистику и законска регулатива која се односи на заштиту животне средине (*Закон о заштити животне средине, Сл. гласник РС, бр. 135/2004, 36/2009, 72/2009, 43/2011*).

6.1. МАТЕРИЈАЛ ИСПИТИВАЊА

Експериментална истраживања су спроведена на шест различитих облика биомасе: стабљикама дувана типа Берлеј, пшеничној слами, сојиној стабљивици, остацима глава сунцокрета, окласцима кукуруза и пиљевини дрвета букве (слика 12).

1. Шабац	2. Голубинци	
		
Стабљике дувана типа Берлеј	Сојина стабљика	Главе сунцокрета
3. Стара Пазова		
		
Пшенична слама	Окласак кукуруза	Пиљевина дрвета букве

Слика 12. Изглед различитих биомаса са места узорковања

***Напомена:**

- Дуванска стабљика са производног подручја Шабац преузета је од компаније *Alliance One Tobacco* - Шабац.
- Пшенична слама и окласак кукуруза са производног подручја Стара Пазова, преузети су од индивидуалних пољопривредних произвођача - Стара Пазова.
- Пиљевина дрвета букве добијена је од предузећа Сага дрво д.о.о - Стара Пазова.
- Сојине стабљике и главе сунцокрета (са којих су ручно одстрањене семенке) са производног подручја Голубинци, преузети су од индивидуалних пољопривредних произвођача - Голубинци.

6.2. ПРОИЗВОДНА ПОДРУЧЈА ИСПИТИВАНЕ БИОМАСЕ

6.2.1. Производно подручје Шабац

Шабац је град у Мачванском округу. Налази се у западној Србији, на обали реке Саве. Географски положај општине је веома повољан, јер се налази на важним саобраћајним правцима: друмским, железничким и речним, и у близини је великих градова Београда и Новог Сада.

Основни привредни потенцијали су квалитетно земљиште погодно за све врсте пољопривредне производње, а воде река Саве и Дрине погодују развоју бројних привредних грана, индустрије, водопривреде, пољопривреде, речног саобраћаја и туризма. Град Шабац је одувек био економски и културни центар Подриња и ширег подручја.

Захваљујући плодном земљишту, повољној панонској континенталној клими у северним деловима и планинској клими на југу и југозападу, природном хидрографском потенцијалу река Саве и Дрине, са каналском мрежом и богатством подземних вода, пијаћих и геотермалних, Шабац има велике потенцијале у пољопривредној производњи свих ратарских и повртарских усева, као и воћа. Чак 76,13% од укупне површине територије града Шапца чини пољопривредно земљиште.

Подручје општине Шабац карактерише „судар“ две климе. Северно подручје је отворено према Панонској низији и под утицајем је панонске континенталне климе, док се брежуљкасто јужно и југозападно подручје издиже до 700 m надморске висине и под утицајем је планинске климе. Основни показатељ који одређује карактер климе су укупне месечне падавине и температурни услови, првенствено средње месечне температуре ваздуха. Ова два климатска елемента имају највећи утицај на развој вегетације.

6.2.2. Производно подручје Стара Пазова

Стара Пазова је град у Војводини са општинском територијом у источном Срему. Удаљен је од Београда 35 km, а од Новог Сада 42 km. Стара Пазова има веома развијену индустрију. На територији општине Стара Пазова налазе се: Нова Пазова, Нови Бановци, као и сеоска насеља Белегиш, Војка, Голубинци, Крњешевци, Стари Бановци и Сурдук.

Пољопривредно земљиште општине чине претежно оранице (приближно 80%), док се под насељима, индустријским објектима и путном мрежом налази 14,31% територије општине.

Град Стара Пазова смештен је у равничарском подручју на надморској висини око 80 метара. Клима на територији Старе Пазове је умерено континентална, са четири изражена годишња доба. Зиме су умерено хладне са мањим количинама падавина и честим источним ветровима који дувају са банатске стране. Пролећни период је умерено топао и умерено влажан са порастом месечних количина падавина, што омогућава ранији почетак пољских радова, посебно у северном и североисточном реону наслоњеном на реку Дунав. Лето је топло, у почетку влажно (мај-јун), а касније, уз пораст температуре ваздуха често и са сушним периодима.

6.2.3. Производно подручје Голубинци

Голубинци су сремско сеоско насеље, збијеног типа, које се једним делом налази на делувијалној (лесној) тераси, а другим делом на крњешевачкој депресији. Просечна надморска висина насеља је 84 m. Захваљујући великој пољопривредној површини и веома плодном земљишту, типа чернозем, Голубинци су велико и веома богато село.

Привредна делатност села у највећем степену ослања се на пољопривредну, односно ратарску производњу. Највише се гаји кукуруз, на другом месту је пшеница, а затим следе сунцокрет, шећерна репа и дуван. Геосаобраћајни положај Голубинаца у источном делу Срема одредио му је значајну локалну улогу. Село је повезано квалитетним асфалтним путевима са оближњим насељеним местима, у првом реду са општинским местом Стара Пазова, затим са Инђијом, Пећинцима и Румом.

6.3. МЕТОДЕ ИСПИТИВАЊА БИОМАСА И ЗЕМЉИШТА

Да би се узорци биомаса, као и узорци земљишта испитивали, након узорковања је било неопходно да се адекватно припреме.

Припрема је обухватала постепено сушење биомасе и земљишта на ваздуху и након тога мљење пет узорака пољопривредне биомасе (пиљевину није било потребно додатно уситњавати), до хомогенизоване масе.

Узорци су самлевени у млину (модел *Macinatore MAC 500*).

Сви припремљени узорци биљног материјала и земљишта чувани су у обележеним папирним кесама, на месту заштићеном од спољашњег утицаја.

6.3.1. Методе испитивања земљишта

За испитивање основних агрохемијских параметара земљишта примењене су уобичајене класичне методе, које ће након навођења бити описане са аналитичким принципима спровођења.

Узорци су узимани са дубине (0-30) cm и паковани у папирне кесе. Након тога, предати су у лабораторију ради припреме.

- *Одређивање аналитичке влаге: припрема, сушење, уситњавање, просејавање и паковање*

Узорци су у танком слоју сушени на ваздуху (природно), без директне сунчеве светлости и у сушници да би се одредила аналитичка влага. Из узорака земљишта одстрањене су стране материје (жиле, камење, заостали стајњак или кречњак). Узорци су након неколико дана, уз повремено мешање, били ваздушно суви.

У ваздушно сувим узорцима одређена је аналитичка влага сушењем узорака у сушници на 105 °C до константне масе.

Из разлике масе посуде са земљиштем пре и после сушења израчунат је губитак при сушењу (кало), тј. садржај аналитичке влаге у узорку земље.

Сваки осушени узорак земљишта је уситњаван у авану или млину и независно од поступка уситњавања сва узоркована количина је уситњена и хомогенизована, просејана кроз адекватна сита (целокупна маса аналитичког узорка је просејана, тако што је уситњавање понављано више пута).

За одређивање рН вредности земљиште је било потребно просејати кроз сито пречника пора 2 mm, за приступачне облике фосфора и калијума 1 mm, а за одређивање хумуса и микро елемената кроз сито пречника пора 0,5 mm.

Просејани узорци припремљени за испитивања различитим хемијским методама паковани су у папирне кесе са свим елементима идентификације (назив узорка, лабораторијски број, датум) и чувани у складу са добром лабораторијском праксом.

- *Анализа основних агрохемијских параметара земљишта са ког су прикупљени узорци биомасе*

а) Одређивање садржаја органске супстанце (Magdoff, 1996). Узорак земљишта је прво осушен на 105 °С до константне масе (око 2 h), како би се уклонила влага, а потом је сушен на 350 °С исто у току од 2 h у сушници (J.P.Selecta, s.a., Spain) и из разлике у масама обрачунат је садржај органске материје (ОМ).

б) Одређивање слободног калцијум-карбоната (Horváth et al., 2005). Метода се заснива на третирању узорка земљишта хлороводоничном киселином и мерењу промене притиска, односно промени запремине услед издвајања угљеник (IV)-оксида, као последица реакције HCl и CaCO₃ у узорку, у херметички затвореном суду.

ц) Одређивање активне и супституционе киселости - рН у H₂O и nKCl - електрометријски методом SRPS ISO 10390:2007. Одмери се (10-20) g земљишта и дода се исто толико дестиловане воде. Раствор стоји око пола сата уз повремено мућкање и активна киселост је одређивана рН-метром (pH/lon 735, WTW, Germany). Супституциона киселост је испитана по истој процедури, али уз додавање nKCl у одмерену масу земљишта.

д) Одређивање укупног азота аутоматском методом-CHNS анализатором CHNS анализатором (AOAC 972.43: 2000);

е) Одређивање количине приступачног азота (Scharpf and Wehrmann, 1975). Одмери се око 150 g земљишта и прелије раствором 1 M NaCl и 0,1 M CaCl₂, затим се изврши екстракција и након што се процеди узорак кроз филтер папир, врши се одређивање NO₃-N спектрофотометријски на $\lambda = 210 \text{ nm}$ (Biochrom Libra S22 UV/Vis (ultraviolet-visible) Spectrophotometer- Biochrom, UK). NH₄-N се одређује након убацивања реагенса (1 : 10 раствор хипохлорита, као и комплексног реагенса који представља алкални раствор Na-цитрата и салицилата). Очитавање се врши спектрофотометријски на $\lambda = 623 \text{ nm}$.

ф) Одређивање количине приступачног фосфора (Watanabe and Olsen, 1965). Земљиште се екстрахује раствором NaHCO₃ рН = 8,5. Потом се профилира и у раствор се додаје комплексни реагенс (NH₄-молибдат + SnK-тартарат, уз додатак аскорбата). Фосфор се одређује спектрофотометријски на $\lambda = 882 \text{ nm}$ (Biochrom Libra S22 UV/Vis (ultraviolet-visible) Spectrophotometer- Biochrom, UK).

г) Одређивање количине приступачног калијума техником индуктивно купловане плазме са оптичком емисионом спектрометријом (ICP-OES) (Mehlich, 1984). Земљиште се екстрахује раствором (0,2 N CH₃COOH + 0,25 NH₄NO₃ 0,015 N NH₄F + 0,013 N HNO₃ +0,001 M EDTA), екстракт се процеди и у раствору се мери количина К са ICP-OES (Spectroflame, 27.12 MHz and 2.5 kW, model P, Spectro Analytical Instruments, Kleve, Germany).

х) Одређивање садржаја хумуса методом Tjurin-a, оксидацијом органске супстанце (DM 8/1-3-017). Садржај органског угљеника, односно хумуса, одређује се, тако што се тачно одмерена количина фино уситњене земље третира 0,4 N раствором K₂Cr₂O₇, па се дода на врх шпатуле Ag₂SO₄ и смеша се загрева 5 min. Узорак се након рефлуктовања пренесе квантитативно у већу посуду и допуни дестилованом водом, дода се смеша сумпорне и фосфорне киселине и индикатор (дифениламин-сулфонска киселина). Добијени раствор се титрише раствором Mohr-ове соли (FeSO₄(NH₄)₂SO₄6H₂O) до појаве зелене боје.

6.3.2. Методе испитивања биомаса

Хомогенизовани узорци биомаса испитивани су применом класичних метода за испитивање биогорива и савременим инструменталним методама, које ће бити описане навођењем кључних принципа.

У складу са стандарним методама за испитивање појединих параметара узорцима биомаса одређени су садржај:

а) *Садржај влаге (SRPS ISO E.P1.010, 1986)* у узорцима биомаса одређен је гравиметријском методом. Узорци су сушени 30 минута на температури од 100 °С, затим су хлађени у ексикатору сат времена и мерени на аналитичкој ваги. Поступак је понављан до константне масе сваког вегеталног узорка. Резултати испитивања су приказани у табели 24, у поглављу 7.4.1.

б) *Садржај пепела (SRPS EN 14775:2011)* у узорцима биомаса одређен је гравиметријском методом, жарењем узорка биомасе на 810 °С у пећи за жарење. Узорци биомаса су одмерени у тигловима претходно устаљене масе и постављени на решо са азбестном мрежицом. Температура загревања је постепено повећавана, тако да је органска супстанца постепено - лагано дестилована. Затим су тиглови директно и контролисано загревани на пламену Бунзеновог пламеника, тако да се узорци не запале. Када су узорци престали да се диме, стављени су у пећ за жарење и жарени до константне масе. Резултати испитивања су приказани у табели 23, у поглављу 7.4.1.

в) *Садржај целулозе (SRPS ISO 6541, 1997)* је одређен гравиметријском методом, која се заснива на киселој хидролизи узорка биомасе. Узорак се пребаци у балон, прелије са 150 ml дестиловане воде и 50 ml 5 % сумпорне киселине. Стакленим штапићем се изврши хомогенизација узорка и реагенса, а честице које су заостале на зиду суда за рефлуктовање сперу се реагенсом. Постављањем кондензатора на балону суспензија се рефлуктује 30 min, а након тог времена се хлади и цеди кроз гуч. Талог на гучу се више пута испира све док се не постигне неутрална средина раствора којим се испира (рН се проверава лакмус-папиром). Талог на гучу, да би се пре осушио, испира се сукцесивно ацетоном, па етром. На ваздуху осушени талог, суши се у сушници на 130 °С најмање један сат, а затим жари у пећи на 550 °С 30 min, хлади у ексикатору и мери. Измерена маса се прерачунава на суви узорак испитиване биомасе према приказаној формули, а резултати су приказани у табели 23 у поглављу 7.4.1.

г) *Садржај лигнина (TAPPI Test method, T 222 om-02)* се одређује тако што се из узорка уклоне холоцелулозе, а лигнин остане као чврст остатак. Узорци су третирани са по 15 ml 72 % H₂SO₄, мешани 1 минут и остављени на собној температури (око 20 °С) два сата. Након тога суспензије узорка су разблажене додавањем по 560 ml дестиловане воде (концентрација киселине је око 3%). Наредна 4 сата узорци су рефлуктовани и остављени да се охладе. Током третмана холоцелулоза се потпуно хидролизује Нерастворни остатак, после филтрирања и испирања дестилованом водом, дефинише се као Класонов лигнин (*Solar Energy Reserch Institute, 1991*). Суспензије узорка су филтриране кроз одмерене гучеве и испирани врућом водом до неутралне реакције филтрата. Испрани узорци су сушени 2 сата (или до константне масе) на 105 °С и из разлике маса, маса гуча са узорком умањена за масу празног гуча, израчуната је маса лигнина, а прерачунавањем на узорак без аналитичке влаге исказана је маса лигнина на сув узорак. Резултати испитивања су приказани у табели 23 у поглављу 7.4.1.

д) *Одређивање елементарног састава узорка биомасе: С, Н, N, S и О (из разлике)* Хомогенизовани узорци биомаса са аналитичком влагом испитивани су на апарату Ultimate analysis: Elemental analyser Elementar Vario EL III, CNS. Принцип рада је био да се одмерена количина узорка спали на високој температури (1150 °С) у струји хелијума, у атмосфери кисеоника и уз присуство катализатора, при чему се угљеник преводи у угљеник - (IV) оксид, водоник у водену пару, сумпор у сумпор - (IV) оксид, а органски азот се редукује до гасовитог азота. Садржај кисеоника у органској супстанци се израчунава из разлике, тако што се збир удела осталих елемената (прерачунат на органску супстанцу) сабере и одузме од сто. Резултати испитивања за сваки елемент су прерачунати на сув узорак и приказани у табели 25 у поглављу 7.4.2.

ф) Садржај никотина у узорку дуванске стабљике одређен је *High Performance Liquid Chromatography metodom (Breeze QS HPLC System, Waters Breeze, USA)*. Узорци дуванске стабљике су самлевени на величину 2 mm и сушени на 60 °C током 24 часа до константне масе. Затим је извршена водена екстракција млевеног узорка, уз додатак натријум фосфатног пуфера (pH 7,8), на 30 °C током 24 часа, уз константно мешање. Водени екстракт је филтриран кроз Whatman No. 2 филтер папир, разблажен 10 пута водом и пребачен у вијалу, како би се омогућило аутоматско убризгавање аликвота од 20 µl. За одвајање алкаоида примењена је C₁₈ реверзна фаза колоне, са мобилном фазом од 40 % метанола, која садржи 0,2 % фосфорне киселине пуфероване на pH 7,25 са триетиламином, при брзини протока од 0,5 ml/min. Коришћен је детектор (*Waters 2998 Photodiode Array detector operators Guide Waters PDA*). Никотин је идентификован на UV таласним дужинама између 210 и 400 nm, а квантификација је извршена на 254 nm. Резултат садржаја никотина у узорку дуванске стабљике Берлеја приказан је у поглављу 7.9.

г) Одређивање количине метала у узорцима пепела брикета испитиваних биомаса Након сагоревања брикета испитиваних биомаса, у свим узорцима пепела испитана је количина метала, и прерачуната њихова количина на суви узорак. Од пепела сваке биомасе припремљене за испитивање одмерено је око 1 g узорка на аналитичкој ваги. Сваки узорак је третиран са 20 ml HNO₃, реакција разарања трајала око 18-20 сати на собној температури, а након тог периода, реакциона смеша је полагано загревана до појаве смеђих пара. По престанку издвајања смеђих пара реакциона смеша је охлађена. Охлађена смеша је третирана са 3 ml концентрованог H₂O₂ и поново загревана до издвајања смеђих пара. Реакциона смеша је охлађена (биомаса потпуно разорена) и квантитативно пренесена у нормални суд од 50 ml. За филтрирање је коришћен филтер папир средње густине и средње брзине цеђења. Припремљени раствори су анализирани на ICP-OES-у (*iCAP 6300 ICP-OES CID Spectrometer, Thermo Scientific, USA*). Добијени резултати су прерачунати на сув узорак и приказани у табели 33 у поглављу 7.10.

6.4. ПРЕДВИЂАЊЕ HHV (*Higher Heating Value*) УЗОРАКА БИОМАСЕ

Основни показатељ употребне вредности неког узорка биомасе као горива је њена топлотна моћ. Она може да се одреди експериментално и рачунски.

Експериментално одређивање HHV захтева посебну опрему. Одредивање топлотне моћи рачунским путем врши се на основу познатих података о хемијском саставу и елементарном саставу биомасе, који се могу лако добити помоћу доступне лабораторијске опреме.

На основу резултата о хемијском саставу и елементарном саставу постоји могућност да се израчуна апроксимативна вредност топлоте сагоревања било ког горива.

Израчунавање HHV се заснива на различитим параметрима и једначине за израчунавање, које су примењене у раду су:

$$\text{HHV} = 19,914 - 0,2324 (A) \text{ (Sheng and Azevedo, 2005), где је } A \text{ - пепео} \quad (1)$$

$$\text{HHV} = 0,0889 (L) + 16,8218 \text{ (Demirbas, 2001), где је } L \text{ - лигнин} \quad (2)$$

$$\text{HHV} = -1,3675 + 0,3137 (C) + 0,7009 (H) + 0,0318 (O) \text{ (Sheng and Azevedo, 2005)} \quad (3)$$

где су C - угљеник; H - водоник; O - кисеоник.

Формула (3) је једна од најпоузданијих, са мерном несигурношћу ±5 %. Коришћењем наведених формула, израчунате су HHV вредности за све испитиване узорке биомаса. Резултати су приказани у табели 28 у поглављу 7.5.

6.5. ОДРЕЂИВАЊЕ ТОПЛОТНЕ МОЋИ УЗОРАКА БИОМАСЕ

Топлота сагоревања је одређена на калориметру *IKA C400 Adiabatic*, према стандарду *SRPS EN ISO 18125:2017*. Испитивања су спроведена према захтевима стандарда за лабораторијска испитивања *SRPS EN ISO/IEC 17025:2006*, па је валидност резултата у потпуности обезбеђена.

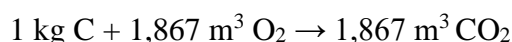
Израчуната је горња топлотна моћ, а на основу количине расположивог водоника, израчуната је и доња топлотна моћ, као реални параметар за процену топлотне моћи биомаса. Резултати топлотне моћи исказани на сув узорак биомаса приказани су у табели 29 у поглављу 7.6.

6.6. ПРЕДВИЂАЊЕ ПРОДУКАТА САГОРЕВАЊА УЗОРАКА БИОМАСЕ– CO_2 , SO_2 , N

Прорачун запремине продукта сагоревања чврстог горива извршен је апроксимативно на основу познавања елементарног састава горива, применом стехиометријских једначина сагоревања (*Ђојбашић и сар., 2011*).

1. Стехиометријска једначина сагоревања угљеника (C)

Угљеник чини најважнију компоненту горива, јер се његовим сагоревањем ослобађа топлота. За сагоревања угљеника (C) потребна је количина кисеоника (O_2) из ваздуха према једначини:



Запремина насталог угљеник (IV)-оксида, V_{CO_2} у m^3/kg , при нормалним условима ($t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, $P = 101325 \text{ Pa}$) услед сагоревања угљеника, биће:

$$V_{CO_2} = 1,867 \frac{C}{100}$$

2. Стехиометријска једначина сагоревања сумпора (S)

Сагоревањем сумпора уз присуство довољне количине ваздуха, настаје SO_2 и SO_3 , уколико за то постоје услови.

Запремина продукта сагоревања сумпора V_{SO_2} у m^3/kg , при нормалним условима је:

$$V_{SO_2} = 0,7 \frac{S}{100}$$

3. Стехиометријска једначина сагоревања водоника (H_2)

У продуктима сагоревања присутна је и влага (W) која потиче из горива, тако да је њена запремина V_{H_2O} у m^3/kg , при нормалним условима:

$$V_{H_2O} = 11,2 \frac{H_2}{100} + 1,24 \frac{W}{100}$$

4. Стехиометријска једначина сагоревања азота (N_2)

У продуктима сагоревања присутан је азот (N_2). Ако је коефицијент вишка ваздуха већи од 1 ($\lambda > 1$), запремина азота (V_N) у продуктима сагоревања је:

$$V_N = 0,8 \frac{N_2}{100} + \frac{79}{100} L_{min}$$

Први члан ове једначине односи се на присуство N_2 у гориву, а други на присуство азота у ваздуху (79 %).

5. Одређивање минимално теоријски потребне количине ваздуха за потпуно сагоревање

У процесу сагоревања горива учествује кисеоник из ваздуха због чега је потребно одредити минималну количину ваздуха која ће садржавати минимално потребну количину кисеоника за сагоревање. Израчунава се на основу познате минимално потребне количине кисеоника и учешћа кисеоника у ваздуху. Ова величина обележава се са L_{min} (Штрбац и сар., 2011), а изражава у јединицама m^3/kg и одређује према једначини:

$$L_{min} = \frac{O_{min}}{0,21}$$

где је: 0,21- приближна вредност масеног учешћа кисеоника у ваздуху.

6. Одређивање минимално теоријски потребне количине кисеоника за потпуно сагоревање

Минимално потребна количина кисеоника представља неопходну количину кисеоника за потпуно сагоревање свих горивих елемената горива. Израчунава се на основу познатог елементарног састава горива и минимално потребних количина кисеоника (O_{min}) за потпуно сагоревање свих горивих елемената (Штрбац и сар., 2011). Минималну количину кисеоника можемо да израчунамо на основу израза:

$$O_{min} = \left[1,867C + 5,6 \cdot \left(H - \frac{O}{8} \right) + 0,7S \right] \frac{1}{100}$$

Потребне количине кисеоника за гориве елементе добијене су из претходно наведених стехиометријских једначина сагоревања и износе за:

- угљеник $O_{min} = 1,867 m^3/kg$,
- водоник $O_{min} = 5,6 m^3/kg$,
- сумпор $O_{min} = 0,7 m^3/kg$.

Резултати предвиђања минималне количине кисеоника и вишка ваздуха и запремине продуката сагоревања испитиваних облика биомасе приказани су у табели 30 у поглављу 7.7.

6.7. БРИКЕТИ

6.7.1. Уситњавање узорака за брикетирање

Свих шест узорака биомасе је уситњено млином (модел *Macinatore MAC 500*), до одређене гранулације, да би се лакше брикетирали. На слици 13 приказан је изглед самлевених узорака спремних за брикетирање.

Правилно уситњени материјал омогућавао је већу сабијеност брикета, без прашине и пуцања.



Слика 13. Изглед самлевених узорака

6.7.2. Израда брикета од испитиваних узорака биомасе

За потребе погонског испитивања направљени су брикети од свих шест испитиваних облика биомасе, без додавања везивних материјала. Боја брикета је варијала, у зависности од врсте биомасе, од светло жуте до тамно браон (слика 14).



Слика 14. Приказ изгледа брикета испитиваних узорака биомасе

Уситњени материјал сваког узорка се под високим притиском на брикетирки (модел *CO.MA.FER*), која ради на притиску од 10 bar-а и при напону од 380 V, претворио у компактну форму, у брикет облика цилиндричног ваљка. Карактеристике брикета приказане су у табели 22 у поглављу 7.5.1.

6.8. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОДРЕЂИВАЊЕ ПРОДУКАТА САГОРЕВАЊА БРИКЕТА БИОМАСА –CO, CO₂, SO₂, NO, NO_x

Продукти сагоревања (CO, CO₂, SO₂, NO и NO_x) испитивани су сагоревањем брикета припремљених од испитиваних биомаса по описаном поступку, а по упутству *UP.53.540.01*, на основу стандарда *SRPS M.E2.203:1980*.

Сагоревање брикета је извршено у котлу топлотне снаге 65 kW, који је предвиђен за сагоревање биомасе, на фиксној решетки са ручним ложењем, уз евидентирање почетка паљења узорка и потпуног сагоревања.

У току процеса сагоревања сви узорци су сагоревали под истим режимом сагоревања (температуре у ложишту, температуре воде која пролази кроз катао и масеног протока воде кроз катао).

Гасови сагоревања су испитивани помоћу анализатора димних гасова MRU GmbH User Manual Vario Plus (*MRU, Germany*).

Анализатор димних гасова састоји се из две компоненте: контролне јединице и модула за анализу гасова. Мерна сонда се налазила на излазу из димњака.

За сваки узорак урађена су три мерења, у истим интервалима, у току 10 минута сагоревања при истим условима у складу са Правилником о граничним вредностима емисије, начину и роковима мерења и евидентирања података (*Сл.гласник РС, бр. 30/97, 35/97*).

Карактеристике мерног опсега коришћеног анализатора MRU приказане су у табели 13. Резултати испитивања су приказани у табели 29 у поглављу 7.9.

*Табела 13. Карактеристике мерног опсега анализатора
димних гасова MRU*

Компонента	Мерни опсег	Тачност
CO	0-10000 ppm	±5 % м.о.
NO	0-3000 ppm	±5 % м.о.
NO ₂	0-500 ppm	±5 % м.о.
SO ₂	0-5000 ppm	±5 % м.о.
O ₂	0-25 % Vol	±0.8 % м.о.
Температура	-40°C-1200°C	±0.5 % м.о.
Брзина	0-40m/s	±0.4 % m/s

6.9. ОДРЕЂИВАЊЕ КОЛИЧИНЕ НИКОТИНА У ДИМУ ПРИ САГОРЕВАЊУ БРИКЕТА ОД СТАБЉИКА ДУВАНА ТИПА БЕРЛЕЈ

Узорак дуванске стабљике Берлеј у облику брикета масе 1 kg спаљен је у већ описаној пећи. На врху димног канала пећи постављен је диск пречника 92 mm (*Kembridž filter* за прикупљање кондензата димних гасова).

Када је брикет сагорео, филтер је лабораторијском пинцетом пребачен са врха димног канала у носач филтера да би се заштитио од спољашњих утицаја.

Филтер је исечен на четири једнака дела. Извршена је екстракција и одређена количина никотина на *HPLC*-у. Резултат испитивања је приказан у поглављу 7.9.

6.10. АГРОЕКОЛОШКИ УСЛОВИ НА ИСПИТИВАНИМ ЛОКАЛИТЕТИМА

Од агроеколошких услова, у овом раду су разматрани метеоролошки и земљишни услови.

6.10.1. Метеоролошки услови

За рационално обављање ратарске производње, поред земљишта и одабране агротехнике, неопходни су и повољни метеоролошки услови.

Метеоролошки услови су природна појава, на њих се не може много утицати. Променљиви метеоролошки услови, како у погледу атмосферских падавина, тако и у погледу осцилација у температурама ваздуха су најчешће узрок лошег приноса и квалитета семена ратарских усева (*Мунћан и сар., 2018*).

Од метеоролошких услова у раду су разматрани подаци о средњим месечним температурама ваздуха и укупним месечним количинама падавина, као најважнијим метеоролошким елементима неопходним за оптималан раст и развој биљака.

Приказ метеоролошких услова подручја са којих су прикупљени узорци свих пет облика пољопривредне биомасе дат је на основу података РХМЗ Србије.

Најближа метеоролошка станица за два локалитета у Срему (Стара Пазова и Голубинци) је у Сурчину, тако да се метеоролошки подаци евидентирани у овој станици односе на оба локалитета.

У табели 14 приказане су средње месечне температуре ваздуха и укупне месечне количине падавина за локалитете Шапца и Сурчина испитиваних биомаса, за период истраживања у 2015. години.

Да би се поузданије проценио утицај метеоролошких услова приказани су вишегодишњи подаци (табела 15), за период (1981-2010. година), евидентирани на најближим станицама пољопривредних површина са гајеним биљкама.

6.10.1.a. Метеоролошки услови производних подручја Шапца (44° 46' N 19° 41' E 80 m) и Сурчина (44° 49' N 20° 17' E 96 m)

Стабљика дувана типа Берлеј узета је са производног подручја Шабац а осталих четири узорака са производног подручја Сурчина (пшенична слама, сојина стабљика, остаци глава сунцокрета и окласци кукуруза).

У (табели 14; график 1), приказане су средње месечне температуре ваздуха и количине падавина на локалитетима Шапца и Сурчина за испитивану 2015. годину.

Табела 14. Средње месечне температуре ваздуха ($T_{\text{ср}}$, °C) и количине падавина (RR , mm) на испитиваним локалитетима у 2015. години

Месец \ Локалитет	Шабац		Сурчин (Стара Пазова и Голубинци)	
	$T_{\text{ср}}$ (°C)	RR (mm)	$T_{\text{ср}}$ (°C)	RR (mm)
Јануар	2,8	54,0	3,1	52,0
Фебруар	2,8	65,5	3,4	43,4
Март	7,4	142,5	7,6	110,3
Април	11,9	35,6	12,7	31,1
Мај	18,1	75,7	18,5	90,7
Јун	20,6	46,2	21,3	28,3
Јул	24,7	10,0	25,9	6,5
Август	23,3	103,3	25,3	67,8
Септембар	18,2	83,9	19,4	77,1
Октобар	11,6	75,2	11,9	56,7
Новембар	6,6	73,4	8,30	48,8
Децембар	2,9	5,9	3,40	2,0
Просек/сума	12,6	771,2	13,4	614,7

На основу података (табела 14) за средње месечне температуре ваздуха ($T_{\text{ср}}$, °C) за производна подручја Шапца (12,6 °C) и Сурчина (13,4 °C) у 2015. години, може се закључити да је просечна годишња температура ваздуха виша у односу на температуру у вишегодишњем периоду (1981-2010) за оба испитивана локалитета.

Подаци о количини падавина (RR , mm) указују да је већа количина падавина на локалитету Шапца у 2015. години (771,2 mm) у односу на вишегодишњи просек (658,1 mm) а на локалитету Сурчина у испитиваној години мања за 32,8 mm падавина од вишегодишњег просека (1981-2010).

Пролеће 2015. године (март) карактерисало је променљиво, просечно топло време са средњим месечним температурама у Шапцу 7,4 °C и са већом количином падавина (142,5 mm) у односу на вишегодишњи просек, са $T_{\text{ср}}$ 6,7 °C а количина падавина 50,2 mm.

Такође је евидентна разлика у 2015. у марту месецу на локалитету Сурчина у средњој температури (7,6 °C) и падавинама (110,3 mm) у односу на вишегодишњи просек. Ове чињенице су допринеле квалитетнијој садњи биљака у пољу и примању расада.

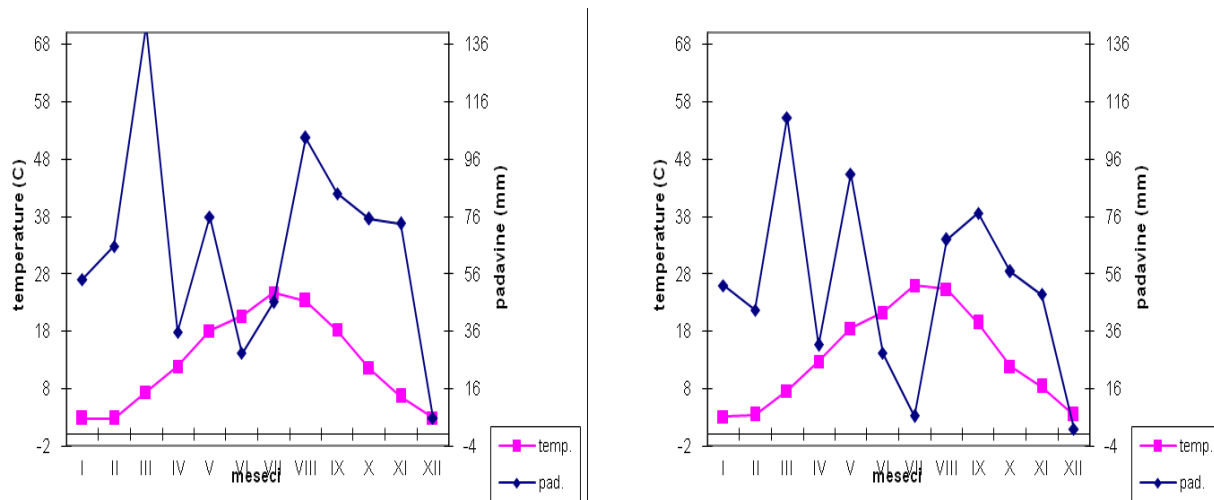
Лето 2015. године (јун-август) било је са вишом средњом месечном температуром ваздуха у Шапцу у односу на вишегодишњи просек али у јулу је уочена мала количина падавина (10,0 mm), док је у вишегодишњем периоду у јулу било 57,6 mm падавина. И на локалитету Сурчина у јулу месецу примећује се ниска вредност количине падавина у испитиваној години (свега 6,5 mm), што је за 89 % мање од вишегодишњег просека.

Након сушног периода у јулу уочена је већа количина падавина у августу (103,3 mm), што је за 39% више од вишегодишњег просека. У Сурчину је измерено 67,8 mm падавина што је приближно количини падавина 30-годишњег просека за август месец (63,3 mm).

Септембар 2015. године карактерисало је топлије време на локалитету Шапца али са већом количином падавина (83,9 mm) у односу на вишегодишњи просек (46,3 mm). Такође, и на локалитету Сурчина је уочена виша средња месечна температура ваздуха и већа количина падавина од 30-годишњег просека.

Ради боље оцене и представљања климатских чиниоца у испитиваној 2015. години и за вишегодишњи просек (1981-2010), коришћен је клима дијаграм по Walter-у (графикон 1 и 2).

На основу тог дијаграма може се установити појава сушних периода, и могућност њиховог неповољног утицаја на одређене фазе развоја испитиваних биљака.



Графикон 1. Климодијаграми по Walter-у за Шабац и Сурчин (2015)

Јасно се уочава већа осцилација падавина на другом дијаграму локалитета Сурчин, сушни период (јун-јул), а са локалитета Шапца месец јул са свега 10 mm падавина.

Табела 15. Средње месечне температуре ваздуха (T_{cp} , °C) и количине падавина (RR , mm) за 30-годишњи период (1981-2010)

Месец \ Локалитет	Шабац		Сурчин (Стара Пазова и Голубинци)	
	T_{cp} (°C)	RR (mm)	T_{cp} (°C)	RR (mm)
Јануар	0,3	45,5	0,6	42,1
Фебруар	2,0	36,2	2,2	30,9
Март	6,7	50,2	6,9	44,5
Април	11,6	50,0	12,2	54,3
Мај	17,1	60,7	17,5	53,4
Јун	20,1	78,1	20,5	95,1
Јул	21,9	57,6	22,5	58,2
Август	21,4	62,9	22,2	63,3
Септембар	16,8	46,3	17,6	53,9
Октобар	11,9	56,2	12,5	47,8
Новембар	5,7	57,4	6,4	53,6
Децембар	1,4	57,0	1,9	50,4
Просек/сума	11,41	658,1	11,92	647,5

Температурне разлике у 2015. години на локацијама Шапца (12,6 °C) и Сурчина (13,4 °C) (табела 14) су незнатно веће у поређењу са вредностима за вишегодишњи период (1981-2010), јер је годишњи просек на истим локалитетима био 11,4 °C и 11,92 °C (табела 15).

Што се тиче укупне количине падавина оне су варијабилне и неуједначене по месецима у години истраживања по локацији.

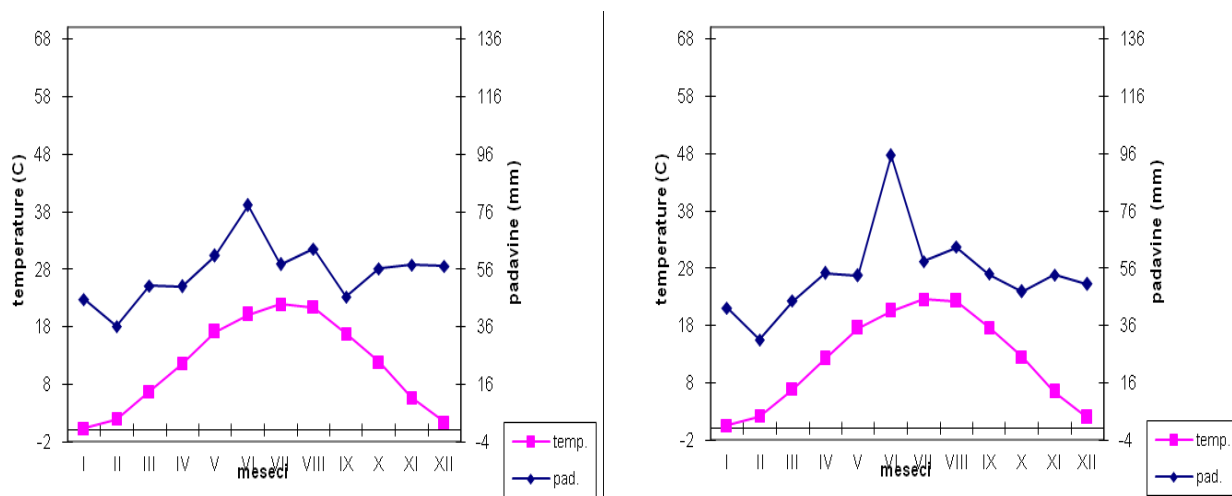
Поређењем података за 2015. годину и за вишегодишњи просек (1981-2010) може се уочити да су и средња месечна температура ваздуха и укупна количина падавина у 2015. години на локалитету Шабац већи од вишегодишњег просека.

На локалитету Сурчина уочено је да је средња температура у 2015. години (13,4 °C) већа од вишегодишњег просека (11,9 °C), али је укупна количина падавина нижа.

Биљне врсте засејане на подручју Сурчина су у вегетационом периоду биле изложене повишеној температури што се одразило на оптималан раст и развој биљака, посебно у кључним месецима (јун, јул, август) у којима су обично критични периоди за топлоту и воду испитиваних усева, што се види из климадијаграма (график 2).

Сматра се, по прогнозама стручне и научне јавности да ће највећи проблем пољопривреде у будућности бити смањење количине падавина, праћено високим температурама ваздуха, посебно током летњих месеци (Долијановић и сар., 2018).

Распоред падавина током месеци вегетације је најважнији показатељ за раст и развој биљака. Свака биљка има критични период за воду и ако су у критичном период неповољни услови, онда је остатак вегетације мање битан јер доводи до слабије продуктивности (Кресовић, 2003).



Графикон 2. Климодијаграми по Walter-у за Шабац и Сурчин у вишегодишњем периоду (1981-2010)

Утицај количине падавина и температуре ваздуха, током вегетационог периода, на садржај органске материје објашњен је у поглављу 7.2.

6.10.1. б. Вегетациони период испитиваних биомаса

Подаци о средњим месечним температурама ваздуха (T_{sp} , °C) и количинама падавина (RR, mm) на локалитету Шапца и Сурчина у вегетационом периоду током истраживања у 2015. години у односу на вишегодишње просечне вредности (1981-2010) за испитиване биомасе приказани су у табелама 16, 17 и 18.

Табела 16. Средње месечне температуре ваздуха (T_{cp} , °C) и количине падавина (RR, mm) на локалитету Шапца у вегетационом периоду дувана у 2015. години и за 30-годишњи период (1981-2010)

Локалитет		Шабац, 2015. година		Шабац, (1981-2010)	
Месец	Параметри	T_{cp} (°C)	RR (mm)	T_{cp} (°C)	RR (mm)
Мај		18,1	75,7	17,1	60,7
Јун		20,6	46,2	20,1	<u>78,1</u>
Јул		<u>24,7</u>	10,0	<u>21,9</u>	57,6
Август		23,3	<u>103,3</u>	21,4	62,9
Септембар		18,2	83,9	16,8	46,3
Просек/сума за вегетациони период дувана		20,98	319,10	19,46	305,60

Вегетациони период дувана (мај-септембар): Анализом података (табела 16), просечне месечне средње температуре ваздуха (T_{cp} , °C) у току вегетације дувана на локалитету Шапца веће су у свим месецима у односу на средње месечне температуре за вишегодишњи просек (1981-2010). Такође је просечна температура за вегетациони период дувана била већа за 1,52°C у 2015. години у односу за вишегодишњи просек.

Оптимальна температура за нормални раст и развијање дувана је у интервалу 20-30 °C. За добијање дуванске сировине високог квалитета неопходно је да лишће зри на температури не нижој од 20 °C (Узуноски, 1987).

У периоду од маја до септембра средње температуре су биле у интервалу од 18,1°C до 24,7 °C, просек 20,98 °C, што се подудара са литературним подацима (Радојичић, В., 2011).

У току целог вегетационог периода за успешно гајење дувана потребна је одређена количина воде за сваку фазу раста и развића дувана. Дуван типа Берлеј има велике потребе за влагом (300-650) mm (Арсич, 2019). Анализом података из табеле 16, у јулу је уочљив изразит дефицит влаге (10 mm), док је у августу већи прилив падавина (103 mm), што је ипак у поређењу са вишегодишњим просеком мање за 40,4 mm.

Код производње дувана могући су проблеми изазвани у неправилном распореду падавина. Посебно су критични јули и август јер падавине у ова два месеца, углавном одређују успех у производњи дувана (Sjeran i sar., 2008).

Сума падавина за вегетациони период у години испитивања 2015. од 319,10 mm, као и за вишегодишњи просек 305,60 mm су у оптималним границама литературних података. Према подацима из литературе, просечна температура (10-годишњи просек) на подручју Шапца у вегетационом периоду дувана је 19 °C, а просечна количина падавина 315 mm воденог талоба (Радојичић, 2016).

Табела 17. Средње месечне температуре ваздуха (T_{cp} , °C) и количине падавина (RR , mm) на локалитету Сурчина у вегетационом периоду сунцокрета, соје и кукуруза у 2015. години и за 30-годишњи период (1981-2010)

Локалитет	Сурчин (Стара Пазова и Голубинци) 2015. година		Сурчин (Стара Пазова и Голубинци) (1981-2010)		
	Параметри	T_{cp} (°C)	RR (mm)	T_{cp} (°C)	RR (mm)
Март		7,6	110,3	6,9	44,5
Април		12,7	31,1	12,2	54,3
Мај		18,5	90,7	17,5	53,4
Јун		21,3	28,3	20,5	95,1
Јул		25,9	6,5	22,5	58,2
Август		25,3	67,8	22,2	63,3
Септембар		19,4	77,1	17,6	53,9
Просек/сума за вегетациони период сунцокрета		18,67	411,8	17,06	422,7
Октобар		11,9	56,7	12,5	47,8
Просек/сума за вегетациони период соје и кукуруза		19,28	358,2	17,86	426,0

Вегетациони период сунцокрета (март–септембар): Подаци из табеле 17, указују да су средње месечне температуре у 2015. години веће у сваком месецу током периода вегетације у односу на 30-годишњи период. Према литературним подацима оптималне температуре за раст и развој сунцокрета су између (20-25) °C (Гламочлија, 2012).

Просек сума температура за вегетациони период у 2015. години од 411,8 mm, као и за вишегодишњи просек од 422,7 mm (табела 17), је у оптималним границама литературних података.

Што се тиче количине падавина по месецима постоји евидентна разлика, нарочито у месецу марту у години истраживања (за 65,8 mm више од вишегодишњег периода). Сума средње месечне температуре у години истраживања била већа за 1,61 °C, а количина падавина мања од вишегодишњег периода за 10,9 mm. Падавине у току лета (јун, јул) могу да изазову развој болести у фази формирања и наливања зрна уколико је влажнија година. У јуну 2015. године било је 28,3 mm, али је јул зато био са врло мало падавина, свега 6,5 mm.

Потребе сунцокрета за водом у току вегетационог периода су велике (400-500 mm), (Dragović et al., 1996).

Вегетациони период соје (април-октобар): Анализом топлотних услова (табела 17), може се закључити да су у 2015. години температуре више него у 30-годишњем просеку. У априлу и мају средње месечне температуре (12,7 и 18,5) °C, биле су више у односу на вишегодишњи просек (12,2 и 17,5)°C, што се може повољно одразити на уједначено и брзо ницање соје.

Треба нагласити да су и средње месечне температуре у јуну, јулу и августу 2015. године више у односу на вишегодишњи просек за (0,8; 3,4; 3,1) °C. Висока средња месечна температура у августу, која је била за 3,1 °C виша у односу на вишегодишњи просек, је критична јер се соја налази у фази наливања зрна.

Оптималне температуре у фази цветања су (20-25) °С, у току формирања зрна (21-23) °С, а током зрења (19-20) °С (*Миладиновић и сар., 2008*). Сходно томе, на основу података приказаних у табели 17, може се констатовати да су температуре током вегетационог периода соје у границама литературних података, како за годину истраживања, тако и за вишегодишњи просек.

Потребе соје за водом током вегетационог периода у условима Војводине износе (450-480) mm (*Максимовић и сар., 2005*). Просек количине падавина у години истраживања износио је 358,2 mm, што је за 91,8 mm мање у односу на податке из литературе. Слична констатација важи и за 30-годишњи просек (24 mm мање).

За соју су током периода вегетације битни агроеколошки услови у месецу јулу и августу. Ако биљка соје у јулу има мање влаге а у августу око (50-60) mm, могу се очекивати добри резултати производње (*Ненадић и сар., 1995*). Ако се погледа табела 17, падавине у јулу су недовољне (6,5 mm). Насупрот томе повољни услови падавина у августу (67,8 mm) у години експеримента продужавају вегетациони период соје и обезбеђују добар квалитет.

Вегетациони период кукуруза (април-октобар): Просечне температуре ваздуха по посматраним месецима су у опсегу (12,7-25,9) °С у години истраживања и била су више у односу на температуре вишегодишњег просека (12,2-22,5) °С. Просек суме средњих месечних температура у 2015. години износио је 19,28 °С, што је више за 1,42 °С у односу на просек суме температура 30-годишњег периода.

Април је био топлији у односу на вишегодишњи просек. У мају 2015. године забележена је просечна месечна температура од 18,5°С, што је у поређењу са вишегодишњим просеком (17,5 °С) више за 1 °С. Јун је имао просечну температуру 21,3 °С, што је такође више од вишегодишњег просека за 0,8 °С. Највећа разлика у температурама је уочена у месецу јулу у години истраживања (25,9 °С), што је у односу на вишегодишњи просек било више за 3,4 °С. Разлика температура у августу је била већа у 2015. години за 3,1 °С а у септембру за 1,8 °С у односу на вишегодишњи просек.

Октобар је, са просечном месечном температуром ваздуха од 11,9 °С био најхладнији у 2015. години. У односу на вишегодишњи просек температура је била нижа за 0,6 °С.

Високе температуре током јула, и у дужем периоду (јуни-август) у 2015. години, неповољно делују на све биљке посебно, када је присутан и недостатак падавина. Смањује се могућност кореновом систему да се снабдева потребном количином воде и минералним хранивима (*Драговић и сар., 2006*).

У погледу суме и распореда падавина по месецима током вегетационог периода израженије су разлике у години испитивања. У односу на вишегодишњи просек, 2015. година била је са већом сумом падавина током пролећа, а са мањом током лета.

У 2015. години сума падавина за вегетациони период кукуруза износила је 358,2 mm и у односу на вишегодишњи просек, била је нижа за 67,8 mm.

У мају, највећа сума падавина забележена је у 2015. години (90,7 mm), што је у поређењу са вишегодишњим просеком више за 37,3 mm.

Са најмање падавина био је јул у 2015. години, са свега 6,5 mm, што је у поређењу са вишегодишњим просеком мање за 51,7 mm.

У тридесетогодишњем периоду, јун је најкишовитији месец током вегетационог периода, са 95,1 mm падавина, што је у односу на 2015. годину више за 66,8 mm.

У току августа сума падавина од 67,8 mm је већа у односу на вишегодишњи просек за 4,5 mm, септембар за 23,2 mm, а октобар за 8,9 mm у односу на вишегодишњи просек.

Укупне потребе у води током вегетационог периода кукуруза износе (300-555) mm падавина (Гламочлија, 2012). Просек сума за вегетациони период од 358,2 mm у години испитивања, као и за 30-годишњи период од 426,0 mm (табела 17), је у оптималним границама према литературним подацима.

Вегетациони период пшенице (октобар 2014 - јул 2015): На основу најдужег вегетационог периода од 10 месеци јасно је да је предмет испитивања била озима пшеница. Подаци о средњим месечним температурама ваздуха за период посматрања приказани су у табели 18. Просечна средња годишња температура ваздуха за вишегодишњи период (1981-2010) била је 10,32 °C. У 2015. години регистрована је средња годишња температура од 11,91 °C, што је за 1,59 °C више у односу на 30-годишњи просек. Највеће разлике у односу на вишегодишњи просек забележене су у фебруару (3,4 °C), мају (18,5 °C), јуну (21,3 °C) и јулу (25,9 °C). Просечне вишегодишње вредности за ове месеце су 2,2 °C у фебруару, 17,5 °C у мају, 20,5 °C у јуну и 22,5 °C у јулу. Најхладнији месец је јануар, са просечном средњом месечном температуром 0,6 °C, а најтоплији је јул (22,5 °C).

Укупна годишња сума падавина за период (1981-2010), износи 530,3 mm, што је за 39,6 mm више од количине у испитиваној години 2015. Посматрано по месечним сумама падавина, у 2015. години уочене су веће количине падавина у односу на вишегодишњи период. Регистроване су у октобру 2014. (57,1 mm), децембру 2014. (61,4 mm), фебруару (43,4 mm) и нарочито у марту (110,3 mm) и мају (90,7 mm) и знатно су више од вишегодишњег просека (за октобар 47,8 mm, за децембар 50,4 mm, за фебруар 30,9 mm, за март 44,5 mm и мај 53,4 mm).

Табела 18. Средње месечне температуре ваздуха (T_{cp} , °C) и количине падавина (RR, mm) на локалитету Сурчина у вегетационом периоду пшенице у 2015. години и за 30-годишњи период (1981-2010)

Локалитет	Сурчин (Стара Пазова и Голубинци) 2015. година		Сурчин (Стара Пазова и Голубинци) (1981-2010)	
	Т _{ср} (°C)	RR (mm)	Т _{ср} (°C)	RR (mm)
Октобар 2014	13,6	57,1		
Новембар 2014	9,2	9,9		
Децембар 2014	3,8	61,4		
Јануар	3,1	52,0	0,6	42,1
Фебруар	3,4	43,4	2,2	30,9
Март	7,6	<u>110,3</u>	6,9	44,5
Април	12,7	31,1	12,2	54,3
Мај	18,5	90,7	17,5	53,4
Јун	21,3	28,3	20,5	<u>95,1</u>
Јул	<u>25,9</u>	6,5	<u>22,5</u>	58,2
Октобар			12,5	47,8
Новембар			6,4	53,6
Децембар			1,9	50,4
Просек/сума за вегетациони период пшенице	11,91	490,7	10,32	530,3

Према литературним подацима, за високе приносе пшенице количина падавина требало би да износи (450-600) mm (*Komljenović i Todorović, 1998*). На основу тога, подаци о количинама падавина током вегетационог периода у 2015. години испитивања од 490,7 mm, као и за вишегодишњи просек од 530,3 mm (табела 18) су у оптималним границама.

6.11. СТАТИСТИЧКА ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА

Статистичка обрада података вршена је у статистичком пакету *IBM SPSS Statistic V.21*. Резултати статистичке обраде података испитиваних узорака приказани су у поглављу 7.12.

7. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И ДИСКУСИЈА

7.1. ОСНОВНЕ АГРОХЕМИЈСКЕ ОСОБИНЕ ЗЕМЉИШТА ЗА РАСТ И РАЗВОЈ БИЉАКА

Земљиште је природни и обновљиви ресурс на коме се одвија пољопривредна производња и који настаје хиљадама година, док се процесима деградације може врло брзо уништити природним или антропогеним путем (*Ličina et al., 2011*).

Квалитет земљишта је дефинисан као способност земљишта да остварује своје функције у границама агрокосистема, одржавајући биолошку активност и обезбеђујући животну околину за биљке и животиње (*Doran et al., 1996*).

Сматра се да појам квалитет земљишта укључује физичке, хемијске и биолошке особине. Земљиште високог квалитета дугорочно обезбеђује продуктивност биљака, са минималним утицајем на животну средину (*Beare et al., 1997*).

Репрезентативни узорци земљишта са три локалитета: Шабац, Стара Пазова и Голубинци, на којима су гајене испитиване биљне врсте, испитано је методама описаним у делу 6.3. Метода рада. Земљишта су класификована према методи коју су разрадили *Sparks et al. (1996)*.

Мерени су параметри плодности земљишта: рН, укупни азот и различити облици азота, фосфор, хумус, калцијум-карбонат и однос С/Н. Резултати су приказани у Табели 19.

Табела 19. Хемијске особине земљишта са различитих локалитета

Локалитет Параметар	Шабац	Стара Пазова	Голубинци
рН			
H ₂ O	5,85	8,06	6,75
n KCL	4,49	7,41	5,80
CaCO ₃ (%)	0,0	3,7	0,0
Хумус(%)	2,57	2,85	2,97
Укупан N (%)	0,20	0,23	0,19
С/Н	7,3 : 1	7,1 : 1	8,8 : 1
NH ₄ (mg/kg)	6,5	5,6	7,7
NO ₃ (mg/kg)	15,4	18,6	28,0
NH ₄ + NO ₃ (mg/kg)	21,9	24,4	35,7
P ₂ O ₅ (mg/100g)	1,5	10,0	11,4
K ₂ O (mg/100g)	15,2	21,4	43,6

Киселост земљишта, односно његова рН вредност нижа од рН 7, једна је од најбитнијих особина земљишта (*Марковић и сар., 2007*). Од рН вредности зависи интензитет микробиолошких процеса разлагања органске материје и исхрана биљака. Сматра се да је најбоља приступачност главних хранива када је рН вредност у интервалу 6 - 8.

На локалитету Шабац земљиште је било киселе, до умерено киселе реакције (рН 5,85). Земљиште на локалитету Голубинаца било је благо киселе реакције (рН 6,75), а на локалитету Стара Пазова слабо алкалне реакције (рН 8,06).

Са повећањем рН преко 8 смањује се приступачност фосфора, гвожђа, мангана, бора и цинка и појављују се симптоми њиховог недостатка, док нижа вредност рН може изазвати повећање концентрације алуминијума и мангана до токсичних вредности (Kovacevic, 2003).

Хумусна земљишта имају јаку апсорпциону моћ, што их чини плодним и погодним за пољопривреду. Количина и квалитет хумуса у земљишту се стално обнавља, односно количине новог хумуса се замењују старим и тако се стално одржава одређени ниво хумуса у земљишту које је намењено за садњу (Ољача, 2008). Ако земљиште садржи више хумуса од оптималног, тада треба искључити органско ђубрење и гајење усева који обогаћују земљиште у органској материји, у циљу поспешивања процеса минерализације. Али ако земљиште има нижи ниво хумуса од оптималног, тада се морају применити агротехничке мере које повећавају садржај хумуса у земљишту, као што је органско ђубрење.

Анализа земљишта на локалитету Шапца је показала да припадају класи слабо хумозних земљишта (2,57 %). Земљиште локалитета Стара Пазова по садржају хумуса било је средње обезбеђено, богато кречом (3,7 %). Земљиште на локалитету Голубинци било је са високим садржајем хумуса (2,97 %), што је типично за ритске црнице у којима су успорени биолошки процеси разградње органске супстанце.

Квалитет хумуса, сем појединих фракција и степена засићености хумских киселина базама, одређује и однос С : N. Сматра се да хумус има константну количину угљеника (58 %), али утврђено је да садржај азота у хумусу варира од 3% до 6 %. Због тога С : N однос варира између 10-20. Повољан састав хумуса у земљишту је када се С : N однос приближава према 10.

Резултати анализе земљишта за сва три локалитета су приближна наведеној вредности (7, 1 : 1; 7, 3 : 1 и 8, 8 : 1).

Најзаступљенији елементи у земљишту су фосфор, калијум и азот (Богдановић и сар., 2014). Укупни азот у земљишту чине органски и неоргански облици азота. Органски облици најчешће обухватају (90-98) % азота који се налази у саставу органске материје (хумус, полуразложени биљни и животињски остаци, протеини, нуклеинске киселине...). Овај азот биљке не могу директно користити у исхрани и за њих он има важност са становишта резерве хранива. Међутим, у већини случајева је потврђено да земљиште са већим садржајем укупног азота има и већи садржај минералних облика азота у зависности од осталих чинилаца (температуре, влаге, микробиолошке активности...) (Предић, 2011). Ако је земљиште богато азотом, онда ће биљка имати нормално цветање, боље формирање плодова и смањено жутило лишћа (Altieri et al., 1995).

Земљишта на локалитету Стара Пазова садрже највише укупног азота (0,23 %), уз преовлађујући нитратни облик, потом следи локалитет Шапца са 0,20 %, док је на локалитету Голубинаца тај садржај најнижи и износи 0,19 %. У погледу садржаја лакоприступачног фосфора и калијума, највиши садржај оба макроелемента је установљен у земљишту локалитета Голубинаца, при чему садржај P_2O_5 износи 11,4 mg/100 g, а K_2O је 43,6 mg/100 g земљишта. Висок садржај калијума и фосфора у орничном слоју земљишта јако погодује усевима који су велики потрошачи ова два елемента. То су, пре свега коренасто-кртоласте биљке и дуван.

Земљиште на локалитету Стара Пазова је било средње обезбеђено приступачним фосфором (10 mg/100 g) и богато калијумом (21,4 mg/100 g), а на локалитету Шапца је било јако сиромашно фосфором (1,5 mg/100 g) и средње обезбеђено калијумом (15,2 mg/100 g).

Земљишта су углавном сиромашна фосфором па се накнадно врши ђубрење фосфорним ђубривима (*Altieri et al., 1995*). Да би биљке биле отпорније на болести и стрес (који може бити изазван високим или ниским температурама), потребно је да земљиште буде богато калијумом. Калијум је неопходан за раст и деобу ћелија код биљака (*Stevović et al., 2010*). Недостатак калијума у земљишту узрокује поремећај у водном билансу, сушење врхова или коврцање листова и труљење корена.

У производњи дувана исхрана биљака има велики значај, како на повећање приноса, тако и на квалитет листова. Дуван током вегетационог периода на отвореном пољу износи из земљишта велике количине биљних асимилатива (*Гламочлија, 2010*).

7.2. АНАЛИЗЕ САДРЖАЈА ОРГАНСКЕ СУПСТАНЦЕ ИСПИТИВАНИХ БИОМАСА ПО ЛОКАЛИТЕТИМА

Као једна од специфичности пољопривреде, појављује се и њена зависност од природних фактора, у које спадају и климатски, односно временски услови производње (*Матић, 2004*).

Током читавог вегетационог периода земљиште треба да садржи довољно влаге доступне биљкама. Такође, у земљишту треба да буду повољни и топлотни услови (повољан температурни режим), за развој биљака и микробиолошку активност у процесу мобилизације биљних хранива (*Богдановић и сар., 2014*).

Табела 20. Вегетациони период за испитиване биомасе

Узорак Месец	Дуванска стабљика	Сојина стабљика	Пшенична слама	Главе сунцокрета	Окласак кукуруза
Октобар 2014					
Новембар 2014					
Децембар 2014					
Јануар 2015					
Фебруар 2015					
Март 2015					
Април 2015					
Мај 2015					
Јун 2015					
Јул 2015					
Август 2015					
Септембар 2015					
Октобар 2015					
Новембар 2015					
Децембар 2015					

***Напомена:** Обојени квадратићи су вегетациони периоди биљака за испитиване облике биомасе:(дуван: мај - септембар; соја: април - октобар; пшеница: октобар 2014 - јул 2015; сунцокрет: март -септембар; кукуруз: април - октобар).

Земљиште треба да има повољан режим биљних хранива да би биљка током читавог вегетационог периода имала на располагању довољно хранива у приступачним облицима.

Свака промена у временским приликама током вегетационе сезоне, утиче на промену у динамици вегетације, на усвајање воде и хранива, а тиме и квалитативно и квантитативно на коначан принос. Приноси, а тиме и производња, су у великој зависности од временских услова током године (Денчић и сар., 2009).

Вегетациони периоди за испитиване узорке приказани су у табели 20.

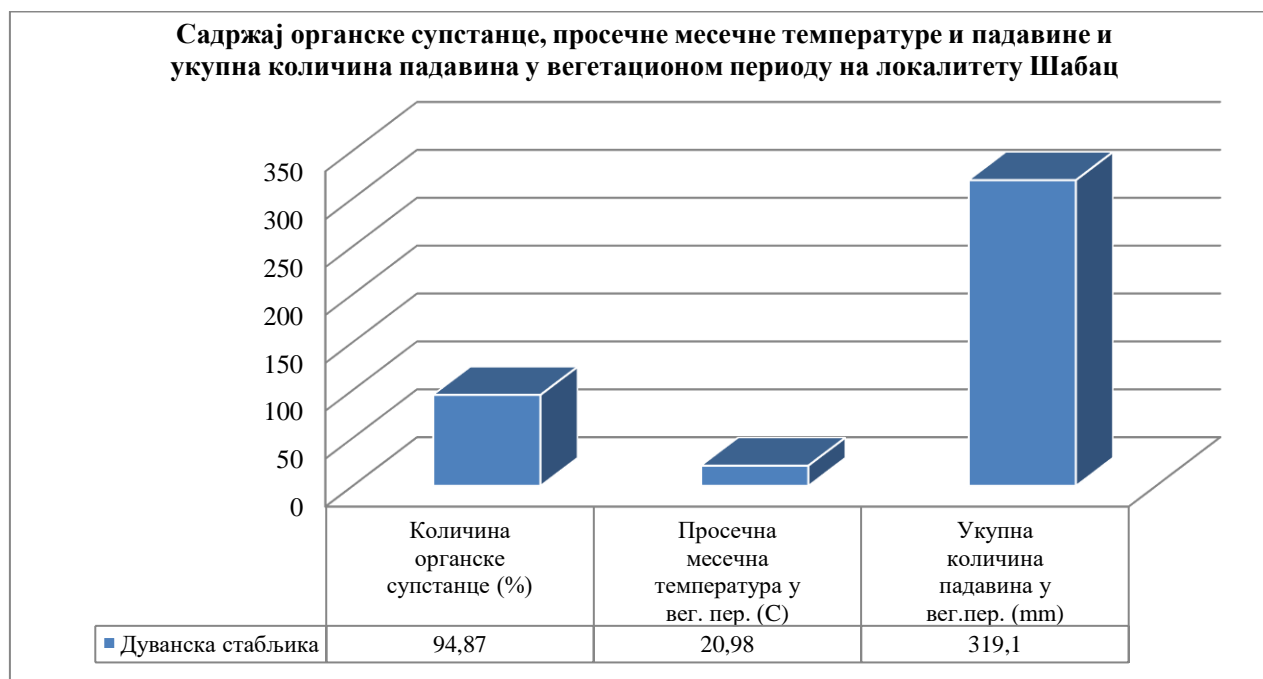
7.2.1. Садржај органске супстанце испитиване биомасе на локалитету Шабац

На плодност земљишта осим минералних супстанци, утиче и садржај органских супстанци. Органска супстанца земљишта потиче од одумрлих биљних и животињских остатака, као и њихових продуката, који настају синтезом. Пресудну улогу у разградњи органске супстанце, која остаје у земљишту, имају микроорганизми. Разградња органске супстанце одвија се преко сложених међуреакција и разних процеса. Као резултат тих сложених процеса, с једне стране, долази до синтезе нових сложених високомолекуларних органских једињења која називамо хумус.

На основу података из табеле 14 може се закључити да је сума падавина на локалитету Шабац у 2015. години повољно утицала на раст и развој дувана типа Берлеј. Овај тип дувана захтева (300-650) mm количина у вегетационом периоду (Арсић, 2019).

За постизање високог приноса и квалитетних листова влажност земљишта током развоја биљака на отвореном пољу треба да је (60-80) % од максималног водног капацитета. Уколико се такви услови влажности не могу остварити природним влажењем, неопходно је биљке наводњавати, посебно сорте крупнолисних дувана које су осетљивије на земљишну сушу (Гламочлија, 2010).

Такође, подаци из табеле 14 указују на повољне температурне услове (18,1 - 24,7) °C на производном подручју Шапца у испитиваној години, што је позитивно утицало на ток гајења испитиваног узорка дувана.



Графикон 3. Садржај органске супстанце испитиване биомасе на локалитету Шабац

На графикону 3 приказани су резултати садржаја органске супстанце дуванске стабљике са локалитета Шабац и вредности просечних метеоролошких услова.

Садржај минералне супстанце у ферментисаном дуванском лишћу знатно варира, (8,5-23) % (Кислинг, 1986 цит. Радојичић, В., 2011). Стабљике дувана, које су и предмет истраживања ове дисертације, садрже мање пепела у односу на листове.

Највећи садржај минералне супстанце, а тиме најмањи садржај органске супстанце, имају дувани сушени у хладу, у који спада дуван типа Берлеј, затим дувани сушени на сунцу (оријентални дувани) а најмање дувани сушени у кондиционираним условима (Вирцинија) (Буланчић, 2013).

Варијације у садржају пепела могу бити резултат различитих параметара који су повезани са саставом земљишта, обрађивањем земљишта, наводњавањем, а такође могу да варирају у зависности од порекла или производног подручја где се обавља производња (Garcia, et al., 2014). На испитиваном локалитету Шапца земљиште је било киселе до умерено киселе реакције (рН 5,85), што према подацима из литературе погодује гајењу крупнолисних дувана (Радојичић, 2016).

За гајење дувана типа Берлеј земљиште треба да има добру пропустљивост, да је са добром аерацијом и са добрим топлотим особинама. Формирање квалитета и приноса дувана зависи и од садржаја хумуса у земљишту. Анализа земљишта са локалитета Шабац је показала да припада слабо хумозном земљишту (2,57 %), што се може надокнадити применом агротехничких мера (ђубрењем). Степен засићености хумских киселина базама, тј. однос С : N био је 7,3 :1, што је повољан састав хумуса у земљишту. Садржај укупног азота на локалитету Шапца је 0,20 %. Земљиште испитиваног локалитета је јако сиромашно фосфором (1,5 mg/100 g) и средње обезбеђено калијумом (15,2 mg /100 g). Апликацијом фосфорних ђубрива може се надокнадити недостатак фосфора у земљишту (Altieri et al., 1995).

Количина органске супстанце у стабљикама дувана типа Берлеј (графикон 3) износила је 94,87 %, што је сагласно подацима из литературе. Према истраживању обављеном у Републици Србији, стабљике дувана типа Берлеј, са производног подручја Чоке, садрже 4,21% пепела, односно 95,79 % органске супстанце (Malnar et al., 2015).

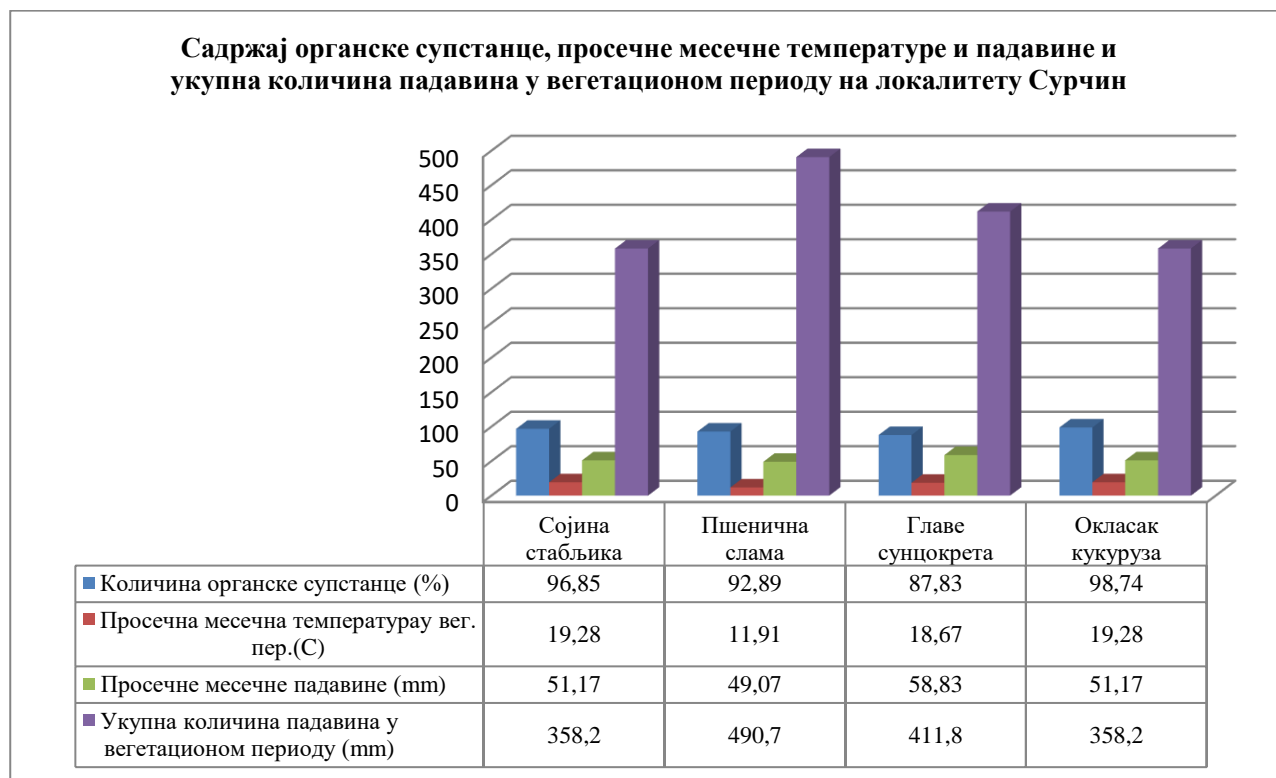
Може се констатовати да су агроколошки услови за производњу дувана типа Берлеј на подручју Шапца у 2015. години били у оптималним границама (укупна количина падавина 319,10 mm и просечна месечна температура 20,98 °C у вегетационом периоду мај-септембар).

7.2.2. Садржај органске супстанце испитиване биомасе на локалитету Сурчина

Као што смо нагласили у материјалу и методама рада најближа метеоролошка станица за два локалитета у Срему (Стара Пазова и Голубинци) је у Сурчину, тако да се метеоролошки подаци евидентирани у овој станици односе на оба локалитета.

На локалитету Сурчина одређиван је садржај органске супстанце на четири врсте биомасе (пшенична слама, сојина стабљика, остаци глава сунцокрета и окласци кукуруза). Резултати истраживања приказани су на графикону 4.

Земљиште на локалитету Голубинаца било је благо киселе реакције (рН 6,75), а на локалитету Стара Пазова слабо алкалне реакције (рН 8,06). По наводима Марковића и сар. (2007), од рН вредности земљишта зависи интензитет микробиолошких процеса разлагања органске материје и исхрана биљака, као и растворљивост и приступачност хранива. Најбоља приступачност је када је рН вредност у опсегу 6 - 8.



Графикон 4. Садржај органске супстанце испитиване биомасе на локалитету Сурчина

ПШЕНИЦА - за високе приносе транспирациони коефицијент (транспирациони коефицијент је количина воде коју биљка усвоји да би се створио 1 kg суве материје), износи (450 – 600) mm, у зависности од климатских услова и дужине вегетационог периода (Комљеновић и Тодоровић, 1998).

Вегетациони период за пшеницу је знатно дужи (десет месеци, од октобра до јула) у односу на остале усеве, код којих траје седам месеци (Гламочлија, 2012).

Количина органске супстанце пшеничне сламе у вегетационом периоду од 92,89 % (графикон 4) нижа је од количине добијене у узорку дуванске стабљике и сојине стабљике али је вредност у сагласности са литературним подацима (Hartmann et al., 2003).

СУНЦОКРЕТ - на основу података из графикона 4 може се уочити најнижа вредност количине органске супстанце код узорка главе сунцокрета 87,83 %. Овако ниске вредности у узорцима глава сунцокрета су добили и други истраживачи (Marechal et al., 1999).

КУКУРУЗ - потребе за водом током вегетационог периода су врло неуједначене. Укупне потребе за водом за вегетациони период кукуруза износе (300-555) mm падавина, с тим да у време највећих потреба током летњих месеци треба обезбедити (200-300) mm правилно распоређених падавина.

Количина органске супстанце узорка окласка кукуруза је највећа од свих испитиваних биомаса и износи 98,74 % (графикон 4). Та количина је у сагласности са резултатима добијеним у другим истраживањима (Anukam et al., 2017).

СОЈА - потребе соје за водом варирају током вегетационог периода у зависности од фазе развоја и од средњих дневних температура ваздуха.

Према подацима које су објавили *Бошњак и сар. (1991)*, за оптималан принос соје на земљиштима у Републици Србији, потребно је (400-500) mm воденог талога.

У условима Војводине потребе соје за водом током вегетационог периода се крећу у интервалу од 450 mm до 480 mm (*Максимовић и сар., 2005*).

Добијени садржај органске супстанце у сојиној стабљивици у вегетационом периоду (графикон 4), на локалитету Сурчина је 96,85 % и у сагласности је са резултатима добијеним у другим истраживањима (*Бркић и сар., 2007*).

7.3. АНАЛИЗА ИСКОРИШЋАВАЊА РАСПОЛОЖИВЕ КОЛИЧИНЕ ДУВАНСКИХ СТАБЉИКА У СРБИЈИ

Коришћено пољопривредно земљиште пољопривредних газдинстава (*РЗС, Попис пољопривреде 2012*) износи $3,4 \cdot 10^6$ ha (без Косова и Метохије) и чини 44 % територије Србије (без територије Косова и Метохије, попис пољопривреде 2012. није обављен). Може се закључити да Србија има земљишне ресурсе који омогућавају интензивну пољопривреду и искоришћавање биомасе из пољопривредне производње за енергетске сврхе.

За приказ однегованих површина под дуваном (за Берлеј, Вирџинију и Оријентал) у табели 21 преузети су подаци из евиденција (*Управа за дуван*), које у вези са производњом дувана воде Регистровани произвођачи дувана, сходно Правилнику о садржини и начину вођења евиденције од стране произвођача и обрађивача дувана („*Службени гласник РС*“, бр. 5/06).

Табела 21. Однеговане површине под дуваном (ha)

Година производње	Вирџинија	Берлеј	Оријентал
2014	4.493	430	147
2015*	4.153	213	117
2016	4.230	164	0
2017	4.391	147	0

*Напомена: 2015 – година истраживања.

Производња дувана у Републици Србији обухвата три основна типа дувана (Берлеј, Вирџинија и Оријентални дувани). Крупнолисни дувани, у које спадају Берлеј и Вирџинија, чине око 98 % производње.

На основу однегованих површина под дуваном (подаци у табели 21), извршен је прорачун расположиве количине стабљика дувана типа Берлеј (табела 22). При прорачуну је коришћен просек расађивања од 22 000 стабљика/ha, као и просечна тежина стабљике крупнолисних дувана од 350 g.

Оријентални тип дувана није ни узет у разматрање јер се годинама производио на малим површинама. Од 2016. године престала је производња овог типа дувана у Србији. Вирџинија спада у групу крупнолисних дувана као и тип дувана Берлеј, али се разликују у

старту у потреби већих новчаних улагања (захтева сушење у сушницама, па самим тим и веће улагање за енергент сушења). Трошкови енергената чине 26 % до 28 % укупних трошкова (Радојичић Н., 2011). Из тих разлога, ни стабљике дувана типа Вирџинија нису биле предмет истраживања у овој дисертацији, па стога у табели 22 нису ни приказане расположиве количине стабљика овог типа дувана.

Табела 22. Расположиве количине стабљика дувана
типа Берлеј (t)

Година производње	Берлеј
2014	*3311
2015**	*1640
2016	*1263
2017	*1132

*Напомена: Представљене вредности су показатељи количине стабљика (t) са однеговане површине под дуваном (ha).

**Напомена: 2015 –година истраживања .

У експерименту су коришћене стабљике дувана типа Берлеј које се покосе, па се листови суше на стабљикама. Након завршеног процеса сушења, листови се у рану јесен скидају са стабљика, тако да проблем сакупљања и транспорта стабљика, као ни превелике влаге (што иначе карактерише биомасу) не постоји. Иако је обим производње мањи у односу на дуван типа Вирџинија, исплативост примене стабљика дувана Берлеј сушеног на овај начин огледа се у чињеници да се не троше додатна средства за транспорт са њива и за енергију неопходну за сушење да би се употребиле као биогориво, у поређењу са другим врстама дувана.

7.4. РЕЗУЛТАТИ ХЕМИЈСКОГ САСТАВА УЗОРАКА БИОМАСЕ

7.4.1. Одређивање количине пепела, целулозе и лигнина

У свим узорцима биомасе одређени су следећи параметри: количина пепела и количина органске супстанце (из разлике), количина целулозе и количина лигнина. Резултати испитивања су исказани као резултат на сув узорак (табела 23).

За обезбеђење поверења у резултате испитивања наведених параметара примењен је принцип поновљивости резултата (захтев стандарда *SRP/ISO/IEC 17025 : 2006.*), а резултати приказани у табели 23 су средње вредности испитиваних параметара.

Резултати из табеле 23 показују да је количина пепела у узорцима у опсегу (0,54-12,17) %. Најнижа количина пепела је у пиљевини, што је и било очекивано. Узорци направљени од остатака главе сунцокрета имали су највишу количину пепела (12,17 %). Количина пепела у пшеничној слами је нижа од 10 %, као и у дуванској стабљници (5,13 %), што је у сагласности са литературним подацима (*Badger, 1999; Hartmann et al., 2003; Радојичић, В., 2011*).

Табела 23. Хемијски састав испитиваних узорака (%)

Узорак Параметар	Дуванска стабљика	Сојина стабљика	Пшенична слама	Остаци глава сунцокрета	Окласак кукуруза	Пиљевина дрвета букве
Количина пепела	5,13	3,15	7,11	<u>12,17</u>	1,26	0,54
Количина органске супстанце	94,87	96,85	92,89	87,83	98,74	<u>99,46</u>
Количина целулозе	35,97	31,55	36,02	25,77	39,54	<u>40,12</u>
Количина лигнина	20,12	14,34	20,18	18,28	<u>26,64</u>	21,96

Подаци за остале узорке, у сагласности су са резултатима добијеним у другим студијама (*Бркић и сар., 2007; Gani and Naruse, 2007*).

Узорци пиљевине дрвета букве и окласка кукуруза са количином пепела од 0,54 % до 1,26 % су у сагласности са подацима датим у немачком стандарду за количину пепела DIN 51731:1996 ($\leq 1,5$ %), а узорци дуванске стабљике са количином пепела од 5,13 % и сојине стабљике са количином пепела од 3,15 % одговарају по класи квалитета брикету према стандарду Аустрије ONORM M 1735:1990 (≤ 6 %). Вредности количине пепела код узорка пшеничне сламе (7,11 %) и узорка главе сунцокрета (12,17 %) су веће него што прописују оба национална стандарда за брикете (табела 9, поглавље 5.11.2).

У односу на фосилна горива количина пепела у пољопривредној биомаси је много нижа (*Пешењански, 2000*) и представља једну од кључних предности примене биомасе за биогорива, што је и потврђено егзактним мерењима. Повећање количине пепела за 1 % смањује калоричну вредност за 200 кЈ/кг код биогорива (*Monti et al., 2008*).

Количина целулозе у испитиваним биомасама је у опсегу од 25,77 % до 40,12 % и најзаступљенија је у узорцима направљеним од пиљевине. Код стабљика дувана количина целулозе је 35,97 %, што је у складу са литературним подацима (*Kulić and Radojičić, 2011*), као и код пшеничне сламе (36 %) (*Јанић, 2006 б*). С обзиром на високу количину целулозе у узорцима, током сагоревања ослобађа се велика количина енергије, што брикетима повећава употребну вредност. Такође, висока количина целулозе проширује могућност употребе биомасе и у другим индустријама.

Количина лигнина испитиваних узорака је у сагласности са подацима из литературе (*Anwar et al., 2014*) и у опсегу је од 14,34 % до 26,64 %. Заступљеност лигноцелулозног материјала је фактор који највише доприноси калоричној моћи биомасе. Највиши проценат лигнина измерен је код окласака кукуруза (26,64 %), док је најнижи код сојине стабљике (14,34 %). Количина лигнина код стабљике дувана је 20,12 %, што је у сагласности са досадашњим подацима (*Рadoјичић, В., 2011*).

Већу количину целулозе и лигнина од дуванске стабљике има пиљевина дрвета букве, а од пољопривредне биомасе само окласак кукуруза.

Експериментално добијени резултати за количину пепела, целулозе и лигнина дуванских стабљика указују на могућност њихове примене као биогорива, па самим тим и њихов значајан допринос укупном енергетском потенцијалу биомасе Републике Србије.

У табели 24 дате су карактеристике брикета са измереном количином влаге након изласка из брикетирке.

Табела 24. Карактеристике брикета

Врста биомасе	Маса млевеног узорка (kg)	Заостала ситњевина (kg)	Тежина брикета (g)	Влага (%)	Димензије брикета (cm)
Дуванска стабљика	20	0	220	10,27	6 пречник бдужина
Сојина стабљика	20	0,6	350	11,58	6 пречник 10 дужина
Пшенична слама	20	0,8	300	9,91	6 пречник 11 дужина
Остаци глава сунцокрета	5	0	380	<u>15,67</u>	6 пречник 10 дужина
Окласак кукуруза	20	4,5	190	9,35	6 пречник 6 дужина
Пиљевина дрвета букве	20	3	150	9,34	6 пречник 5 дужина

Димензије брикета (mm) испитиваних биомаса су у границама параметара националних стандарда за брикете наведених у табели 9, поглавља 5.11.2.

Из табеле 24 је уочљиво да је количина влаге код узорака од 9,91 % до 15,67 %. Оваква количина влаге је позитивна карактеристика биомасе, јер се остварује уштеда у енергији неопходној за сушење биомасе. Нижа количина влаге омогућава оптимално сагоревање и вишу топлотну вредност.

Узорци пиљевине дрвета букве, окласка кукуруза, пшеничне сламе, дуванске стабљике и сојине стабљике са количином влаге од 9,34 % до 11,58 % су у сагласности са подацима датим у немачком стандарду за садржај влаге DIN 51 731:1996 (≤ 12 %), а узорак главе сунцокрета са влагом од 15,67 % одговара по класи квалитета брикету према стандарду Аустрије ONORM M 1735:1990 (≤ 18 %).

Виша количина влаге је констатована код остатака глава сунцокрета (15,67 %), вероватно као последица периода сакупљања узорака (касна јесен). Међутим, и биомаса са таквом количином влаге, иако нешто виша од влаге осталих биомаса, у складу је са литературним подацима (*Peševski et al., 2010*) у којима се биомаса сматра квалитетном уколико је количина влаге испод 18 %.

Приликом израде брикета код неких узорака је заостала и ситњавина. Највише заостале ситњавине је код окласка кукуруза и пиљевине дрвета букве, који су имали најмању количину влаге.

Ситњавине није било приликом израде брикета од глава сунцокрета које су имале највећу количину влаге (15,67 %), као ни приликом израде узорака од дуванске стабљике које су имале знатно мању количину влаге (10,27 %).

Ова количина влаге код дуванских стабљика се може сматрати позитивном карактеристиком, јер је при изради добијен компактан брикет без губитака. Такође, нижа количина влаге ће омогућити економичније сагоревање брикета јер ће се утрошити мања количина енергија за превођење воде у водену пару у првој фази сагоревања.

Брикети су добијени без учешћа везивних средстава, што чини производњу јефтинијом и са аспекта заштите животне средине прихватљивијом (*Остојић, 1996*).

7.4.2. Резултати елементарног састава испитиваних узорака биомасе: угљеника (C), водоника (H), азота (N), сумпора (S) и кисеоника (O) из разлике

Најзаступљенији елементи у било којој врсти биомасе су угљеник, водоник и кисеоник, уз незнатне количине сумпора и азота (Мока, 2012). Резултати испитивања проучаваних биомаса су приказани у табели 25.

Табела 25. Елементарни састав органске супстанце сувог узорка (%)

Узорак Параметар	Дуванска стабљика	Сојина стабљика	Пшенична слама	Остаци главе сунцокрета	Окласак кукуруза	Пиљевина дрвета букве
Угљеник (C)	43,09	44,44	43,25	47,77	46,67	<u>48,97</u>
Водоник (H)	5,37	5,66	5,12	5,80	<u>5,91</u>	5,78
Азот (N)	<u>3,70</u>	1,60	0,72	1,63	1,00	0
Сумпор (S)	0	0	0	<u>0,63</u>	0	0
*Кисеоник (O)	47,84	48,30	<u>50,91</u>	44,17	46,42	45,25

*Напомена: Вредност кисеоника одређена је прорачуном.

У испитиваним узорцима садржај C је у опсегу од 43,09 % код брикета направљених од дуванских стабљика до 48,97 % код брикета направљених од пиљевине. Добијени резултати су у сагласности са литературним подацима (Vanloo et al., 2008). Најнижи садржај C (43,25 %) у поређењу са садржајем угљеника код осталих пољопривредних биомаса, близак вредности код дуванских стабљика, установљен је и код пшеничне сламе а највиши садржај C (47,77 %) утврђен је код остатака глава сунцокрета.

Заступљеност H у узорцима је уједначена и у опсегу је од 5,12 % код брикета направљених од пшеничне сламе, до 5,91 % за брикете направљене од окласка кукуруза.

Код брикета направљених од пиљевине, није установљено присуство N. Ако се посматрају испитивани облици пољопривредне биомасе, најмањи садржај N је установљен код пшеничне сламе (0,72%). Међутим, брикети направљени од дуванских стабљика имали су 5 пута већи садржај N (3,70 %). Овако висок садржај N највероватније је последица ђубрење NPK ђубривом, јер је током раста и развоја дувана неопходна већа количина азота што се обезбеђује ђубрењем (Радојичић, В., 2016). Због тога је стабљика акумулирала већи садржај N од осталих облика биомасе.

Добијени резултати за садржај N у брикетима испитиваних биомаса (3,70 %; 1,60 %; 0,72 %; 1,63% и 1,00 % су изнад вредности које прописују стандарди (Табела 9): Аустрије ONORM M 1735:1990 ($\leq 0,6$ %) и Немачке DIN 51 731:1996 ($\leq 0,3$ %).

Незнатна количина сумпора и азота код узорака биомаса условила би малу разлику између горње и доње топлотне моћи, што није случај код угљева, а нарочито лигнита који располаже са великом количином сумпора (Аличкић, М., 2011).

Према многобројним литературним подацима, сумпор је елемент неопходан за раст и развој биљке (Кастори, 1983.; Јемцев и Ђукић, 2000). Биљке га усвајају из земљишта, а углавном га акумулирају у листовима (Demirbas, 2005). Концентрација сумпора у биљци

варира између 0,1 и 0,5 % (Lucheta and Lambais, 2012). Ову констатацију потврђују и резултати наших истраживања. Сумпор је пронађен у веома малим количинама код брикета направљених од глава сунцокрета (0,63 %) док га код осталих облика биомасе нема, што је у сагласности са литературним подацима (Peševski et al., 2010). Незнатна количина сумпора је у сагласности са параметрима Националних стандарда за брикете Аустрије (ONORM M1735:1990) и Немачке (DIN 51731:1996), (табела 9).

Опсежна истраживања реализована на различитим врстама биомаса, са циљем да се примене као биогорива, неминовно захтевају и упоређивање њиховог елементарног састава са елементарним саставом различитих чврстих и течних горива, јер се елементарни састав горива директно одражава на топлотну вредност сваког употребљеног горива.

Елементарни састав фосилних горива, као и састав биомасе, је променљив и зависи од великог броја других карактеристика. Хемијски састав горива, исказан кроз елементарни састав, одраз је порекла органске супстанце и физичких карактеристика средине таложења органске супстанце (притиска, температуре, дубине на којој се ствара гориво, утицаја минералних компонената). У табели 26 приказани су резултати просечног елементарног састава неких горива, прерачунати на органску супстанцу (Hunt, 1996).

Табела 26. Елементарни састав фосилних горива (Hunt, 1996).

Гориво	Елементарни састав (%)				
	Угљеник	Водоник	Сумпор	Азот	Кисеоник
Гас	76,0	24,0	-	-	-
Нафта	84,5	13,0	0,5	0,5	0,5
Асфалт	84,0	10,0	3,0	1,0	2,0
Угаљ	83,0	5,0	1,0	1,0	10,0

Угљеви којима располажу лежишта Србије су углавном категорије лигнита до мрког угља, са променљивим елементарним саставом. Тако, на пример, угаљ лежишта Ковин (Životić et al., 2007) (на основу 43 испитивана узорка) има следећи састав: % C (52,25-74,02); % H (2,61-6,65); % N (0,68-1,89) и % S (0,21-4,40) а нешто калоричнији, угаљ, из рудника СОКО (Životić et al., 2019): % C (57,05-67,62); % H (5,62-7,26); % N (1,12-2,18) и % S (1,06-3,56).

Садржај угљеника и кисеоника код угљева варира у зависности од ранга и литотипног, односно мацералног састава, док је садржај азота низак (0,5-1,5 %). Садржај сумпора у угљевима може да варира у широком распону, од 0,1 до екстремних 15 % (Speight, 2015) и зависи од услова седиментације у тресетној мочвари, односно од рН (кисело-базно) и Eh (оксидационо-редукционо) вредности средине у којој се таложила органска супстанца.

Табела 27. Елементарни састав угљева (Speight, 2015)

Врста угља	Угљеник (%)	Водоник (%)	Кисеоник (%)
Тресет	48-50	6-8	33-35
Лигнит	68-72	5-6	24-26
Мрки угаљ	74-76	5-6	18-22
Камени угаљ	84-86	5-6	8-12
Антрацит	92-95	3-4	1-3

Низак садржај сумпора је, на пример, у угљу лежишта Станари - БиХ (0,34 % на укупну влагу), док је на пример у угљу Алексиначког басена - Србија (са просечним садржајем сумпора 5,70 % на укупну влагу, односно 6,56 % на сув узорак) или угљу Ибарског басена (са просечно 5,81 % на укупну влагу; односно 6,03 % на сув узорак) знатно виши (Životić et al., 2019).

Примена угљева са високим садржајем сумпора је одувек непожељна, а у последњим деценијама чак и неприхватљива због свих осталих нарушених еколошких услова на планети.

Отуда су настојања да се биомаса примени као биогориво изузетно оправдана, чак и у случајевима када је топлотна вредност биогорива нижа, јер је исплатива због наменске употребе отпада пољопривредне производње и еколошки прихватљива, јер због мале количине сумпора не загађује животну средину.

7.5. РЕЗУЛТАТИ ПРЕДВИЂАЊА ННВ (*Higher heating value*) ИСПИТИВАНИХ УЗОРАКА

За све испитиване биомасе рачунски је одређена ННВ према формулама које су предложили различити аутори (формуле дате у делу 6.4.) и које у обрачун укључују садржај различитих компонената (Табела 28).

Табела 28. Резултати предвиђања ННВ (MJ kg^{-1}) на основу хемијског и елементарног састава

Узорак Параметри	Дуванска стабљика	Сојина стабљика	Пшенична слама	Остаци главе сунцокрета	Окласак кукуруза	Пиљевина дрвета букве
ННВ (пепео)	18,72	19,18	18,26	17,08	19,62	<u>19,79</u>
ННВ (L)	18,61	18,10	18,62	18,45	<u>19,19</u>	18,77
ННВ (C;H;O)	17,43	18,08	17,41	19,09	18,89	<u>19,48</u>

Резултати израчунавања показују да најнижу ННВ на основу садржаја пепела имају остаци глава сунцокрета ($17,08 \text{ MJ kg}^{-1}$), а највишу пиљевина дрвета букве ($19,79 \text{ MJ kg}^{-1}$). Израчуната ННВ дуванске стабљике ($18,72 \text{ MJ kg}^{-1}$) се незнатно разликује од вредности ($18,94 \text{ MJ kg}^{-1}$) објављене такође за дуван типа Берлеј, из реона Чоке (Radojičić et al., 2014 a).

Добијени резултати су у границама, мада ближе доњим вредностима објављених у литератури, који су у опсегу ($18,0\text{-}24,8 \text{ MJ kg}^{-1}$) (Demirbas, 1997; Chun – Yang, 2011; Sheng and Azevedo, 2005). Ово из разлога што на хемијски састав биомасе утиче и њено порекло, као и географско поднебље на коме је биљка расла, а велику улогу има и моменат бербе сировина (Garcia et al., 2014).

Аутори (Mijailović et al, 2014) су у својим прелиминарним истраживањима испитивали крупнолисне дуване, Вирцинију и Берлеј са војвођанског производног подручја. ННВ је израчуната на основу елементарног састава и садржаја лигнина и извршено је поређење са 6 осталих облика пољопривредне биомасе (стабљике и окласци кукуруза, пшенична слама, стабљике сунцокрета, јечма и зоби. Утврђено је да стабљике Берлеја са вредношћу ННВ од $18,308 \text{ MJ kg}^{-1}$ не одступају значајно од осталих облика биомасе.

HHV израчуната на основу садржаја лигнина указује да је највишу енергетску вредност имао окласак кукуруза ($19,19 \text{ MJ kg}^{-1}$), а најнижу сојина стабљика ($18,10 \text{ MJ kg}^{-1}$). Вредност HHV за дуванску стабљику је приближна вредности која је добијена прорачуном на основу садржај пепела ($18,61 \text{ MJ kg}^{-1}$).

Резултати предвиђања топлотне моћи испитиваних биомаса преко елементарног састава (C, H, N, S, O) испитиваних узорак показали су да је ова вредност највиша код пиљевине дрвета букве ($19,48 \text{ MJ kg}^{-1}$), а најнижа код пшеничне сламе ($17,41 \text{ MJ kg}^{-1}$).

Упоређујући HHV дуванске стабљике са прерачунавањем на основу претходне две формуле уочљива је нижа вредност топлотне моћи од $17,43 \text{ MJ kg}^{-1}$.

Коришћењем формуле која узима у обзир елементарни састав, код свих облика пољопривредне биомасе, изузев глава сунцокрета ($19,09 \text{ MJ kg}^{-1}$), добијене су ниже вредности за HHV.

Међутим, приликом сагоревања у реалним условима утицај појединих елемената не може да се посматра изоловано. Ове формуле служе само за предвиђање HHV код биогорива које треба увести у укупни потенцијал, јер је то много лакше, брже и економичније.

Анализирајући добијене резултате може се доћи до закључка да коришћење стабљика дувана типа Берлеј за производњу биогорива може бити исплативо јер имају високу топлотну моћ, која се не разликује значајно од осталих испитиваних облика пољопривредне биомасе.

Пошто је установљена задовољавајућа топлотна моћ предвиђањем, следећи корак је био експериментално одређивање овог параметра.

7.6. РЕЗУЛТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНОГ ОДРЕЂИВАЊА ТОПЛОТНЕ МОЋИ ИСПИТИВАНИХ УЗОРАКА

Испитиваним узорцима биомасе је одређена топлотна моћ и израчуната ефективна (доња) топлотна моћ - LHV. У табели 29 приказани су резултати испитивања топлотне моћи прерачунати на сув узорак.

Табела 29. Резултати експерименталног одређивања топлотне моћи испитиваних узорак (MJ kg^{-1})

Узорак Параметри	Дуванска стабљика	Сојина стабљика	Пшенична слама	Остаци главе сунцокрета	Окласак кукуруза	Пиљевина дрвета букве
Горња топлотна моћ	16,33	16,74	16,07	15,95	<u>18,49</u>	18,45
Доња топлотна моћ	15,28	15,61	15,16	14,90	16,83	<u>17,27</u>

Вредности параметара топлотне моћи (горња и доња) у узорцима налазили су у следећим интервалима: за горњу топлотну моћ ($15,95\text{-}18,49 \text{ MJ kg}^{-1}$) а за доњу топлотну моћ ($14,90\text{-}17,27 \text{ MJ kg}^{-1}$). Експериментално добијене вредности за горњу топлотну моћ промовишу испитивану биомасу као биогориво, јер је према литературним подацима, топлотна моћ горива лигноцелулозног састава у опсегу од ($16\text{-}20 \text{ MJ kg}^{-1}$) (Blazquez et al., 2014) или за доњу топлотну моћ пољопривредних биомаса у опсегу ($13,00\text{-}18,00 \text{ MJ kg}^{-1}$) (Бркић и сар., 2007).

На основу добијених резултата, најнижу и горњу и доњу топлотну моћ имају главе сунцокрета ($15,95 \text{ MJ kg}^{-1}$ и $14,90 \text{ MJ kg}^{-1}$). Највишу горњу топлотну моћ имају узорци окласка кукуруза ($18,49 \text{ MJ kg}^{-1}$) и пиљевине дрвета букве ($18,45 \text{ MJ kg}^{-1}$), а највишу доњу топлотну моћ узорак пиљевине дрвета букве ($17,27 \text{ MJ kg}^{-1}$).

У узорку дуванске стабљике, горња топлотна моћ ($16,33 \text{ MJ kg}^{-1}$) је била за 2,33 % већа од најниже горње топлотне моћи у узорку главе сунцокрета, а за 11,68 % мања од највише горње топлотне моћи у узорку окласка кукуруза.

Дуванска стабљика у односу на пиљевину дрвета букве, који се традиционално најдуже користе у домаћинствима као огрев, имала је нижу горњу топлотну моћ за 11,49 %.

Експериментални резултати одређивања горње и доње топлотне моћи узорака сунцокрета су усаглашени са резултатима који су добијени прорачуном за предвиђање ННВ (MJ/ kg^{-1}) на основу количине пепела, као и за окласак кукуруза, чиме је потврђена оправданост теоријског разматрања података пре приступања експерименталном испитивању која захтева озбиљне финансијске издатке.

Доња топлотна вредност ($15,28 \text{ MJ kg}^{-1}$) у узорку дуванске стабљике била је за 2,5 % виша од најниже вредности у узорку главе сунцокрета, а за 11,52 % мања од највише вредности узорка пиљевине дрвета букве.

Топлотне вредности дуванске стабљике одређене експериментално и израчунате предвиђањем су усаглашене, а усаглашене су и са до сада објављеним резултатима ($13,00$ и 18) MJ kg^{-1} (Бркић и сар., 2007).

Резултати експерименталног одређивања топлотних моћи испитиваних биомаса су усаглашени са резултатима који су добијени прорачуном за ННВ базираног на количини пепела одређеној за сваку од биомаса. Тиме је потврђено да је прорачун за ННВ једноставан и јефтин начин за добијање поуздане процене за употребу испитиваних биомаса као биогорива. Разматрањем резултата експериментално одређених топлотних вредности испитиваних биомаса у односу на вредности које су прописане EN pellet standards 14961-1:2009 очигледно је да само биомасе окласка кукуруза и пиљевине дрвета букве испуњавају критеријуме за производ класификован у А1 и А2 категорију по параметру топлотне вредности, а да се преостале биомасе налазе на граници да задовоље захтеве за категорију Б класе и да га испуњавају са укљученом мерном несигурношћу при одређивању овог параметра. Без обзира на ову чињеницу, из практичних и еколошких разлога вредност овог параметра не би требало да доводи у питање примену биомасе дуванске стабљике Берлеј као биогорива.

7.7. ПРЕДВИЂАЊЕ МИНИМАЛНЕ КОЛИЧИНЕ КИСЕОНИКА И ВАЗДУХА И ПРОДУКАТА САГОРЕВАЊА ИСПИТИВАНИХ УЗОРАКА– CO_2 , SO_2 , N

У процесу сагоревања неопходно је довести оптималну количину ваздуха да би се омогућило што боље сагоревање биомасе, а самим тим и мања емисија штетних гасова.

Минимално потребна количина кисеоника је неопходна количина кисеоника за потпуно сагоревање свих врста биомаса. Рачуна се на основу познатог елементарног састава и минимално потребних количина кисеоника (O_{\min}) за сагоревање: угљеника, водоника и сумпора, добијених из стехиометријских једначина сагоревања. Полазећи од познате чињенице колики је удео кисеоника у ваздуху, може се одредити минимална количина ваздуха (L_{\min}) потребна за потпуно сагоревање свих врста биомаса. Резултати су приказани у табели 30.

На основу познатог елементарног састава испитиваних облика биомасе и стехиометријских једначина сагоревања израчунате су могуће количине запремине продуката сагоревања (V_{CO_2} , V_{SO_2} , V_N).

За израчунавање запремине N_2 у продуктима сагоревања (V_N) било је неопходно израчунати и минимално теоријски потребне количине ваздуха (L_{min}) и кисеоника (O_{min}). Добијени резултати су приказани у табели 30.

Табела 30. Резултати предвиђања минималне количине кисеоника и ваздуха и запремине продуката сагоревања испитиваних облика биомасе

Узорак Параметар	Дуванска стабљика	Сојина стабљика	Пшенична слама	Остаци главе сунцокрета	Окласак кукуруза	Пиљевина дрвета букве
O_{min} (m^3/kg)	0,8544	0,8694	0,8510	0,9119	0,8955	<u>0,9392</u>
L_{min} (m^3/kg)	4,0687	4,1633	4,0525	4,3424	4,2643	<u>4,4725</u>
V_{CO_2} (m^3/kg)	0,8045	0,8296	0,8075	0,8919	0,8713	<u>0,9143</u>
V_{SO_2} (m^3/kg)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	<u>0,0139</u>	< 0,001	< 0,001
V_N (m^3/kg)	3,2438	3,2835	3,2072	3,4435	3,3768	<u>3,5332</u>

На основу добијених резултата за минимално потребну количину кисоника (O_{min}) за сагоревање, најнижа вредност је установљена за узорак биомасе пшеничне сламе ($0,8510 m^3/kg$). Скоро истоветна вредност је утврђена за дуванску стабљику ($0,8544 m^3/kg$). Највећа количина O_{min} утврђена је за узорак пиљевине дрвета букве ($0,9392 m^3/kg$).

Резултати минималне количине ваздуха за потпуно сагоревање (L_{min}) указују на најнижу вредност код узорка пшеничне сламе ($4,0525 m^3/kg$) а на највишу код узорка пиљевине дрвета букве ($4,4725 m^3/kg$).

У продукту сагоревања узорка дуванске стабљике утврђена је најмања вредност количине V_{CO_2} ($0,8045 m^3/kg$), док је највећа вредност количине ($0,9143 m^3/kg$) утврђена у узорку пиљевине дрвета букве. Када се изврши поређење са резултатима елементарног састава (табела 25) уочава се да је садржај угљеника најнижи код узорка дуванске стабљике а највиши код узорка пиљевине дрвета букве.

Вредност количине V_{SO_2} је била испод лимита квантификације ($< 0,001 m^3/kg$) у узорцима дуванске стабљике, сојине стабљике, пшеничне сламе, окласака кукуруза и пиљевине дрвета букве, док је највећа вредност количине ($0,0139 m^3/kg$) утврђена у узорку остатака глава сунцокрета. Добијене вредности су усаглашене са објављеним резултатима (Peševski et al., 2010).

Вредност количине V_N ($3,2438 m^3/kg$) у узорку дуванске стабљике је била најближа вредности најмање утврђене количине у узорку пшеничне сламе, док је вредност од $3,5332 m^3/kg$ у узорку пиљевине дрвета букве одговарала највећој утврђеној вредности.

7.8. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОДРЕЂИВАЊЕ ПРОДУКАТА САГОРЕВАЊА ИСПИТИВАНИХ УЗОРАКА БРИКЕТА – CO, CO₂, SO₂, NO, NO_x

Пошто су резултати предвиђања оправдали очекивања, урађено је експериментално одређивање продуката сагоревања испитиваних узорака.

Формирање одређених врста загађујућих супстанци првенствено зависи од елементарног састава материјала који сагорева. Међутим, састав продуката сагоревања зависи од начина сагоревања горива, као и ефикасности пећи у којој се врши сагоревање. Са друге стране, на количину формираних оксида пре свега утиче количина доступног кисеоника, у комбинацији са температуром сагоревања и врстом пећи. Постројења за сагоревање биомасе у домаћинству су углавном мала у виду пећи, котлова и камина, који имају низак степен корисности, малу ефикасност сагоревања и високу емисију загађујућих супстанци.

У настојању да се што поузданије процени примена испитиваних биомаса као биогорива са аспекта утицаја на животну средину, извршено је сагоревање брикета у пећи намењеној за сагоревање биомасе и анализирани су гасовити продукти.

Мерени су продукти сагоревања (CO₂, CO, NO, NO_x) у реалним условима и резултати су приказани у табели 31. Азот (IV) оксид и сумпор (IV) оксид нису били детектовани ни у једном узорку.

Табела 31. Анализа продуката сагоревања брикета направљених од биомасе

Узорак \ Параметар	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (mg/m ³)	NO (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)
Стабљика дувана	12.89	7.7	1487	294	451
	11.99	9.4	878	315	483
	13.75	7.2	2406	212	325
Средња вредност	<u>12.88</u>	8.1	1590.34	<u>273.67</u>	<u>419.67</u>
Сојина стабљика	14.20	7.1	1198	246	378
	9.20	12.4	916	312	438
	14.70	6.0	2665	184	283
Средња вредност	12.70	8.5	1593	247.34	366.34
Пшенична слама	12.01	8.9	1959	208	321
	8.82	11.3	2012	184	386
	14.83	6.1	4474	128	197
Средња вредност	11.88	8.77	2815	173.34	301.34
Остаци глава сунцокрета	11.50	9.7	940	287	440
	11.02	10.3	1485	308	472
	12.58	8.7	3891	226	346
Средња вредност	11.70	<u>9.57</u>	2105,34	<u>273.67</u>	419.34
Окласак кукуруза	12.34	7.4	1535.9	186	285
	9.47	12.2	5074	199	304
	15.78	4.1	2247	165	253
Средња вредност	12.53	7.9	<u>2952.3</u>	183.34	280.67
Пиљевина дрвета букве	9.07	12.8	2611	160	245
	13.66	5.7	3112	120	184
	14.82	9.8	1683	147	211
Средња вредност	12.52	9.44	2468.67	142.34	213.34

На основу добијених резултата, најнижа вредност садржаја O_2 измерена је при сагоревању узорка брикета остатака главе сунцокрета (11,70 %), док је највиша вредност садржаја била у при сагоревању узорка брикета дуванске стабљике (12,88 %).

Сагоревањем брикета настаје CO_2 , који је означен као један од главних гасова стаклене баште. Највећи део CO_2 у атмосфери формира се сагоревањем фосилних горива. Биомаса има вишеструко нижи садржај CO_2 у односу на фосилна горива, што повећава њену улогу у заштити животне средине (*Demirbas, 2005.*) При сагоревању узорка брикета окласака кукуруза утврђена је најнижа вредност садржаја CO_2 (7,90 %), што је незнатно више у односу на дуванску стабљичу (8,1%) а највиша вредност садржаја утврђена је код узорка остатака глава сунцокрета (9,57 %).

У узорку дуванске стабљике предвиђањем је такође утврђена најмања вредност количине V_{CO_2} (0,8045 m^3/kg), док је највећа вредност количине (0,9143 m^3/kg) утврђена за узорак пиљевине дрвета букве, незнатно више у односу на остатке глава сунцокрета. Може се констатовати да су измерене вредности CO_2 у продуктима сагоревања донекле у сагласности са заступљеношћу угљеника у испитиваним масама, јер је C најмање заступљен у дуванској стабљичи (43,09 %) а навише у пиљевини дрвета букве (48,97 %), што је за свега 1% више у односу на садржај у остацима глава сунцокрета (табела 25, поглавље 7.4.2).

Угљеник (II)-оксид (CO) је гас без боје и мириса, који настаје непотпуним сагоревањем горива. Сагоревање узорака брикета дуванске стабљике је било потпуније у поређењу са процесима сагоревања осталих биомаса, јер је сагоревањем стабљика у димном гасу настало 1590,34 mg/m^3 CO , што је скоро два пута мање у поређењу са највећом количином садржаја која је настала при сагоревању окласака кукуруза (2952,30 mg/m^3). Количине CO измерене у димним гасовима насталим при сагоревању испитиваних биомаса су реда величине које се могу наћи у литератури (*Lazaroiu et al., 2017*). Дозвољена количина CO (гранична вредност) према Уредби о граничним вредностима загађујућих материја у ваздух из постројења за сагоревање (*Сл. гл. РС, 6/2016*) је до 4000 mg/m^3 , при чему су вредности добијене у овом истраживању знатно ниже од дозвољених.

У продуктима сагоревања SO_2 није детектован ни код једног узорка, што је сагласно са резултатима добијеним током предвиђања продуката сагоревања (табела 30, поглавље 7.7). Вредност количине V_{SO_2} је била испод лимита квантификације ($< 0,001$ mg/m^3) у узорцима дуванске стабљике, сојине стабљике, пшеничне сламе, окласака кукуруза и пиљевине дрвета букве, док је занемарљива количина (0,0139 mg/m^3) утврђена у узорку остатака глава сунцокрета.

Количина оксида азота, изражена сумом NO и NO_x , одређена је у димним гасовима сагоревања сваке испитиване биомасе и констатовано је да су ови оксиди најзаступљенији у стабљичи дувана. Према количини азота одређеној елементарном анализом (3,7 % на сув узорак органске супстанце) било је очекивано да се у димном гасу дуванске стабљике нађе највећа количина оксида, јер се у другим биомасама азот налази у минорним количинама или га нема, као што је то у пиљевини букве. Вредност предвиђене количине V_N (3,2438 m^3/kg) за узорак дуванске стабљике је била најближа вредности најмање утврђене количине у узорку пшеничне сламе.

Без обзира на емитовану количину азотових оксида у димном гасу насталог сагоревањем дуванске стабљике, количина ових оксида је знатно мања (273,67 m^3/kg NO и 419,67 mg/m^3 NO_x) од прописане Уредбом (гранична вредност је 500 mg/m^3).

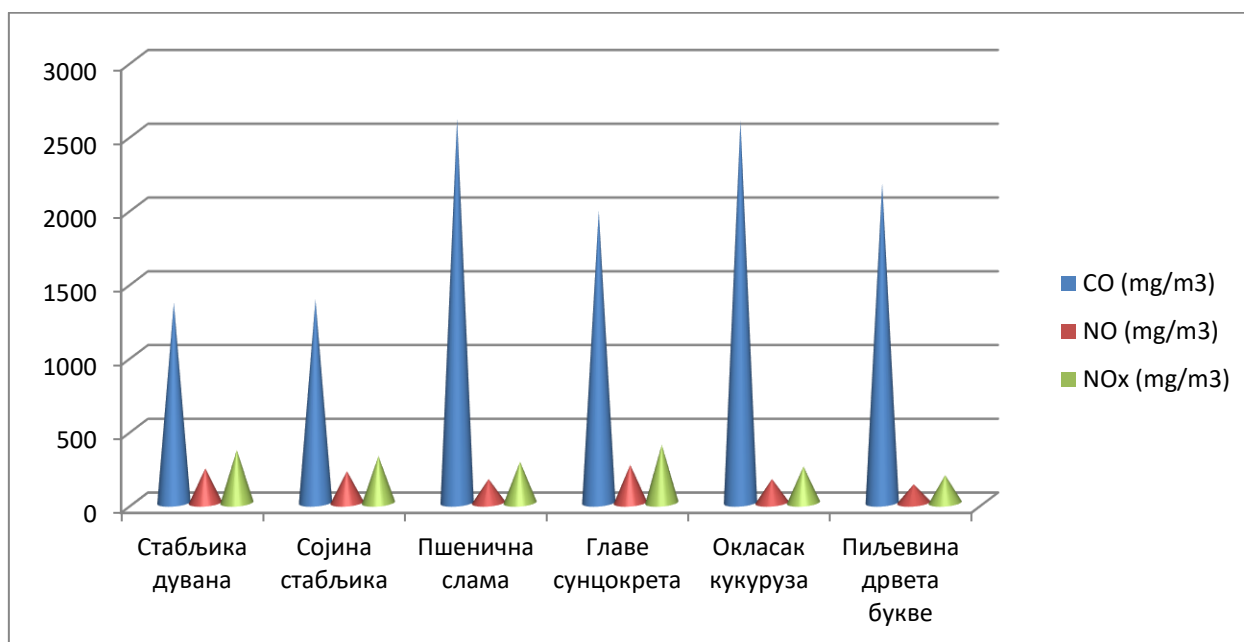
Иако је у току дискусије продуката сагоревања брикета од испитиваних биомаса урађена извесна корелација са елементарним саставом истих, као и са предвиђеним продуктима сагоревања, мора се констатовати да поуздана и потпуна корелација ипак није могућа из разлога што поменуте биомасе садрже различите количине кисеоника што се евидентно одражава на њихово сагоревање.

У зависности од топлотне снаге постројења у коме се врши сагоревање, као и врсте горива, Уредба о граничним вредностима загађујућих материја (Сл. гл. РС, 6/2016) предлаже свођење мерних вредности на одговарајуће концентрације кисеоника у димним гасовима, што за биомасу износи 11%. Резултати израчунавања су приказани у табели 32.

Табела 32. Средње вредности продуката сагоревања брикета направљених од биомасе, прерачунатих на вредност O_2 од 11%.

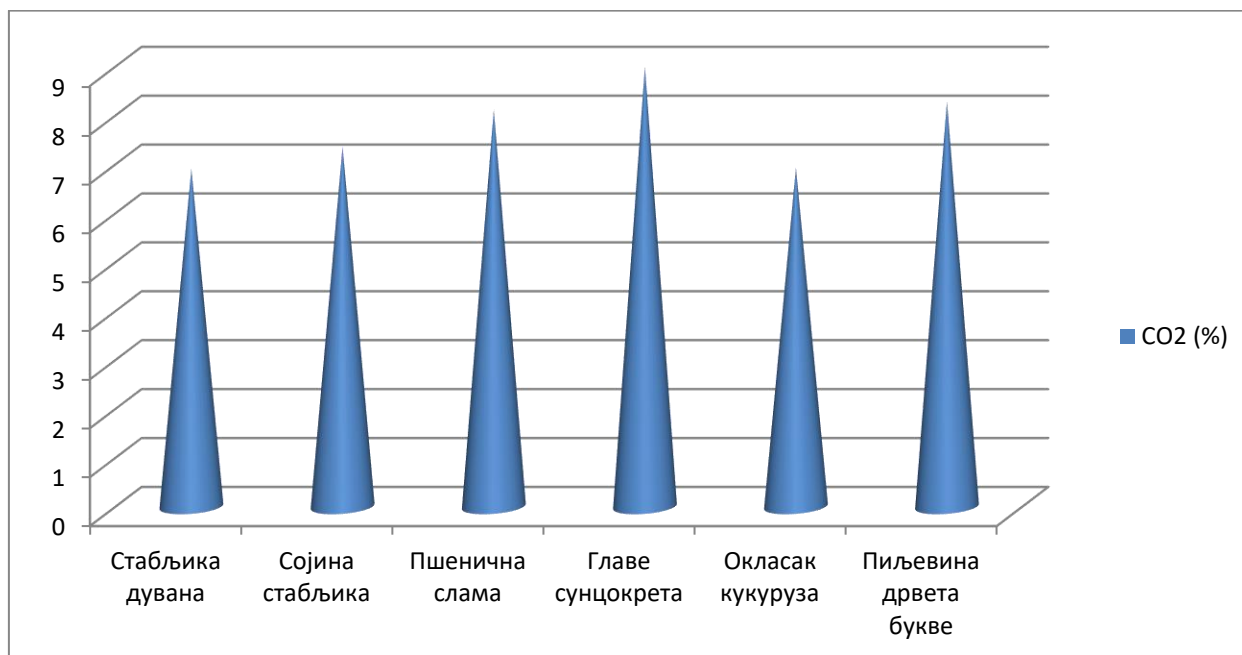
Узорак \ Параметри	CO_2 (%)	CO (mg/m^3)	NO (mg/m^3)	NO_x (mg/m^3)
Стабљика дувана	6.91	1358.21	233.72	358.41
Сојина стабљика	7.36	1379.76	214.23	317.30
Пшенична слама	8.12	<u>2606.48</u>	160.50	279.02
Остаци глава сунцокрета	<u>9.00</u>	1979.38	<u>257.30</u>	<u>394.25</u>
Окласак кукуруза	6.93	2591.80	160.95	246.40
Пиљевина дрвета букве	8.29	2168.96	125.06	187.44

Ради боље прегледности и лакшег упоређивања резултата упоредни преглед средњих вредности продуката сагоревања брикета направљених од биомасе, прерачунатих на вредност O_2 од 11% приказан је на сликама 15 и 16.



Слика 15. Продукти сагоревања (CO , NO , NO_x) настали током сагоревања брикета направљених од различитих облика биомасе.

И у случају прерачунавања продуката сагоревања на 11% концентрације кисеоника, код стабљика дувана типа Берлеј констатоване су најниже вредности садржаја оксида угљеника, а код пиљевине дрвета букве најниже вредности садржаја оксида азота (табела 32, слике 15 и 16).



Слика 16. Продукти сагоревања (CO₂) настали током сагоревања брикета направљених од различитих облика биомасе.

Добијени подаци за продукте сагоревања у овом истраживању показали су да се дуванска стабљика, као и остали испитивани узорци биомаса, налазе у границама вредности регулисаних Правилником о граничним вредностима загађујућих материја.

7.9. ОДРЕЂИВАЊЕ КОЛИЧИНЕ НИКОТИНА У ДУВАНСКОЈ СТАБЉИЦИ И ДИМУ ПРИ САГОРЕВАЊУ БРИКЕТА ОД СТАБЉИКА ДУВАНА ТИПА БЕРЛЕЈ

Развијена HPLC-PDA метода успешно је примењена за одређивање садржаја никотина у дуванској стабљичи и диму при сагоревању брикета од стабљика дувана. Штавише, метода је била селективна и нису примећени ометајући врхови у времену задржавања никотина.

Према прописима Европске Уније (*Novotny and Zhao, 1999*), садржај никотина преко 500 *ppm* декларише дувански отпад у категорију опасног отпада.

Испитивањем биомасе дуванских стабљика установљено је да садрже 715,6 *ppm* никотина, прерачунато на суву супстанцу стабљике. Анализом продуката сагоревања брикета констатовано је да количина никотина у димном гасу знатно нижа (< 10 *ppm*) што је далеко испод прописаних вредности.

Ниска количина присутног никотина у диму при сагоревању даје позитивну оцену за употребу брикета од дуванских стабљика са еколошког аспекта.

7.10. ОДРЕЂИВАЊЕ САСТАВА ПЕПЕЛА БРИКЕТА ИСПИТИВАНИХ БИОМАСА

Након сагоревања брикета, припремљених од испитиваних биомаса, у одговарајућем котлу (описано у поглављу 6.8.), извршена је квалитативна анализа пепела. Резултати анализе приказани су у табели 33.

Изглед пепела приказан је на слици 17.



Слика 17. Изглед пепела након сагоревања брикета испитиваних биомаса

Табела 33. Количина елемената у пепелу брикета испитиваних биомаса

Испитивани елементи*	Биомаса					
	Дуванска стабљика	Сојина стабљика	Пшенична слама	Остаци глава сунцокрета	Окласак кукуруза	Пиљевина дрвета букве
K	5,67	1,41	19,18	8,02	9,95	6,03
Mg	5,43	0,85	7,35	1,1	0,51	2,99
Ca	9,39	1,46	9,44	2,26	2,03	9,95
Cr	18,70	39,93	31,79	20,01	54,76	9,48
Mn	207	615	675	367	1,447	217
Fe	3,40	18,35	8,10	5,80	10,54	2,78
Co	2,94	13,95	6,38	4,18	10,00	2,43
Ni	18,97	46,99	25,61	17,16	59,72	29,96
Cu	122,4	85,89	80,26	44,58	99,9	148,7
Zn	144,4	192,7	105,6	74,40	87,53	335,8
Cd	0,66	5,33	0,63	0,63	1,61	1,08
Hg	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Pb	7,32	33,10	63,31	9,28	8,06	25,58
P	1,00	0,58	1,56	0,31	0,17	1,92
As	0,40	0,21	0,85	0,53	0,65	0,87

*Напомена: K, Mg, Ca и Cr у %, а сви остали елементи у mg/kg

- Резултати испитивања количине макроелемената (K, Mg, Ca, P)

Најниже вредности садржаја K и Ca одређене су у узорку сојине стабљике (1,41 % и 1,46 %), док је највиша вредност K и Mg констатована у узорку пшеничне сламе (19,18 %), сагласно подацима из литературе за пшеничну сламу (*Sippula et al., 2008*).

Калцијум је најзаступљенији у узорку пиљевине дрвета букве (9,95 %), као и дуванских стабљика (9,39%). Најниже вредности Mg (0,51 %) и P (0,17 %), утврђене су у окласку кукуруза, док је заступљеност P (1,92 %) највиша у узорку пиљевине дрвета букве.

- Резултати анализе *садржаја микроелемената* (Mn, Fe, Cu, Zn)

На основу добијених резултата, најнижа вредност садржаја Mn била је у узорку дуванске стабљике (207 mg/kg), а највиша вредност у узорку окласака кукуруза (1447 mg/kg). Најнижа вредност садржаја Fe била је у узорку пиљевине дрвета букве (2,78 mg/kg), а највиша у узорку сојине сламе (18,35 mg/kg). У узорку остатака глава сунцокрета утврђене су најниже вредности садржаја Cu (44,58 mg/kg) и Zn (74,40 mg/kg), док су у узорку пиљевине дрвета букве утврђене највише вредности (148,7 mg/kg за Cu и 335,8 mg/kg за Zn).

У узорку дуванске стабљике, вредност садржаја Mn (207 mg/kg) одговарала је најнижој вредности, у односу на вредности садржаја у другим испитаним узорцима, док је вредност садржаја Fe (3,40 mg/kg) била најближа вредности најнижег садржаја у узорку пиљевине дрвета букве.

Вредност садржаја Cu (122,4 mg/kg) у узорку дуванске стабљике била је приближна највишој вредности садржаја у узорку пиљевине дрвета букве, док је вредност садржаја Zn (144,4 mg/kg) одговарала приближно половини вредности највишег садржаја у узорку пиљевине дрвета букве.

- Резултати анализе *садржаја тешких метала* (Cr, Co, Ni, Cd, Hg, Pb, As)

Максималне дозвољене концентрације тешких метала у земљиштима (mg/kg), су дефинисане Правилником о дозвољеним количинама опасних и штетних материја у земљишту, који је објављен у Службеном гласнику Републике Србије (Сл. гл. РС 23 /1994).

На основу добијених резултата, најниже вредности садржаја Cr и Co биле су у узорку пиљевине дрвета букве (9,48 mg/kg и 2,43 mg/kg), садржаја Ni у узорку остатака глава сунцокрета (17,16 mg/kg), садржаја Cd у узорцима пшеничне сламе и остатака глава сунцокрета (0,63 mg/kg), садржаја Pb у узорку дуванске стабљике (7,32 mg/kg) и садржај As у узорку сојине сламе (0,21 mg/kg).

Највиша вредност садржаја Cr била је у узорку окласака кукуруза (54,76 mg/kg), садржаја Co у узорку сојине сламе (13,95 mg/kg), садржаја Ni у узорку окласака кукуруза (59,72 mg/kg), садржаја Cd у узорку сојине сламе (5,33 mg/kg), садржаја Pb у узорку пшеничне сламе (63,31 mg/kg) и садржаја As у узорку пиљевине дрвета букве (0,87 mg/kg).

У узорку дуванске стабљике, вредност садржаја Cr (18,70 mg/kg) је била најближа вредности садржаја у узорку остатака глава сунцокрета, али виша у односу на вредност најнижег садржаја у узорку пиљевине дрвета букве, док је вредност садржаја Co (2,94 mg/kg) била приближна вредности најнижег садржаја у узорку пиљевине дрвета букве.

Вредност садржаја Ni (18,97 mg/kg) у узорку дуванске стабљике незнатно је повећана у односу на вредност најнижег садржаја у узорку остатака глава сунцокрета. У узорку дуванске стабљике, вредност садржаја Cd (0,66 mg/kg) је била приближна вредности најнижег садржаја у узорцима пшеничне сламе и остатака глава сунцокрета, док је вредност садржаја Pb (7,32 mg/kg) била најнижа у односу све остале узорке биомаса.

Вредност садржаја As (0,40 mg/kg) у узорку дуванске стабљике била је приближно 2 пута виша од вредности најнижег садржаја у узорку сојине сламе, али и приближно 2,2 пута нижа од вредности највишег садржаја у узорку пиљевине дрвета букве.

Стандардом EN14961-2 прописана је количина појединих метала (As, Cd, Cu, Cr, Pb, Hg, Ni, Zn) у пепелу, прерачуната на сув узорак (*Obernberger and Thek, 2010*). Разматрање података о количини метала у испитиваним пепелима брикета указује да брикети испуњавају критеријуме за елементе: As и Hg код свих биомаса.

Заступљеност Cd у свим класама брикета требало би да буде мања од 0,5 mg/kg. Уколико се узме у обзир мерна несигурност резултата испитивања, пепео дуванске стабљике, пшеничне сламе и остатака глава сунцокрета, испуњава критеријум.

Према прописаним количинама за Cr, Cu и Ni у пепелу, ниједна од испитиваних биомаса не испуњава критеријуме.

Према EN 14961-2 (*Obernberger and Thek, 2010*) дозвољена количина Zn у пепелу је ≤ 100 mg/kg и овај услов испуњавају биомасе остатака глава сунцокрета, окласка кукуруза, па и пшеничне сламе, ако се резултат прихвати са урачунатом мерном несигурношћу.

Производња минералних ђубрива на бази пепела подразумева додавање одређених соли да би се добио жељени квалитет, што омогућава коришћење пепела дуванске стабљике, без обзира што према стандарду EN 14961-2 (односи на пелет од дрвета), не испуњава критеријуме за садржај већине тешких метала.

7.11. СТАТИСТИЧКА ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА

У овом поглављу извршено је испитивање зависности хемијског и елементарног састава биомасе од хемијских особина земљишта. Зависност наведених параметара разматрана је на узорцима свих испитиваних облика биомасе са три локације (Шабац, Стара Пазова и Голубинци).

Табела 34. Степен зависности карактеристика биомасе од хемијских особина земљиштана локалитету **Шабац**

Испитивана обележја	Дуванска стабљика						
	Количина пепела	Садржај целулозе	Садржај лигнина	Угљеник (C)	Водоник (H)	Азот (N)	Кисеоник (O)
pH nKCl	0,86*	0,25 ^{NZ}	0,873 ^{NZ}	-0,40 ^{NZ}	0,99**	-0,53 ^{NZ}	-0,43 ^{NZ}
Хумус	0,85*	0,28 ^{NZ}	- 0,495 ^{NZ}	-0,40 ^{NZ}	0,99**	-0,52 ^{NZ}	-0,44 ^{NZ}
Укупан N	0,89*	0,14 ^{NZ}	- 0,952*	-0,40 ^{NZ}	0,99**	0,57 ^{NZ}	-0,36 ^{NZ}
P ₂ O ₅	0,89*	0,16 ^{NZ}	- 0,221 ^{NZ}	-0,40 ^{NZ}	0,99**	-0,56 ^{NZ}	-0,37 ^{NZ}
K ₂ O	0,89*	0,16 ^{NZ}	- 0,956*	-0,40 ^{NZ}	0,99**	-0,56 ^{NZ}	-0,37 ^{NZ}

** Значајност на нивоу 1% * Значајност на нивоу 5% ^{NZ}Нема статистичке значајности

Спроведена анализа је показала да постоји значајна позитивна статистичка зависност ($p \leq 0,05$) између садржаја пепела у дуванској стабљници и свих испитиваних хемијских особина земљишта (табела 34). Утврђена је негативна статистичка зависност између садржаја лигнина у дуванским стабљницама и укупног азота и калијума (K₂O) у земљишту ($p \leq 0,05$). Вредност pH nKCl, садржај хумуса и фосфора (P₂O₅) у земљишту не указују на статистички значајнији утицај на садржај лигнина у дуванским стабљницама.

Код садржаја целулозе, угљеника, азота и кисеоника у дуванској стабљници у односу на све испитиване хемијске особине земљишта није забележена статистички значајна зависност. Насупрот томе, утврђена је висока ($p \leq 0,01$) позитивна статистичка зависност садржаја водоника у дуванским стабљницама према свим хемијским особинама земљишта (табела 34).

За разлику од локалитета Шабац, где су анализирани подаци само за дуванску стабљику, на локалитету Стара Пазова и Голубинци испитивана су четири узорка биомасе (сојина стабљика, пшенична слама, остаци глава сунцокрета и окласак кукуруза). Резултате анализе степена зависности карактеристике биомасе од хемијских особина земљишта са локалитета Стара Пазова приказани су у табели 35, а за локалитет Голубинаца у табели 36.

Табела 35. Степен зависности карактеристика биомасе од хемијских особина земљишта на локалитету **Стара Пазова**

Испитивана обележја		Вредност коефицијента корелације	
		Пшенична слама	Окласак кукуруза
Количина пепела	pH nKCl	-0,066 ^{NZ}	-0,716 ^{NZ}
	Хумус	0,141 ^{NZ}	-0,525 ^{NZ}
	Укупан N	0,380 ^{NZ}	-0,216 ^{NZ}
	P ₂ O ₅	0,949*	0,769 ^{NZ}
	K ₂ O	-0,134 ^{NZ}	-0,303 ^{NZ}
Садржај целулозе	pH nKCl	0,469 ^{NZ}	-0,305 ^{NZ}
	Хумус	0,419 ^{NZ}	-0,092 ^{NZ}
	Укупан N	0,268 ^{NZ}	0,227 ^{NZ}
	P ₂ O ₅	0,000 ^{NZ}	0,746 ^{NZ}
	K ₂ O	-0,228 ^{NZ}	0,283 ^{NZ}
Садржај лигнина	pH nKCl	-0,686 ^{NZ}	0,602 ^{NZ}
	Хумус	-0,540 ^{NZ}	0,746 ^{NZ}
	Укупан N	-0,316 ^{NZ}	0,846 ^{NZ}
	P ₂ O ₅	0,732 ^{NZ}	0,649 ^{NZ}
	K ₂ O	-0,672 ^{NZ}	0,366 ^{NZ}
Угљеник (C)	pH nKCl	-0,790 ^{NZ}	0,688 ^{NZ}
	Хумус	-0,621 ^{NZ}	0,658 ^{NZ}
	Укупан N	-0,327 ^{NZ}	0,591 ^{NZ}
	P ₂ O ₅	0,668 ^{NZ}	-0,326 ^{NZ}
	K ₂ O	-0,334 ^{NZ}	0,941*
Водоник (H)	pH nKCl	-0,557 ^{NZ}	0,275 ^{NZ}
	Хумус	-0,670 ^{NZ}	0,060 ^{NZ}
	Укупан N	-0,788 ^{NZ}	-0,214 ^{NZ}
	P ₂ O ₅	-0,259 ^{NZ}	-0,969*
	K ₂ O	-0,952*	0,233 ^{NZ}
Азот (N)	pH nKCl	-0,171 ^{NZ}	-0,205 ^{NZ}
	Хумус	-0,400 ^{NZ}	-0,419 ^{NZ}
	Укупан N	-0,662 ^{NZ}	-0,650 ^{NZ}
	P ₂ O ₅	-0,943 ^{NZ}	-0,926 ^{NZ}
	K ₂ O	-0,289 ^{NZ}	-0,189 ^{NZ}
Кисеоник (O)	pH nKCl	0,390 ^{NZ}	-0,122 ^{NZ}
	Хумус	0,482 ^{NZ}	-0,292 ^{NZ}
	Укупан N	0,599 ^{NZ}	-0,526 ^{NZ}
	P ₂ O ₅	0,142 ^{NZ}	-0,491 ^{NZ}
	K ₂ O	0,908 ^{NZ}	-0,714 ^{NZ}

* Значајност нанивоу 5% ; ^{NZ}Нема статистичке значајности

Резултати статистичке анализе (табела 35) узорака биомасе и земљишта са локалитета Стара Пазова показали су да постоји значајна позитивна зависност између садржаја пепела у пшеничној слами и P_2O_5 у земљишту, као и значајна негативна зависност између садржаја Н у узорку пшеничне сламе и K_2O у земљишту, на нивоу статистичке значајности од 5 %.

Код узорка окласка кукуруза утврђена је значајна позитивна зависност између садржаја С и K_2O у земљишту, као и значајна негативна зависност између садржаја Н у окласку кукуруза и P_2O_5 у земљишту, на нивоу значајности од 5 %. Између осталих испитиваних параметара нема статистичке значајности.

Табела 36. Степен зависности карактеристика биомасе од хемијских особина земљишта на локалитету **Голубинци**

Испитивана обележја		Вредност коефицијента корелације	
		Сојина стабљика	Остаци глава сунцокрета
Количина пепела	pH nKCl	-0,835 ^{NZ}	0,923 ^{NZ}
	Хумус	0,161 ^{NZ}	0,065 ^{NZ}
	Укупан N	0,963*	-0,631 ^{NZ}
	P_2O_5	-0,598 ^{NZ}	0,212 ^{NZ}
	K_2O	0,867 ^{NZ}	-0,821 ^{NZ}
Садржај целулозе	pH nKCl	0,071 ^{NZ}	-0,274 ^{NZ}
	Хумус	0,479 ^{NZ}	0,368 ^{NZ}
	Укупан N	-0,733 ^{NZ}	0,830 ^{NZ}
	P_2O_5	0,013 ^{NZ}	-0,752 ^{NZ}
	K_2O	-0,757 ^{NZ}	0,432 ^{NZ}
Садржај лигнина	pH nKCl	0,156 ^{NZ}	-0,064 ^{NZ}
	Хумус	-0,950*	-0,596 ^{NZ}
	Укупан N	-0,199 ^{NZ}	0,675 ^{NZ}
	P_2O_5	-0,887 ^{NZ}	0,116 ^{NZ}
	K_2O	0,338 ^{NZ}	0,782 ^{NZ}
Угљеник (C)	pH nKCl	-0,499 ^{NZ}	-0,337 ^{NZ}
	Хумус	0,924 ^{NZ}	-0,778 ^{NZ}
	Укупан N	0,004 ^{NZ}	0,259 ^{NZ}
	P_2O_5	-0,718 ^{NZ}	0,533 ^{NZ}
	K_2O	-0,301 ^{NZ}	0,738 ^{NZ}
Водоник (H)	pH nKCl	-0,421 ^{NZ}	-0,794 ^{NZ}
	Хумус	-0,392 ^{NZ}	0,528 ^{NZ}
	Укупан N	-0,195 ^{NZ}	0,094 ^{NZ}
	P_2O_5	0,480 ^{NZ}	-0,410 ^{NZ}
	K_2O	0,273 ^{NZ}	0,100 ^{NZ}
Азот (N)	pH nKCl	0,625 ^{NZ}	0,116 ^{NZ}
	Хумус	0,502 ^{NZ}	-0,977*
	Укупан N	-0,316 ^{NZ}	0,056 ^{NZ}
	P_2O_5	0,300 ^{NZ}	0,767 ^{NZ}
	K_2O	-0,741 ^{NZ}	0,530 ^{NZ}
Кисеоник (O)	pH nKCl	0,186 ^{NZ}	0,736 ^{NZ}
	Хумус	-0,928 ^{NZ}	0,355 ^{NZ}
	Укупан N	-0,285 ^{NZ}	-0,743 ^{NZ}
	P_2O_5	-0,915 ^{NZ}	0,054 ^{NZ}
	K_2O	0,259 ^{NZ}	-0,974*

* Значајност на нивоу 5% ; ^{NZ}Нема статистичке значајности

На основу резултата приказаних у табели 36 може се констатовати да постоји значајна позитивна корелација између количине пепела у узорку сојине стабљике и укупног N у земљишту, као и значајна негативна корелација између садржаја лигнина у узорку биомасе и количине хумуса у земљишту, на нивоу значајности од 5 %.

Анализом података за остатке глава сунцокрета утврђена је значајна негативна корелација између садржаја азота у узорку биомасе и хумуса у земљишту, као и између садржаја кисеоника у биомаси и K_2O у земљишту.

У табели 37 приказани су показатељи дескриптивне статистике. На основу израчунатих вредности показатеља дисперзије (интервал варијације, стандардна девијација и коефицијент варијације), за све узете узорке, може се рећи да је њихова вредност мала и да се ради о хомогеном узорку. Такође, бележи се мала разлика, а код једног броја узорака и идентична вредност, аритметичке средине и позиционе средње вредности (медијане), што потврђује и испуњеност нормалности узетих узорака.

Табела 37. Дескриптивна статистика испитиваних обележја за анализиране узорке

Варијабле		$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	Медијана	Xmax-Xmin	Ст.дев.	Cv (%)
Количина органске супстанце	Дуванска стабљика	94,87±0,21	94,87	95,44-94,33	0,46	0,49
	Сојина стабљика	96,85±0,10	96,80	97,23-96,63	0,23	0,24
	Пшенична слама	92,89±0,16	92,89	93,24-92,35	0,35	0,37
	Остаци глава сунцокрета	87,83±0,18	87,83	88,34-87,39	0,41	0,47
	Окласак кукуруза	98,74±0,16	98,66	99,33-98,35	0,36	0,36
	Пиљевина дрвета букве	99,46±0,11	99,44	99,87-99,21	0,25	0,25
Количина целулозе	Дуванска стабљика	35,97±0,17	35,79	36,64-35,68	0,39	1,08
	Сојина стабљика	31,55±0,16	31,55	32,06-31,04	0,38	1,17
	Пшенична слама	36,02±0,10	36,02	36,28-35,65	0,23	0,65
	Остаци глава сунцокрета	25,77±0,17	25,77	26,36-25,34	0,39	1,51
	Окласак кукуруза	39,54±0,14	39,54	39,96-39,11	0,32	0,82
	Пиљевина дрвета букве	40,12±0,15	40,12	40,60-39,64	0,34	0,85
Количина лигнина	Дуванска стабљика	20,12±0,19	21,82	21,89-21,72	0,07	2,12
	Сојина стабљика	14,34±0,08	20,35	20,98-20,06	0,43	1,18
	Пшенична слама	20,18±0,11	21,39	21,65-21,09	0,24	1,18
	Остаци глава сунцокрета	18,28±0,09	19,96	20,15-19,74	0,18	1,07
	Окласак кукуруза	26,64±0,22	29,06	29,34-28,69	0,29	1,88
	Пиљевина дрвета букве	21,96±0,06	23,38	23,60-23,20	0,21	0,63
Количина угљеника	Дуванска стабљика	43,09±0,23	43,05	43,89-42,41	0,53	1,22
	Сојина стабљика	44,44±0,14	44,44	44,81-44,03	0,31	0,71
	Пшенична слама	43,25±0,13	43,25	43,58-42,85	0,28	0,66
	Остаци глава сунцокрета	47,77±0,18	47,77	48,33-47,21	0,40	0,85
	Окласак кукуруза	46,67±0,20	46,67	47,31-46,13	0,44	0,95
	Пиљевина дрвета букве	48,97±0,10	48,97	49,23-48,62	0,23	0,48
Доња топлотна вредност	Дуванска стабљика	15282±270	15282	15551-15003	271	3,70
	Сојина стабљика	15612±155	15612	15989-15122	361	2,08
	Пшенична слама	15156±149	15156	15700-14611	462	2,07
	Остаци глава сунцокрета	14902±64	14902	15402-14347	489	0,89
	Окласак кукуруза	16834±131	16834	17271-16324	408	1,59
	Пиљевина дрвета букве	17266±122	17266	17501-17012	203	1,48

На основу добијених резултата, најниже вредности количине органске супстанце, количине целулозе, количине лигнина и доње топлотне вредности су биле у узорку остатака глава сунцокрета, док су највише вредности количине органске супстанце, количине целулозе и доње топлотне вредности утврђене у узорку пиљевине дрвета букве, а количине лигнина у узорку окласка кукуруза.

У узорку дуванске стабљике, вредности количине органске супстанце, количине целулозе, количине лигнина и доње топлотне вредности су биле за 7,4 %, 27,9 %, 8,5 % и 2,5 %, респективно, више од најнижих утврђених вредности у узорку остатака глава сунцокрета. У узорку пиљевине дрвета букве вредност количине лигнина је била за 14,6 % виша од најниже утврђене вредности у узорку остатака глава сунцокрета, док су вредности количине органске супстанце, количине целулозе и доње топлотне вредности одговарале највишим утврђеним вредностима резултата. Вредност количине угљеника је била најнижа у узорку дуванске стабљике, док је највиша вредност количине одређена у узорку пиљевине дрвета букве.

Максимална и минимална вредност приказују мале разлике што значи да не постоје велика одступања од средње вредности. До истих закључака упућују и стандардна девијација и коефицијент варијације (Cv).

Зависност испитиваних својстава (доња топлотна вредност, садржај целулозе, количина органске супстанце и лигнина) у изабраним узорцима измерена је Pearson-овим коефицијентом корелације и исти тестирани на прагу значајности 5 %. Резултати измерене зависности су приказани у табели 38.

Потребно је напоменути да зависност топлотне вредности биомасе од садржаја целулозе до сада није била предмет озбиљних истраживања, тачније не постоји нигде у литератури. До сада су се за израчунавање топлотне моћи (ННВ) дувана и осталих врста биомасе користили подаци о садржају лигнина (L), пепела (Ash) и елементарног састава (C, H, O) (*Demirbas, 2001a; Бркић и сар., 2007; Sheng and Azevedo, 2005*). Због тога је у овом истраживању први пут одређивана поменута зависност, као и зависност садржаја целулозе од садржаја угљеника и лигнина у узорцима биомасе (табела 38).

Табела 38. Вредност Pearson-ових коефицијента корелације испитиваних обележја за анализиране узорке

Зависност између обележја	Дуванска стабљика	Сојина стабљика	Пшенична слама	Остаци глава сунцокрета	Окласак кукуруза	Пиљевина дрвета букве
Доња топлотна вредност/ кол. целулозе	0.376 ^{NZ}	0.151 ^{NZ}	-0.067 ^{NZ}	0.949*	-0.094 ^{NZ}	-0.986*
Доња топлотна вредност/ кол. органске супстанце	-0.196 ^{NZ}	0.043 ^{NZ}	0.500 ^{NZ}	-0.756 ^{NZ}	-0.635 ^{NZ}	0.350 ^{NZ}
Целулоза/кол. угљеника	-0.050 ^{NZ}	0.662 ^{NZ}	-0.571 ^{NZ}	-0.262 ^{NZ}	0.079 ^{NZ}	0.365 ^{NZ}
Целулоза/кол. лигнина	0.211 ^{NZ}	-0.269 ^{NZ}	0.047 ^{NZ}	0.517 ^{NZ}	0.186 ^{NZ}	-0.780 ^{NZ}
Лигнин/кол. угљеника	0,265 ^{NZ}	-0,759 ^{NZ}	0,786 ^{NZ}	0,568 ^{NZ}	0,072 ^{NZ}	-0,820 ^{NZ}

* Значајност н анивоу 5% ^{NZ}Нема статистичке значајности

Вредности израчунатих коефицијената корелације указују да код узорака дуванске и сојине стабљике, као и код пшеничне сламе и окласка кукуруза нема статистички значајне зависности између испитиваних својстава ($p > 0,05$). Једино се уочава статистички значајна корелација између доње топлотне вредности и количине целулозе код остатака глава сунцокрета и пиљевине дрвета букве, с тим што је у првом случају та зависност позитивна а у другом негативна.

8. ЗАКЉУЧАК

Истраживања приказана у дисертацији односе се на процену доприноса стабљика дувана типа Берлеј укупном потенцијалу биомасе у Србији, са енергетског и еколошког становишта.

На основу изложених резултата могу се извести следећи закључци:

- На локалитету Шапца утврђене су веће просечне температуре ваздуха у 2015. години, како по месецима, тако и у суми (за 1,52°C) током вегетационог периода дувана, као и количине падавина (за 13,5 mm у просеку по вегетационом периоду) у односу на 30-годишњи просек. На локалитету Шабац земљиште је било киселе, до умерено киселе реакције (pH 5,85). Припада класи слабо хумозних земљишта (2,57 %), сиромашно је фосфором (1,5 mg/100g) и средње обезбеђено калијумом (15,2 mg/100g).

- Према подацима мерне станице Сурчин, на локалитету Стара Пазова и Голубинци веће су средње месечне температуре ваздуха, посматрано по сваком месецу у вегетационом периоду 2015. године, као и просек сума за вегетациони период, и то 1,42°C за соју и кукуруз и за 1,61°C за сунцокрет, у односу на 30-годишњи период. Количина падавина је мања у 2015. години, што у просеку сума за вегетациони период износи 67,8 mm мање за вегетациони период соје и кукуруза, а за 10,9 mm мање за сунцокрет. За најдужи вегетациони период пшенице (који износи 10 месеци), средње температуре у 2015. години биле су веће, како по месецима, тако и у просеку сума за вегетациони период (за 1,59°C). Количина падавина је била мања, што у просеку сума за вегетациони период износи 39,6 mm мање у односу на 30-годишњи период. На локалитету Стара Пазова земљиште је слабо алкалне реакције (pH 8,06), а по садржају хумуса било је средње обезбеђено, богато кречом (3,7%), са највише укупног азота (0,233 %), уз преовлађујући нитратни облик, средње обезбеђено приступачним фосфором (10 mg/100 g) и богато калијумом (21,4 mg/100g). Земљиште на локалитету Голубинаца било је благо киселе реакције (pH 6,75), са високим садржајем хумуса (2,97 %), најнижим садржајем укупног азота (0,195 %) и највишим садржајем лако приступачног фосфора (11,4 mg/100g) и калијума (43,6 mg/100g земљишта).

- На сва три локалитета однос C : N земљишта се незнатно разликује: за Стару Пазову 7,1 :1; за Шабац 7,3 :1 и за Голубинце 8,8 :1.

- Наведени услови се нису негативно одразили на развој усева и количину биомасе.

- Резултати хемијског састава испитиваних узорка биомаса показују да је најнижа количина пепела, у пиљевини, што је и било очекивано. Од свих испитиваних биомаса само остаци глава сунцокрета са садржајем пепела од 12,17 % нису погодни као биогориво јер према критеријуму стандарда ISO 17225 – 1:2014 садржај прелази вредност 10 %, као максимално дозвољену количину пепела. Сви остали испитивани узорци биомаса имају количину пепела испод 10%, што их чини прихватљивим као биогориво.

- Количина целулозе у испитиваним биомасама је у опсегу од 25,77 % до 40,12 %. Целулоза је најзаступљенија у узорцима направљеним од пиљевине дрвета букве. Поређењем пољопривредних биомаса, дуванска стабљика (35,97 %) има виши садржај целулозе у односу на остатке глава сунцокрета (за 10,2 %) и сојину стабљику (за 4,42 %) а нижи у односу на окласак кукуруза (за 3,57 %). У односу на пшеничну сламу садржај целулозе се не разликује.

• Највиши проценат лигнина измерен је код окласака кукуруза (26,64 %), док је најнижи код сојине стабљике (14,34 %). Садржај лигнина код стабљике дувана је 20,12 %, и не разликује се од садржаја у пшеничној слами, док је за 6,52 % нижи у односу на садржај у окласку кукуруза, али је за 1,84 % виши у односу на остатке глава сунцокрета и за 5,78 % у односу на сојину стабљику.

• Садржај влаге код узорака (9,34-11,58) % је прихватљив за израду брикета за сагоревање биомасе. Виши садржај влаге је констатован само код остатака глава сунцокрета (15,67 %), вероватно као последица тренутка сакупљања узорака, које се обављало у касну јесен.

• Брикети су направљени без додавања везивних средстава, што чини производњу јефтинијом и са аспекта заштите животне средине прихватљивијом.

• Најмање губитака (заостале ситњавине) при изради брикета имале су дуванске стабљике и остаци глава сунцокрета. Може се закључити да је дуванска стабљика, са садржајем влаге од 10,27 %, добар материјал за израду брикета без додавања везивних материјала. Највише заостале ситњавине било је код окласка кукуруза и пиљевине дрвета букве, који су имали најмању количину влаге.

• Анализом елементарног састава испитиваних узорака биомасе утврђен је садржај угљеника (C) у опсегу од 43,09 % код брикета направљених од дуванских стабљика, до 48,97 % код брикета направљених од пиљевине дрвета букве. Најнижи садржај (43,25 %) у поређењу са садржајем (C) код осталих пољопривредних биомаса, близак вредности код дуванских стабљика, установљен је и код пшеничне сламе а највиши (47,77 %) код остатака глава сунцокрета.

• Заступљеност водоника (H) у узорцима је уједначена и у опсегу је од 5,12 % код брикета направљених од пшеничне сламе, до 5,91 % за брикете направљене од окласка кукуруза.

• Код брикета направљених од пиљевине, није установљено присуство N. Садржај N код осталих облика биомасе је приближних вредности. Међутим, брикети направљени од дуванских стабљика имали су 3 пута виши садржај N (3,70 %). Овако висок садржај N највероватније је последица ђубрења NPK ђубривом, јер је током раста и развоја дувана типа Берлеј неопходна већа количина азота.

• Сумпор је пронађен у веома малим количинама код брикета направљених од глава сунцокрета (0,63 %) док га код осталих облика биомасе нема, што је у сагласности са литературним подацима.

• На основу експерименталног одређивања топлотне вредности испитиваних узорака најниже горње и доње топлотне вредности су утврђене код узорка остатака глава сунцокрета (15,95 MJ kg⁻¹ и 14,90 MJ kg⁻¹), док је највиша горња топлотна вредност код узорка окласка кукуруза (18,49 MJ kg⁻¹) и пиљевине дрвета букве (18,45 MJ kg⁻¹). Највиша доња топлотна вредност је утврђена код узорка пиљевине дрвета букве (17,27 MJ kg⁻¹). У узорку дуванске стабљике, горња топлотне вредност (16,33 MJ kg⁻¹) је била за 2,3 % виша од најниже горње топлотне вредности у узорку остатака глава сунцокрета, а за 11,68% нижа од највише горње топлотне вредности у узорку окласка кукуруза и нижа за 11,49% од вредности узорка пиљевине дрвета букве.

• Резултати експерименталног одређивања топлотних вредности испитиваних биомаса су усаглашени са резултатима који су добијени прорачуном за HHV базираног на количини пепела одређеној за сваку од биомаса. Тиме је потврђена хипотеза да је прорачун за HHV (нарочито преко садржаја пепела) једноставан и јефтин начин за добијање поуздане процене за могућност употребе нових облика биомаса као биогорива.

• На основу добијених резултата продуката сагоревања, најнижа вредност садржаја O_2 је измерена при сагоревању узорка брикета направљених од остатака глава сунцокрета (11,70 %), док је највиша вредност садржаја била при сагоревању узорка брикета од дуванске стабљике (12,88 %).

• При сагоревању узорка брикета окласака кукуруза утврђена је најнижа вредност садржаја CO_2 (7,90 %), што је незнатно ниже у односу на дуванску стабљику (8,1 %). Највиша вредност садржаја CO_2 је одређена код узорка главе сунцокрета (9,57 %).

• Сагоревање узорака брикета дуванске стабљике је било потпуније у поређењу са процесима сагоревања осталих биомаса, јер је сагоревањем стабљика у димном гасу настало $1590,34 \text{ mg/m}^3$ CO , што је скоро два пута мање у поређењу са највишом вредношћу садржаја која је настала при сагоревању окласака кукуруза ($2952,30 \text{ mg/m}^3$).

• Азот (IV) оксид и сумпор (IV) оксид нису били детектовани ни у једном узорку.

• Без обзира на емитовану количину азотових оксида у димном гасу насталог сагоревањем дуванске стабљике, количина ових оксида је знатно нижа ($273,67 \text{ mg/m}^3$ NO и $419,67 \text{ mg/m}^3$ NO_x) од дозвољених.

• Добијени резултати о продуктима сагоревања у овом истраживању показали су да дуванска стабљика, као и сви остали испитивани узорци биомаса, емитују количине гасова у границама вредности прописаних Уредбом о граничним вредностима емисија загађујућих материја у ваздуху.

• Испитивањем биомасе дуванских стабљика установљено је да садрже $715,6 \text{ ppm}$ никотина прерачунато на суву супстанцу стабљике. Анализом продуката сагоревања брикета констатовано је да је количина никотина у димном гасу знатно нижа ($< 10 \text{ ppm}$), што је далеко испод вредности која је прописана регулативом Европске уније.

• Расположена количина стабљика дувана типа Берлеј у 2015. години износила је 1.640 тона. Исплативост примене стабљика дувана Берлеј се огледа у чињеници да није потребно уложити додатна средства за транспорт са њива, нити за енергију неопходну за сушење да би се употребиле као биогориво, као што је то случај са другим врстама биомасе.

На основу свих изнетих резултата испитиваних карактеристика стабљика дувана типа Берлеј и поређења са карактеристикама осталих испитиваних облика биомасе, а на основу разматрања могућности увођења стабљика дувана типа Берлеј у укупни потенцијал пољопривредне биомасе као биогорива у Србији, може се закључити и препоручити њихово коришћење у термоенергетске сврхе, преко производње брикета, чиме се добија еколошки прихватљив и енергетски вредан производ.



*“Свет сутрашњице није предодређен да буде ни добар ни лош.
Он ће бити онакав какавим га ми створимо.”*

*Džon Mekonel,
Vodič za staratelje planete Zemlje (1915-2012)*

9. ЛИТЕРАТУРА

- Adediran, J.A., Mnkeni, P.N.S., Mafu, N. C., Muyima, N.Y.O. (2006): Changes in chemical properties and temperature during the composting of tobacco waste with other organic materials, and effects of resulting composts on lettuce (*Lactuca sativa* L.) and spinach (*Spinacea oleracea* L.). *Biological Agriculture & Horticulture*. AB Academic Publishers.
- Alagić, S.Č., Šerbula, S.S., Tošić, S.B., Pavlović, A.N., Petrović, J.V. (2013): Bioaccumulation of Arsenic and Cadmium in Birch and Lime from the Bor Region. *Arch Environ Contam Toxicol* 65(4): 671-682.
- Alagić, S.Č., Dimitrijević, M., Grujić, A. (2014): Mehanizmi fitoremedijacije perzistentnih organskih zagađivača: trihloretilena i polihlorovanih bifenila iz kontaminiranih zemljišta. *Ecologica* 73(21): 61-66.
- Alloway, B.J. (1990): *Heavy Metals in Soils*. Blackie, Glasgow and London, Halsted Press, John Wiley & Sons, Inc., New York, pp: 1-339.
- Aličić, M. (2011): Naučni rad. NSČ "Rudarstvo", Rudarski institut Tuzla ISSN 0353-9172 UDK 622: 53-56.
- Altieri, A. (1995): *Agroecology the science of Sustainable Agriculture*. Boulder, Colo. Westview Press, London.
- An EU Strategy for Biofuels - Impact Assessment. (2006): Commission Staff Working Document, Annex to the Communication from the Commission, COM, 34 final.
- Anukam, I.A. (2017): Studies on Characterization of Corn Cob for Application in a Gasification Process for Energy Production *Hindawi Journal of Chemistry* Volume 2017, Article ID 6478389, pages <https://doi.org/10.1155/2017/6478389>
- Anwar, Z., Gulfraz, M., Irshad, M. (2014): Agro-industrial lignocellulosic biomass a key to unlock the future bio-energy: A brief review. *J. Radiat. Res. Appl. Sci.* 7: 163-173.
- Арсић, М. (2019): Тешки метали у земљишту потенцијалних локалитета за производњу дувана у Врањској котлини. Магистарска теза. Универзитет у Нишу. Факултет заштите на раду у Нишу, Ниш.
- Babić, V., Milovanović, Z., Škundrić, J., Tintor. V. (2017): Preserving Clean Air in the Urban Areas by Combusting Wooden Biomass Using Banja Luka as an Example, VI Regional Conference „Industrial Energy and Environmental Protection in South Eastern European Countries”.
- Babić, V., Milovanović, Z. (2017): Biomasa kao zamjena za fosilna goriva u sistemima daljinskog grijanja Naučno-stručni simpozijum Energetska efikasnost, ENEF 2017, Banja Luka.
- Badger, P.C. (1999): *Solid Fuels*. CIGR Handbook of Agricultural Engineering, (V), Energy & Biomass Engineering, ASAE, eds. Kitani, O., pp. 248-288.
- Балалић, И. (2012): Водич за органску производњу сунцокрета, ГИЗ ГмбХ, Београд, Србија, стр. 24.
- Bandosz, T. J. (2007): Catalytic adsorbents obtained from municipal sludges, industrial sludges, compost and tobacco waste and process for their production. United States Patent Application.

- Банковић, С., Медаревић, М., Пантић, Д., Петровић, Н. (2009): Национална инвентура шума Републике Србије - шумски фонд Републике Србије, Министарство пољопривреде шумарства и водопривреде Републике Србије - Управа за шуме, Београд.
- Basu, P. (2013): Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction, Second Edition. Elsevier, USA.
- Bayer, E.A., Lamed, R., Himmel, M. (2007): The potential of cellulases and cellulosomes for cellulosic waste management. *Current Opinion in Biotechnology* 18: 237-245.
- Beare, M.H., Cameron, K.C., Williams, P.H., Doscher, C. (1997): Soil quality monitoring for sustainable agriculture. *Proceedings of a Workshop*. Lincoln University, New Zealand.
- Berndes, G., Hoogwijk, M., Broek, R. (2003): The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy* 25: 1-28.
- Blazquez, G., Calero, M., Ronda, A., Tenorio, G., Martin-Lara, M.A. (2014): Study of kinetics in the biosorption of lead onto native and chemically treated olive stone. *J. Ind. Eng. Chem.* 20: 2754-2760.
- Богдановић, Д., Убавић, М., Хаџић, В. (1997): Тешки метали у земљишту, у: Р. Кастори (ур.), Тешки метали у животној средини, Научни институт за ратарство и повртарство, Нови Сад, стр. 97-152.
- Богдановић, Д., Лазић, С., Белић, М., Нешић, Ј., Цирић, В., Чабиловски, Р. (2014): Узорковање земљишта и биљака за агрохемијске и педолошке анализе, Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет.
- Bonefačić I. (2012): Analiza utjecaja oblika i veličine čestica biomase pri izgaranju. *Doktorska disertacija*, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Rijeka.
- Бошњак, Ђ., Пејић, В., Панић, Ж., Максимовић, Л. (1991): Водни биланс – реалан приступ заливног режима соје. *Зборник радова Института за ратарство и повртарство*. Пољопривредни факултет у Новом Саду. Сци., 19: 107-118.
- Бркић, М., Бабић, М., Сомер, Д. (1995): Алтернативни извори енергије у пољопривреди и заштита животне средине, *Зборник радова са саветовања ЕКО-ЕК"95: „Биоенергетска репродукција у пољопривреди”* (Биомаса), ИП „Младост”, Еколошки покрет, Београд, стр. 151-161.
- Бркић, М., Јанић, Т. (2000): Биомаса као извор сировина, ђубрива, сточне хране и енергије, *Трактори и погонске машине*, 5(2): 23-28, Нови Сад.
- Бркић, М., Тешић, М., Јанић, Т., Фурман, Т., Мартинов, М. (2007): Студија - Потенцијали и могућности брикетирања и пелетирања отпадне биомасе на територији покрајине Војводине. Универзитет у Новом Саду -Пољопривредни факултет.
- Brohi, A.R., Karaman, M.R., Aydeniz, A. (1998): Determination of the utilization of nitrogen from tobacco waste by wheat crop with ¹⁵N Tracer Technique. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*. 22: 593-600.
- Capablo, J., Jensen, A.P., Pedersen, H.K., Hjuler, K., Nikolaisen, L., Backman, R., Frandsen, F. (2009): Ash Properties of Alternative Biomass, *Energy & Fuels*, 23: 1965-1976.
- CEI - Central European Initiative. (2013): A country-based consultation for the growth of local economies by producing advanced bio-fuels and by rural innovation, Stakeholders' Meeting - The Republic Serbia, Belgrade.
- Chun - Yang, Y. (2011): Prediction of higher heating values of biomass from proximate and ultimate analyses, *Fuel*, Volume 90(3), pp. 1128-1132.

- Civilini, M., Domenis, C., Sebastianutto, N. (1997): Nicotine decontamination of tobacco agro-industrial waste and its degradation by micro-organisms. *Waste Manage Res.* 15, pp. 349-58.
- Cindrić, I. (2016): *Rasplinavanje biomase, Završni rad, Karlovac.*
- Curtis, C., Novotny, E.T., Lee, K., Freiberg, M., McLaughlin, I. (2017): Tobacco industry responsibility for butts: a Model Tobacco Waste Act. *Tob Control* 26, pp. 113-117.
- Цветановић, С., Младеновић, И. (2015): Економија капитала и финансирање развоја, Ниш: Сопствено издање, стр. 105.
- Цветковић, О., Пивић, Р., Динић, З., Максимовић, Ј., Трифуновић, С., Белетовић, Ж. (2016): Хемијско испитивања мискантуса гајеног у Србији - Потенцијални обновљиви извор енергије. *Заштита Материјала* 57 (3), pp. 412-417.
- Čudić, V., Kisić, D., Stojiljković, D., Jovović, S. (2007): Ash from thermal power plants as secondary raw material, *Arh Hig Rada Toksikol* 58, pp. 233-238.
- Čuvarđić, M., Sekulić, P., Mihaljev, Ž., Živkov-Baloš, M., Čupić, Ž. (2006): Essential and Toxic Elements in Soils, Feed and Food in Vojvodina Province, in *Proceedings of the International Symposium on Trace Elements in the Food Chain, Budapest, Hungary*, pp. 220-224.
- Тојбашић, Љ., Стефановић, Г., Стојиљковић, М. (2011): Збирка задатака из техничких материјала, Машински факултет у Нишу. Ниш
- Demirbas, A. (1997): Calculation of higher heating values of biomass fuels. *Fuel* 76(5), pp. 431-434.
- Demirbas, A. (2001a): Relationships between lignin contents and heating values of biomass. *Energy Conversion & Management* 42:183-188.
- Demirbas, A. (2001b): Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemical. *Energy Conversion and Management* 42: 1357-1378.
- Demirbas, A. (2004a): Effect of initial moisture content on the yields of oily products from pyrolysis of biomass. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 71: 803-815.
- Demirbas, A. (2004b): Combustion characteristics of different biomass fuels, *Prog Energy Combust Sci* 30: 219-230.
- Demirbas, A. (2005): Fuel and combustion properties of bio-wastes. *Energy Sources* 27: 451-462.
- Demirbas, M.F., Balat, M., Balat, H. (2009): Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. *Energy Conversion and Management* 50: 1746-1760.
- Денчић, С., Кобилски, Б., Младенов, Н., Пржуљ, Н. (2009): Производња, приноси и потребе за пшеницом у свету и код нас. Институт за ратарство и повртарство, Нови Сад, Зборник радова 46: 367-377.
- Деспотовић, Ж., Јовановић, М., Стевановић, И. (2016): Могућност коришћења обновљивих извора енергије у пољопривреди у Републици Србији. Међународни научни скуп, Одржива пољопривреда и рурални развој у функцији остваривања стратешких циљева Републике Србије у оквиру дунавског региона - развој и примена чистих технологија у пољопривреди, Београд.
- Долијановић, Ж., Ковачевић, Д., Ољача, С., Поповић, Ј., Симић, Д. (2018): Принос и хемијски састав зрна озиме пшенице у органској и конвенционалној технологији гајења. Зборник научних радова Института ПКБ Агроекономик, 24 (1-2):139-144.
- Doran, J.W., Sarrantonio, M., i Liebig, M.A. (1996): Soil health and sustainability. In: Donald L. Sparks (Ed.). *Advances in agromomy*. Academic Press, pp. 1-54.

- Dragović, S., Maksimović, L., Karagić, Đ. (1996): Effect of sprinkler and furrow irrigation on sunflower seed yield and quality. u: International Sunflower Conference (14th), Beijing-Shenyang, PR China, Vol. 1: 389-394.
- Драговић, С., Максимовић, Л., Радојевић, В., Цицмил, М. (2006): Наводњавање у биљној производњи. Партенон. Београд, пп.133-152.
- Dragović, S. (2008): Effect of irrigation on field crops yield under the variable agro-climatic conditions of Serbia, *Agriculture & Forestry*, 54 (1-4): 25-40.
- Ђевић, М., Димитријевић, А., Блажин, Д., Блажин, С. (2008): Могућности коришћења остатака из прераде воћа као горивног материјала. Часопис за процесну технику и енергетику у пољопривреди / ПТЕП, 12(3): 111-114.
- Ђорђевић, М. (1981): Анализа одређивања садржаја никотина у дувану методом гасне хроматографије. Дувански гласник. Научно стручно информативни гласник дуванске привреде, број XVII: 22-24. Београд.
- Ђорђевић, Б., Валент, В., Шербановић, С. (1990): Термодинамика и термотехника, друго допуњено издање. Грађевинска књига, Београд.
- Ђуланчић, Н. (2013): Obrada i prerada duhana. Univerzitetski užbenik, Sarajevo.
- Ђурић, Н., Кресовић, Б., Гламочлија, Ђ. (2015): Системи конвенционалне и органске производње ратарских усева. Монографија. Издавач, ПКБ Агроекономик, Београд.
- Ђуришић-Младеновић, Н., Предојевић, З., Шкрбић, Б. (2016): Конвенционална и напредна течна биогорива, *Хемијска индустрија*, 70(3), стр. 225-241.
- European Commission, EU energy, transport and GHG emissions trends to 2050, EU Reference scenarion 2013, European Union, pp 35.
- European Committee for Standardization (2014): EN ISO 17225-2:2014, Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 2: Graded wood pellets.
- Ећим-Ђурић, О., Радојичић, В., Мижиловић, И., Кулић, Г. (2014): Effects of tobacco stalks briquettes combustion on air pollution. Proceedings of the IV International Conference Ecology of Urban Areas, Zrenjanin, Serbia, pp. 55-62.
- Гајић, М., Којић, М., Караџић, Д., Васиљевић, М., Станић, М. (1992): Вегетација Националог Парка Тара. Шумарски факултет-Београд
- Gaderer, M., Spliethoff, H. (2011): Thermische Nutzung von Biomasse und Reststoffen in Deutschland. In: *Chemie Ingenieur Technik*, 83(2011). /Gasification Guideline 2009/ Guideline for Safe and Eco-friendly Biomass Gasification, Intelligent Energy for Europe Programme (contract number EIE06078). November 2009.
- Gani, A., Naruse, I. (2007): Effect of cellulose and lignin content on pyrolysis and combustion characteristics for several types of biomass. *Renewable Energy* 32, pp. 649-661.
- García, R., Pizarro, C, Lavín, A.G., Bueno, J.L. (2014): Spanish biofuels heating value estimation. Part II: Proximate analysis data. *Fuel* 117: 1139-1147.
- Gibson L., Benson, G. (2002): Origin, history, and uses of corn (Zea mays), Iowa State University, Department of Agronomy, Ames, USA.
- Главоњић, В. (2011): Дрвна горива, врсте, карактеристике и погодности за грејање. Podgorica, Republika Crna Gora.
- Гламочлија, Ђ., Спасић, М., Цвијановић, Г. (2010): Реакција сорти соје на повећане количине азота. Зборник научних радова Института за ратарство и повртарство, стр. 58-66.

- Гламочлија, Ђ. (2012): Посебно ратарство, жита и зрнене махунарке. Пољопривредни факултет, Београд.
- Grieco, E, Baldi, G. (2011): Analysis and modelling of wood pyrolysis. *Chemical Engineering Science* 66(4): 650-660.
- Grover, P.D, Mishra, S.K. (1996): Biomass briquetting: Technology and practices, Regional wood energy development programme in Asia, Bangkok, Thailand.
- Гулич, М., Бркић, Љ., Перуновић, П. (1991): Парни котлови. Машински факултет. Београд.
- Gvozdenović, S., Joksimović, J. Škorić, D. (2005): Gene effect and combining abilities for plant height and head diameter in sunflower. *Genetika*, pp. 37.
- Гвозденац, Д., Накомчић - Смарагдакис, Б., Гвозденац-Урошевић, Б. (2010а): Обновљиви извори енергије, ФТН издаваштво, Нови Сад.
- Hardy, T. (2012): „Negative effects of biomass combustion and cocombustion in boilers“, *Environment Protection Engineering* 38 (1): 25-33.
- Hartmann, H., Thuncke, K., Holdrich, A., Roßmann, P. (2003): *Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen*. Gulzow, Nemačka: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
- Hartmann, 2004/ Hartmann, H.; Schmid, V.; Link, H.; von Puttkamer, T.; Unterberger, S.; Hering, T.; M., P.; Thrän, D.; Härdtlein, M.: Verbrennung. In: Härdtlein, M.; Eltrop, L.; Thrän, D. (Hrsg.), (2004): Voraussetzungen zur Standardisierung biogener Festbrennstoffe. Teil 1: Brennstoffeigenschaften, Auswirkungen und Einflussnahmemöglichkeiten. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Bd. 23. Münster: Landwirtschaftsverlag.
- Хладни, Н. (2010): Гени и принос сунцокрета (монографија). Задужбина Андрејевић, посебна издања, стр. 1-116.
- Hoffert, M.I., Caldeira, K., Jain, A.K., Haites, E. F., Harve, L.D., Potter, S.D.D., Schlesinger, M.E., Schneider, S.H., Watts, R.G., Wigley, T.M.L., Wuebbles, D.J. (1998): Energy implications of future stabilization of atmospheric CO₂ content. *Nature* 395: 881-884.
- Horváth, B., O. Opara-Nadi, Beese, F. (2005): A simple method for measuring the carbonate content of soils. *Soil Science Society of America Journal* 69: 1066-1068.
- Hunt J.M., (1996): *Petroleum Geochemistry and Geology*, Second edition. W.H. Freeman, pp. 743.
- Илић, Т. (2014): Основи технологије биљних производа, Висока школа примењених струковних студија, Врање, стр. 1-22.
- International Energy Agency, <http://www.iea.org/aboutus/>.
- IPCC, 2007: *Climate Change (2007): Synthesis Report*. Contribution of Working groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (eds.)). IPCC, Geneva, Switzerland.
- Isobe, Y., K. Yamada, Q. Wang, K. Sakamoto, I. Uchiyama, T. Mizoguchi and Y. Zhou (2010): Measurement of Indoor Sulfur Dioxide Emission from Coal-Biomass Briquettes.
- Јаћимовић, Г., Малешевић, М., Богдановић, Д., Маринковић, Б., Црнобарац, Ј., Латковић, Д., Аћин, В. (2009): Принос пшенице у зависности од дугогодишњег заоравања жетвених остатака. *Летопис научних радова, Пољопривредни факултет Нови Сад*, 33: 85-92.
- Јаћимовић, Г., Аћин, В., Миросављевић, М., Црнобарас, Ј., Маринковић, В., Латковић, Д. (2016): Long-term effects of straw incorporation and increasing doses of nitrogen on the wheat yield. VII

International Scientific Agriculture Symposium "Agrosym 2016", October 06-09, 2016, Jahorina, University of East Sarajevo, Faculty of Agriculture, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina. Book of Proceedings, pp. 644-649.

Jaiswal, A. (2015): A Comprehensive Review on Pre-treatment. Strategy for Lignocellulosic Food Industry Waste : Challenges and Opportunities.

Јанић, Т. (2000): Кинетика сагоревања балиране пшеничне сламе, Докторска дисертација, Пољопривредни факултет, Нови Сад.

Јанић, Т., Бркић, М., Игић, С. (2006б): Утицај хемијско-физичких карактеристика балиране биомасе на конструкцију котловских постројења. Ревизија агрономска сазнања 16(5): 7-10.

Јанић, Ј, Тица, Н., Зекић, В., Јањатовић, З., Игић, С. (2013): Оправданост изградње ЦХП постројења на биомасу у ТЕ-ТО Зрењанин, Савремена пољопривредна техника, 39 (4): 205-268.

Јанковић, М., Цвјетићанин, П. (2012): Фагалес. У: Флора Србије 2 (Ед. Стевановић, В.), стр. 101- 141.

Јемцев, В., Ђукић, Д. (2000): Микробиологија. - Војноиздавачки завод, Београд.

Joshi, M. (2015): Textbook of field crops, PHI Learning private limited Ltd., Delhi, India, pp. 580.

Jordanovska, S., Jovović, Z., Dolijanović Ž., Dragičević, V., Branković G., Đekić V. (2018): Nutritional properties of macedonian landraces of small grain cereals as a source of new genetic variability. Genetics 50 (3): 863-883.

Јовановић, Б., Крстић, М., Кнежевић, М., Јоксимовић, В., Цвјетичанин, Р., Кошанин, О., Здравковић, М. (2005): Таксономија, еколошки услови и шумске заједнице. У Буква (Фагус моесица /Домин, Маллу/Цзецзотт.) у Србији (ед. Стојановић). Удружење шумарских инжењера и техничара, стр. 75-137.

Јовановић, Б., Паровић, М. (2009): Стање и развој биомасе у Србији. Јеф ферсон Институте, Београд.

Junginger, M., Bolkesjo, T., Bradley, D., Dolzan, P., Faaij, A., Heinimo, J., Hektor, B., Leistad, O., Ling, E., Reggu, M., Piacente, E., Rosillo-Calle, F., Ryckmans, Y., Schouwenberg, P., Solberg, B., Tromborg, E., Walter, A., Wit, M. (2008): Developments in international bioenergy trade. Biomass and Bioenergy 32: 717-729 .

Jun, W., Dingqiang, L., Hui, Z., Ben, J., Jiali, W., Xiuquan, L., Hong, C., Pingkai, O. (2010): Discrimination and classification of tobacco wastes by identification and quantification of polyphenols with LC-MS/MS. J. Serb. Chem. Soc. 75: 875-891.

Kanevče, G., Dedinec, A., Dedinec, A. (2016): Optimal Usage of Biomass for Energy Purposes Toward Sustainable Development - A Case of Macedonia, Thermal Science, 20 (1): S77-S91.

Кастори, Р. (1983): Улога елемената у исхрани биљака. Матица српска, Нови Сад.

Кастори, Р., Петровић, Н. (1993): Утицај тешких метала на биљке. Тешки метали и пестициди у земљишту, Зборник, Пољопривредни факултет, Институт за ратарство и повртарство, Нови Сад, стр. 55-72.

Кастори, Р. Петровић, Н., Максимовић-Арсенијевић, И. (1997): Тешки метали и биљке, у: Р. Кастори (ед.), Тешки метали у животној средини, Научни институт за ратарство и повртарство, Нови Сад, стр. 197-257.

Кастори, Р. (1998): Физиологија биљака, Фељтон, Нови Сад.

Кастори, Р. Максимовић, И. (2008): Исхрана биљака, Војвођанска академија наука и уметности, Нови Сад.

- Kapadiya, S., Shilpkar, P., Shah, M. (2010): Biogas Potential of Tobacco (*Nicotiana Tabacum*) Stem Waste. *Journal Advances in Developmental Research* 1(1): 53-58.
- Каталог отпада (2010): Министарство заштите животне средине и просторног планирања и Агенција за заштиту животне средине Републике Србије.
- Коломејцева-Јовановић, Ј. (2010): Хемија и заштита животне средине, Еколошка хемија, Савез инжењера и техничара Србије, Београд.
- Комљеновић, И., Тодоровић, Ј. (1998). Опште ратарство. Универзитет у Бањој Луци.
- Kovacevic, D. (2003): *General Field*, Faculty of Agriculture, Belgrade, pp. 771.
- Kulić, G., Radojičić, V. (2011): Cellulose content in stalks and leaves of large leaf tobacco. *Journal of Agricultural Sciences* 56 (3): 207-215.
- Кресовић, Б., (2003): Утицај наводњавања и система обраде земљишта на производњу кукуруза. докторска дисертација, Пољопривредни факултет, Земун, Универзитет у Београду.
- Крунић-Лазвић, М., Видојевић, Д., Поповић, С. (2017): Привредни потенцијали и активности од значаја за животну средину у Републици Србији за 2015. годину - Индикаторски приказ. Министарство пољопривреде и заштите животне средине, Агенција за заштиту животне средине. Лаборатору гуиде фор цондуцтинг соил тестс анд планта анализис, Ј. Бентон Јонес, Јр., ЦРЦ Пресс, 2001.
- Latković, D., Marinković, B., Crnobarac, J., Berenji, J., Sikora, V., Jaćimović, G. (2015): Long-term effects of incorporation of crop residues and increasing doses of nitrogen on the maize yield. Sixth International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2015", October 15-18, 2015, Jahorina, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina. Book of proceedings, pp. 395-400.
- Lazaroiu, Gh., Oprea, I., Mihaescu, E., Prisecaru, T., Pisa, I., Negreanu, G., Mocanu, C.R. (2012): Biomass Briquettes from Pitcoal-Wood: Boiler Test Facility Combustion Case Study. *J Environ Prot Ecol*, 13 (2A): 1070.
- Leaver, R. (2001): Wood Pellet Fuel and The Residential Market, Andritz, Inc., Northeast Regional Biomass Program, U.S. Department of Energy (DOE).
- Lehtinen, T., Schlatter, N., Baumgarten, A., Bechini, L., Krüger, J., Grignani, C., Zavattaro, L., Costamagna, C. and Spiegel, H. (2014): Effect of crop residue incorporation on soil organic carbon and greenhouse gas emissions in European agricultural soils. *Soil Use Manage*, 30: 524-538.
- Lemon-Ortega, A., Sayre, K.D., Francis, C.A. (2000): Wheat and maize yields in response to straw management and nitrogen under a bed planting system. *Agron. J.* 92: pp. 295-302.
- Leuschner, Ch. (1998): Mechanismen der Konkurrenzüberlegenheit der Rotbuche. *Ber Reinh Tüxen-Ges.*, 10: 5-18.
- Ličina, V., Nešić, Lj., Belić, M., Hadžić, V., Sekulić, P., Vasin, J., Ninkov, J. (2011): The soils of Serbia and their degradation. *Field and vegetable crops research*, 48: 285-290.
- Li, Y., ZHOU, L.W., Wang, R.Z. (2017): Urban biomass and methods of estimating municipal biomass resources, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 80: 1017-1030.
- Lin, Y-F., Aarts, MGM. (2012): The molecular mechanism of zinc and cadmium stress response in plants. *Cell Mol Life Sci* 69: 3187-3206.
- Lindley, R.H., Smith, W.R., Thomas, J.Th. (1998): The relationship between speed of information processing as measured by timed paper-and-pencil tests and psychometric intelligence. *Intelligence* 12: 17-25.

- Лиовић, И, Поповић, Р, Кризманић, М, Биланцић, М, Иванишић, И, Мијић, А, Шимић, Б, Кризманић, Г. (2006): Утицај закидања бочних грана ресторер линија сунцокрета на урод и каквоћу сјемена. Сјеменарство 23 (4): 317-328.
- Lončarević, Z. Kadar, I. Jurković, Z. Kovačević, V. Popović, B. Karalić, K. (2012): Teškimetali od poljodostola (Heavy metals from farm to fork), Zbornik radova, 47. hrvatskii 7. međunarodni simpozij agronoma, Opatija, Hrvatska, str. 14-23.
- Lucheta, A.R., Lambis, M.R. (2012.): Sulfur in agriculture. Rev. Bras. Ciênc. Solo, 36: 1369-1379.
- Ly, D., Xu, M., Liu, X., Zhan, Z., Li, Z., Yao, H. (2010): Effect of cellulose, lignin, alkali and alkaline earth metallic species on biomass pyrolysis and gasification. Fuel Processing Technology, 91: 903-909.
- Marechal, V., Rigal, L. (1999): Characterization of by-products of sunflower culture - commercial applications for stalks and heads. Accepted 23 April. Industrial Crops and Products 10: 185-200. www.elsevier.com/locate/indcrop.
- Madejon P., Murillo J.M., Maranon T., Cabrera F., Lopez R. (2002): Bioaccumulation of As, Cd, Cu, Fe and Pb in wild grasses affected by the Aznalcollar mine spill (SW Spain), The Science of the Total Environment, 290: 105-120.
- Mađarić, Z. (1985): Suvremena proizvodnja pšenice. Knjiga, Osijek.
- Magdoff, F.R., Tabatabai, M.A., Hanlon, E.D. (1996): Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation. Soil Sci. 46: 21-31.
- Malnar, M., Radojčić, V., Ećim-Đurić, O. (2015): Comparative Analysis of Leaves and Stalks Chemical Composition of Large Leaf Tobacco Produced in Serbia. Proceedings of the IV International Conference Sustainable Postharvest and Food Technologies INOPTER and XXVII National Conference Processing and Energy in Agriculture PTER, Divčibare, Serbia, 19-24 April, pp. 128-133.
- Malnar, M., Radojčić, V., Kulić, G., Mandić, N., Skočić, S. (2016): The possibility of using burley tobacco stalks as a biofuel. Proceedings of the VII International Scientific Agricultural Symposium Agrosym 2016, Jahorina, Bosnia and Hercegovina, 6-9 October, pp. 2095-2100.
- Максимовић, Л., Пејић, Б., Милић, С., Радојевић, В. (2005): Ефекат наводњавања на евапотранспирацију и принос соје, Водопривреда, вол. 37(4-6): 239-244.
- Малешевић, М., Старчевић, Љ., Јаћимовић, Г., Ђурић, В., Шеремешкић, С., Милошев, Д. (2008): Принос озиме пшенице у зависности од услова године и нивоа ђубрења азотом. XIII Саветовање о биотехнологији, Чачак, 28-29. март 2008, Зборник радова, 13 (14), pp. 135-141
- Манојловић, М., Јаћимовић, Г. (2014): Значај заоравања жетвених остатака за квалитет земљишта, продуктивност и прилагођавање климатским променама. Научно-стручно саветовање „Добар дан домаћине“, 23. јануар 2014. г., Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет, Департаман за ратарство и повртарство. Тематски зборник радова, стр. 27-33.
- Маринковић, Р., Дозет, Б., Васић, Д. (2003): Оплемењивање сунцокрета (монографија). ДОО “Школска књига”, Нови Сад.
- Марковић, Д., Веселиновић, Д., Томић, В., Агатоновић-Малиновић, В. (2007): Испитивање тла, воде и ваздуха, Завод за уџбенике, Београд.
- Марковић, С. (2015): Примена симбиотских и несимбиотских инокуланата у производњи соје. Мастер рад. Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет, Нови Сад.
- Мартинов, М. (1982): Енергетски потенцијал споредних производа ратарства. Ин Проц. IV Интернационални симпозијум: Пољопривредно машинство и наука, стр. 497-513.

- Martinov, M., Đatkov, Đ, Golub, M., Viskovic, M., Bojic, S., Krstic, J. (2015): Plant for lignocellulosic bioethanol production in Serbia. Case study, Final report, Novi Sad, Serbia.
- Masarovicova, E., Stefanich, L. (1990): Some ecophysiological features in sun and shade leaves of tall beech trees. *Biol. Plant* 32: 374-387.
- Mason, W.K., G.A. (1981): Constable and R.c.G.Smith.Irrigation for crops in a subhumid environment. The water requirement of soybeans. *Irig. Sci.* 2: 13-22.
- Матић, М. (2004): Специфичности пољопривреде и важност агроекономске струке у тржишним увјетима пољопривредне производње, *Агрономски гласник*, 66 (6): 455-465.
- McKendry, P. (2002): Energy production from biomass (part 1): overview of biomass, *Bioresource Technology*, 83, pp. 37-46.
- Mcintyre, B. (2011): The best-laid plans: climate change and food security. *Climate and development*, 3, pp. 281-284.
- Мока, V.K. (2012): Estimation of calorific value of biomass from its elementary components by regression analysis, BТech thesis. Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Rourkela, Odisha. pp. 769-008.
- Mehlich, A. (1984): Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*.15: 1409-1416.
- Месаровић, М. (2007): Стратегија коришћења биомасе као обновљивог извора енергије. *Агрономска сазнања* 17: 1-3.
- Мијиловић, I., Radojičić, V., Ђим-Ђурић, O., Stefanović, G., Kulić, G. (2014): Energy potential of tobacco stalks in briquettes and pellets production, *Journal of Environmental Protection and Ecology* 15 (3), pp. 1034-1041.
- Мијић, А., Krizmanić, M., Liović, I., Bilandžić, M., Zdunić, Z., Kozumplik, V. (2005): Procjena kombinacijskih sposobnosti i genetskih učinaka za visinu biljke i promjer glave suncokreta. *Агрономски факултет, Свеучилиште, Загреб*, стр. 1-7.
- Миладиновић, Ј., Хрустић, М.И., Видић, М. (2008): Соја, монографија, Институт за ратарство и повртарство, Нови Сад и Соја протеин, Бечеј.
- Миладиновић, Ј. (2012): Водич за органску производњу соје, Институт повртарство и ратарство Нови Сад.
- Ministerial Council of the Energy Community (2012): "Decision on the implementation of Directive 2009/28/EC and amending Article 20 of the Energy Community Treaty," in D/2012/04/MC-EnC, Budva.
- Митић, Д. (1998): Физичке карактеристике биомаса и биобрикета Србије, Потенцијална еколошка горива, Монографија, Нови Сад - Ниш.
- Митић, Д., Станковић, М., Протић, М. (2009): Биомаса за топлотну енергију. Факултет заштите на раду Универзитета у Нишу. Ниш.
- Monti, A., Di Virgilio, N., Venturi, G. (2008): Mineral composition and ash content of six major energy crops, *Biomass and Bioenergy* 32: 216-223
- Мунђан, М., Пауновић, Т., Ђоковић, Ј. (2018): Утицај атмосферских падавина температуре ваздуха на приносе кукуруза породичних газдинстава Војводине. Зборник научних радова Института ПКБ Агроекономик, 24, 1-2: 23-30. XXXII Саветовање агронома, ветеринара, технолога и агроекономиста, Институт ПКБ Агроекономик, 21.02.-22.02.2018. Београд, Република Србија.

- Национални акциони план Републике Србије за коришћење ОИЕ. (2013): Службени гласник Републике Србије бр. 53/2013.
- Nagajyoti, P.C., Lee, K.D., Sreekanth, T.V.M. (2010): Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environ Chem Lett* 8: 199-216.
- Накомчић-Смарагдакис, Б., Чепић, З., Драгутиновић, Н. (2015): Енергетски потенцијал и значај коришћења пољопривредне биомасе у АП Војводини. 9. Интернационал Сциентифиц Конференце "Метрологу анд Quality ин Production Енџинееринг анд Енвиронментал Протектион" - ЕТИКУМ, Нови Сад, Србија, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, 19-20 Јун, стр. 85-88.
- Настић, П. (2014): Водич за органску производњу кукуруза, портал Агрономија.
- Ненадић, Н., Стикић, Р., Пекић, С. (1995): Однос соје према факторима спољне средине. Монографија. Соја - производња и прерада, стр 139-156. Београд.
- Николић, С.Р. Јовановић, М.Ј. Коцић, М.Г. Цветковић, П.Т. Стојановић, Р.С. Анђелковић, Д.Т. Крстић, С.Н. (2011): Праћење ефеката изложености олову и кадмијуму у радној И животној средини преко параметара стандардне биохемијске анализе крви и активности ендонуклеаза јетре, Хем. Инд. 65, стр. 403-409.
- Николић, М. (2004): Технологија прераде дувана, Пољопривредни факултет-Земун, Универзитет у Београду.
- Njit, M., Faaij, A. (2010): European biomass resource potential and costs. *Biomass and Biofuels* 34: 188-202.
- Novotny, E., Zhao, T.F. (1999): Consumption and production waste: another externality of tobacco use. *Tobacco Control*. 8: pp. 75-80.
- Nussbaumer, T., Hustad, J.E. (1997): Overview of Biomass Combustion, 1 In: Bridgewater AV, Woocock DGB, Developments in thermochemical biomass conversion, Chapman and Hall, London.
- Nussbaumer, T. (2001): Direkte Thermische Umwandlung (Verbrennung) - Grundlagen. In: Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. (Hrsg.). *Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken, Verfahren*. Berlin: Springer Verlag, pp. 288-322.
- Obernberger, I., Biedermann F., Dahl, J. (2000): Database Biobank, information about ashes from biomass combustion (physical and chemical characteristics), BIOS Consulting, Graz and the Institute of Chemical Engineering Fundamentals and Plant Engineering, Graz University of Technology, Graz, Austria.
- Obernberger, I., Bruner, T., Barnthaler, G. (2005): Aktuelle Erkenntnisse im Bereich der Feinstaubemissionen bei Pelletsfeuerungen. In *Proceedings of the 5th Wood Industry Forum* in Stuttgart, Germany. Deutscher Energie-Pellet-Verband e.v. and Solar Promotion GmbH, Germany, pp. 54-64,
- Obernberger, I., Bruner, T., Barnthaler, G., (2006): Chemical properties of solid biofuels-significance and impact, *Biomass and Bioenergy*, 30: 973-982.
- Obernberger, I., Supančić, K., (2009): Possibilities of ash utilisation from biomass combustion plants. *Proceedings of the 17th European Biomass Conference & Exhibition, June/July 2009, Hamburg, ETA-Renewable Energies (Ed.), Italy*.
- Obernberger, I., Thek, G. (2010): *The Pellet Handbook, The Production and Thermal Utilisation of Pellets*; ISBN: 978-1-84407-631-4; Ed. MPG Books, an ISO 14001 accredited company.
- Обратов-Петковић, Д., Бједов, И., Белановић, С. (2008): Тешки метали у листовима Хуперицум перфоратум Л. на серпентинским земљиштима Србије, Гласник Шумарског факултета, Београд, 98: 143-154.

- Обрачевић, Ч.(1990): Основи исхране домаћих животиња, Научна књига, Београд.
- Ogada, T., Werther, J. (1996): Combustion characteristics of wet sludge in a fluidized bed Release and combustion of the volatiles 75: 617-626.
- Okur, N., Kayıkçioğlu, H., Okur, B., Delibacak, S. (2008): Organic amendment based on tobacco waste compost and farmyard manure: influence on soil biological properties and butter-head lettuce yield. Turk. J. Agric. and For. 32: 91-99.
- Ољача, С., Долијановић, Ж. (2010): Практикум из Агроекологије. Пољопривредни факултет, Београд.
- Ољача, С.(2008): Агроекологија, (књига), Пољопривредни факултет, Београд.
- Omerović, M.R. (2012): Uticaj temperature i granulometrijskog sastava sorbenta (krečnjaka CaCO₃) na odsumporavanje dimnih gasova suhim aditivnim postupkom. Magistarska teza, Mašinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo.
- Orfao, J.J.M, Antune, F.J.A, Figueiredo, J.L. (1999): Pyrolysis kinetics of lignocellulosic materials- three independent reaction model. Fuel 78(3): 349-358.
- Остојић, Д. (1996): Еколошке вриједности брикета, Зборник радова, Значај и перспектива брикетирања биомасе, Врњачка Бања.
- Оторепец, С. (1980): Агрометеорологија, Нолит, Београд, Србија, стр. 230.
- Overend, R.P. (1996): Thermochemistry: The key to minerals separation from biomass for fuel use in high performance systems. In Proc. VTT Symposium 164, Power production from biomass with special emphasis on gasification and pyrolysis R&DD, Technical Research centre of Finland, Espo, pp. 345-351.
- Özturk, T., Bayraklı, M. (2005): The possibilities of using tobacco wastes in producing lightweight concrete. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal 7, Manuscript BC 05 006.
- Правилник о дозвољеним количинама опасних и штетних материја у земљишту и води за наводњавање и методама њиховог испитивања. Службени гласник РС, бр. 23/1994.
- Pracházková, B., Málek, J., Dovrtěl, J. (2002): Effect of different straw management practices on yields of continuous spring barley. Rostlinná Výroba, 48 (1): 27-32.
- Powlson, D.S., Riche, A.B., Coleman, K., Glendining, M.J., Whitmore, A.P. (2008): Carbon sequestration in European soils through straw incorporation: limitations and alternatives. Waste Management, 28: 741-746.
- Peševski, M., Iliev, B., Živković, D., Jakimovska-Popovska, V., Srbinoska, M., Filiposki, B. (2010): Possibilities for utilization of tobacco stems for production of energetic briquettes. Journal of Agricultural Sciences 55 (1): 45-54.
- Пешењански, И. (2000): Кинетика сагоревања пшеничне сламе, Магистарска теза, Пољопривредни факултет, Нови Сад.
- Panwar, N.L., Kothari, P., Tyagi, V.V. (2012): Thermo chemical conversion of biomass - Eco friendly energy routes. Renewable and Sustainable Energy Review, 16: 1801-1816.
- Pereira, E.G., da Silva, J.N., de Oliveira, J.L., Machado, C.S. (2012): Sustainable energy: A review of gasification technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16: 4753-4762.
- Predić, T. (2011): Praktikum agrohemiја i ishrana biljaka, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Banjaluci, Republika Srpska.
- Qadir, G., Hassan, F.U., Malik, M.A. (2007): Growing degree days and yield relationship in sunflower (*Helianthus annuus* L.), International journal of agriculture & biology, 9 (4): 564-568.

- Radanović, D. Antić - Mladenović, S. Nastovski. T. (2006): Influence of soil characteristics and nutrient supply on medicinal and aromatic plants. Proceedings from the Third Conference on Medicinal and Aromatic Plants of Southeast European Countries, Belgrade, Serbia, pp. 20-28.
- Радовановић М. (1994): Горива. Машински факултет, Универзитет у Београду, Београд.
- Радовановић, М., Станојевић, Г., Стјилковић, Д., Јеремич, Н. (1995): Лаки биобрикети - нова технологија, Зборник радова: „Биомаса”, ИПП „Младост”, Еколошки покрет Југославије, Београд, стр. 177-189.
- Radojčić, V., Nikolić, M., Ićitović, S. (2008): Some possibilities of tobacco waste utilization, Ecological truth 08. 01.-04. Jun, Soko Banja. Proceedings, pp. 481-484.
- Radojčić, V., Nikolić, M., Ićitović, S. (2009a): Environmental protection and possibilities of tobacco waste recycling. Simposium „Recycling technologies and sustainable development“, 03.-06.11., Kladovo, Proceedings, pp. 517 -522.
- Radojčić, V., Milošević, M., Tomašević, B. (2009b): Tobacco waste management in Serbia. Ecological truth 09. 31.05.-02.06., Kladovo, Proceedings, pp. 218 -221.
- Радојичић, В. (2011): Контрола квалитета дувана. Практикум из технологије обраде дувана, Београд.
- Radojčić, V., Ećim-Djurić, O., Djulančić, N., Srbinoska, M., Kulić, G. (2014a): The Possibility of Using Burley Tobacco Stalks as Biomass. Proceedings of the XXII International Scientific and Professional Meeting Ecological Truth, Bor, Serbia, 10-13 June, pp. 284-290.
- Radojčić, V., Ećim-Djurić, O., Srbinoska, M., Djulančić, N., Kulić, G. (2014b): Possibilities of virginia tobacco stalks utilization, Tutun/Tobacco 64 (7-12): 71-76.
- Радојичић, В. (2016): Технологија дувана. Универзитет у Београду. Пољопривредни факултет, Београд.
- Радојичић, Н. (2011): Производња дувана - организациони и економски аспекти. Билтен за алтернативне биљне врсте 43 (84): 1-24.
- Република Србија, Министарство енергетике, развоја и заштите животне средине, Национални акциони план за коришћење обновљивих извора енергије Републике Србије, Београд, 2013, стр.4.
- Република Србија, Министарство енергетике, развоја и заштите животне средине, Национални акциони план за коришћење обновљивих извора енергије Републике Србије, 2013, стр. 7.
- Република Србија, министарство енергетике, развоја и заштите животне средине, Национални акциони план за коришћење обновљивих извора енергије Републике Србије, Београд, 2013, стр. 18.
- Renewable Energy in Europe. (2010): Markets, trends and technologies, European Renewable Energy Council, Intelligent Energy Europe.
- Rosentrater, K.A, Todey, D., Persyin, R. (2009): Quantifying Total and Sustainable Agricultural Biomass Resources in South Dakota-A Preliminary Assessment. Agricultural Engineering International 11: Manuscript 1059-1058-1.
- Ружичић, Л., Костадиновић, Љ., Ољача, М., Глигоревећ, К., Фиштер, С., Јуришић, Б., Бојат, Н. (2011): Алтернативни извори енергије и заштита животне средине. Први симпозијум о управљању природним ресурсима са међународним учешћем. Факултет за менаџмент, Мегатренд универзитет, Бор, стр. 178-186.

- РЗС (2013): Попис пољопривреде 2012: Пољопривреда у Републици Србији: Књига И, Републички завод за статистику Србије, Београд, Србија, п. 239, доступно на: [хтп://под2.стат.гов.рс/Објављене Публикације/Попис2012/ПП-књига1.пдф](http://под2.стат.гов.рс/Објављене Публикације/Попис2012/ПП-књига1.пдф)
- РЗС (2013): Попис пољопривреде 2012.: Пољопривреда у Републици Србији: Књига I, Републички завод за статистику Србије, Београд, Србија, пп. 239.
- Saidur, R., Abdelaziz, E.A., Demirbas, A., Hossain, M.S., Mekhilef, S. (2011): A review on biomass as a fuel for boilers, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: 2262-2289.
- Сакс, Ц. (2014): Доба одрживог развоја, Београд: Центар за међународну одрживу сарадњу - ЦИРСД и Службени гласник, стр. 186.
- Sarma, H. (2011): Metal Hyperaccumulation in Plants: A Review Focusing on Phytoremediation Technology. *J Environ Sci Technol* 4(2): 118-138.
- Scharpf, H.C., Wehrmann, J. (1975): Die Bedeutung des Mineralstickstoffvorrates des Bodens zu Vegetationsbeginn für die Bemessung der N-Düngung zu Winterweizen. *Landwirtschaftlicher Forschung*. 32: 100-114.
- Schieber, B., Janík, R., Snopková, Z. (2013): Phenology of common beech (*Fagus sylvatica* L.) along the altitudinal gradient in Slovak Republic (Inner Western Carpathians). *Journal of Forest Science*, 59 (4): 176-184.
- Sheng, C., Azevedo J.L.T. (2005): "Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data", *Biomass and Bioenergy*, 28 (5): 499-507.
- Shakhes, J. Marandi, M.A.B., Zeinaly, F., Saraian, A., Saghafi, T. (2011): Tobacco Fibers for Paper, *Bioresources*, pp. 4481-4493.
- Sippula, O., Lind, T., Jokiniemi, J. (2008): Effects of chlorine and sulphur on particle formation in wood combustion performed in a laboratory scale reactor. 87: 2425-2436.
- Sjaak, V.L., Koppejan, J. (Ed.), (2008): *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing*, ISBN 978-1-84407-249-1, Earthscan, London, UK.
- Sjeran, N., Božović, Č., Bugarin, Ž., Nuneski, R. (2008): Proizvodnja Berleja u proizvodnom rejonu Podgorice. Institut za Tutun -Prilep, R. Makedonija. *Tutun/Tobacco*, 58 (3-4): 96-102.
- Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soluanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., Sumner, M.E. (1996): *Soil Science Society of America, Inc., and American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, USA*, pp. 475-490, pp. 639-664.
- Speight, J.G. (2015): *Handbook of Coal Analysis; Chemical Analysis: A Series of Monographs on Analytical Chemistry and Its Applications (2nd edition)*. Wiley, ISBN: 1119038324, 9781119038320.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D. (2012): Crop yield response to water, *FAO irrigation and drainage paper no. 66*, FAO, Rome, Italy, pp. 505.
- Steenari, B.M. (2009): Investigation of Ash Sintering during Combustion of Agricultural Residues and the Effect of Additives. *Energy & Fuels*. 23(11): 5655-5662.
- Стевановић, С. (2009): Развој тржишне производње у пољопривреди Републике Србије, ДАЕС, Пољопривредни факултет, Универзитета у Београду, Београд, Србија, пп. 222.
- Stevovic, S. (2010), Environmental impact on morphological and anatomical structure of Tansy, *African Journal of Biotechnology*, 9 (16): 2413-21.
- Stevovic, S., Dervnja, N., Dragosavac, D. (2013), Environmental impact quantification and correlation between site location and contents and structure of Tansy, *African Journal of Biotechnology* 10 (26): 5075-83.

Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. године, Службени гласник Републике Србије бр. 101/2015. (2015).

Stockinger, H. Obernberger I. (1998): Systemanalyse der Nahwärmeversorgung mit Biomasse. Book series Thermische Biomassenutzung, vol.2, ISBN 3-7041-0253-9, dbv - publisher of Graz University of Technology, Graz, Austria.

Swedish standards Institute SIS (SS 187120, 1998). Biobränslen och torv-Bränslepellets-Klassificering (Biofuels and peat-fuel pellets-classification). Stockholm, Sweden. 3 pp (in Swedish).

Службени гласник РС, бр. 23/1994

Службени гласник РС, бр. 30/97, 35/97

Службени гласник РС, бр. 5/06

Службени гласник РС, бр. 111/2009

Службени гласник РС, бр. 62/2006, 65/2008 и 41/2009

Службени гласник РС, бр. 135/2004, 36/2009, 72/2009, 43/2011

Службени гласник РС, бр. 36/2009 и 10/2013

Службени гласник РС, бр. 53/2013

Службени гласник РС, бр. 101/2015

Службени гласник РС, бр. 6/2016

Шкрбић, Б. (2002): Технологија производње и примене гаса. Универзитет у Новом Саду, Технолошки факултет у Новом Саду, Нови Сад.

Штрбац, Д.Д., Гвозденац, Б.Д., Миросављевић, З.Д. (2011): Енергија и окружење, скрипта. Департман за инжењерство заштите животне средине и заштите на раду. Факултет техничких наука.

Tahir, M.H.N, Sadaqat, H.A, Bashir, S. (2002): Correlation and path coefficient analysis of morphological traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.) Populations. *Int. J. Agri. Biol.*, 4 (3): 341-343.

Трнинић, М. (2015): Modeling and optimization of corn cob purlousis, Ph.D. diss. Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд.

Tso, T.C. (1990): Production, Physiology and Biochemistry of Tobacco Plant, Ideals, Inc., Beltsville, MD.

Убавић, М. Богдановић, Д. (2001): Агрохемија, Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет, Институт за ратарство и повртарство.

United Nations. (1997): United Nations Framework Convention on Climate Change, Kyoto Protocol.

Узуноски, М. (1987): Производња дувана, ГРО „Просвета“, Ниш, стр. 49-58.

Vassilev, S., Bexter, D., Andersen, L.K., Vassileva C.V. (2010): An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel* 89 (5): 913-933.

Van Eijk, R.J., Obernberger, I. Supancic, K. (2012): Options for increased utilization of ash from biomass combustion and co-firing, 30102040-PGR/R&E 11-2142, IEA Bioenergy Task 32, Deliverable D4, KEMA Nederland B.V., Arnhem, the Netherlands.

Vamerali, T., Bandiera, M., Mosca, G. (2010): Field crops for phytoremediation of metal-contaminated land. A review. *Environ Chem Lett* 8, 1-17.

- Vamvuka, D., Sfakiotakis, S. (2011): Combustion behaviour of biomass fuels and their blends with lignite.
- Vigouroux, R.Z. (2001): Pyrolysis of biomass. Ph.D. diss, Department of Chemical Engineering and Technology, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Војводић, Д., Живановић, Љ., Вујадиновић, М., Икановић, Ј., Жарковић, Б. (2018): Утицај климатских промена на принос зрна ПКБ хибрида кукуруза. Зборник научних радова Института ПКБ Агроекономик, XXXII Саветовање агронома, ветеринара, технолога и агроекономиста, Институт ПКБ Агроекономик, 21.02.-22.02.2018. Београд, Република Србија. 24 (1-2): 11-22.
- Вратарић, М. (1986): Производња соје, НИРО "Задругар", стр. 49-58.
- Viglasky, J. (1999): Biomass as energy source, Journal of Electrical and Power Engineering, 5 : 15-16, Bratislava.
- Вишковић, М., Голуб, М., Ђатков, Ђ., Бојић, С., Мартинов, М. (2012): Укупан и расположив принос жетвених остатака пшенице.
- Вучетић, И.Ј., Крстић, Т.Љ. (2000): Минералне супстанце у исхрани и њихов биолошки значај, Веларта, Београд.
- Wang, L., J.E. Hustad, and Grønli M. (2012): Sintering Characteristics and Mineral Transformation Behaviors of Corn Cob Ashes. Energy & Fuels, 26 (9): 5905-5916.
- Watanabe, F.S., and Olsen. S.R. (1965): Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from the soil. Soil Science Society of America, 29: 677-678.
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D.H., Zheng, C. (2007): Characteristics of hemicellulose, Zorica Lopicic, dipl.ing. tehnologije, Doktorska disertacija 173 acellulose and lignin pyrolysis. Fuel 86: 1781-1788.
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., Ma, Q.L. (2006): Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site, Science of the Total Environment, 368: 456-464.
- Yin, C., Rosendahl, L., Ker, S.K. (2008): Grate-firing of biomass for heat and power production, Progress in Energy and Combustion Science, 34 (6): 725-754.
- Zieba, M., Fink, M., Schuster, A., Scheffknecht, G., Berger, R. (2012): The fate of ammonia and hydrogen cyanide during flameless combustion of low calorific value gases. In: International Journal of Thermodynamics (IJOT), Heft 1/2012, pp. 35-41.
- Zayed, M.A., Terry, N. (2003): Chromium in the environment: factors affecting biological remediation, Plant and Soil 249: 139-156.
- Зекић, В., Тица, Н. (2010): Економска оправданост коришћења жетвених остатака као извора енергије, Пољопривредни факултет Нови Сад.
- Живковић, М. (2013): Екологија сагоревања, скрипта, Рударско-геолошки факултет, Универзитет у Београду, Београд.
- Životić, D., Wehner, H., Cvetkovic, O., Jovancicevic, B., Grzetic I., Scheeder, G., Vidal, A., Sajnovic, A., Ercegovac, M., Simic, V. (2007): The petrological, organic geochemical and geochemical characteristics of coal from the Soko mine, Serbia. International Journal of Coal Geology, 73 (3-4): 285-306.
- Životić, D., Cvetković, O., Vulić, P., Gržetić, I., Simić, V., Ilijević, K., Dojčinović, B., Erić, S., Radić, B., Stojadinović S., and Trifunović S. (2019): Distribution of major and trace elements in the Kovin lignite (Serbia). *Geologia Croatica* 72 (1): 51-79.

Директива 2009/28/ЕС,

EN 14961-1:2009

EN14961-2:2012

EN ISO 17225-1:2014

SRPS M.E2.203:1980

SRPS ISO E.P1.010, 1986

SRPS ISO 6541,1997

SRPS EN ISO/IEC 17025:2006

SRPS EN 14775:2011

SRPS EN 14918:2011

SRPS EN 14778:2012

SRPS EN ISO 18125:2017

CEN/TS 14961:2005

DIN 51731:1996

SS187120:1998

SS 187121:1990

ONORM M1735:1990

www.faostat.fao.org Pristupljeno: 24.10.2018.

www.cen.eu Pristupljeno: 20.11.2018.

www.europlantaze.com Pristupljeno: 22.11.2018.

<http://webrzs.stat.gov.rs/WebSite/public/ReportView.aspx> Pristupljeno: 20.11.2018.

<http://webrzs.stat.gov.rs/WebSite/public/ReportView.aspx> Pristupljeno: 11.12.2018.

<http://webrzs.stat.gov.rs/WebSite/public/ReportView.aspx> Pristupljeno: 11.12.2018.

<http://webrzs.stat.gov.rs/WebSite/public/ReportView.aspx> Pristupljeno: 11.12.2018.

<http://webrzs.stat.gov.rs/WebSite/public/ReportView.aspx> Pristupljeno: 11.12.2018.

<https://www.iea.org/about/history> Pristupljeno: 01.02.2019.

<https://www.pravno-informacioni> Pristupljeno: 01.02.2019.

Биографија аутора

Гордана Ј. Кулић, (девојачко Ковачевић), рођена је 18. октобра 1969. године у Суботишту, Република Србија. Основну школу завршила је у Старој Пазови, а средњу Хемијско-технолошко-прехранбenu школу у Београду. По завршетку средње школе уписала је Пољопривредни факултет у Земуну, Одсек за прехранбenu технологију и биохемију, на ком је дипломирала 1997. године. Специјалистичке студије на Групи за Технологију ратарских производа уписала је 2001/2002. школске године. Испите је положила са просечном оценом 9,66 и 2005. одбранила специјалистички рад под насловом „Примена савремених метода у примарној производњи и обради дувана типа Вирцинија“. Докторске академске студије, студијски програм Прехранбена технологија, уписала је школске 2013/2014. године, на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду. Положила је све испите предвиђене Статутом Пољопривредног факултета са просечном оценом 9,20.

Радни однос засновала је 1. маја 2000. године на Пољопривредном факултету у Земуну, на Институту за прехранбenu технологију и биохемију, Катедри за технологију ратарских производа, као стручни сарадник, у ком својству је и сада. Учествоје у припреми и реализацији вежби и настави на предметима Технологија обраде дувана, Технологија прераде дувана, Пратећи производи у преради дувана а од школске 2017/2018. године и на предмету Технологија отпада у преради ратарских сировина. Такође, помагала је у изради већег броја завршних, дипломских и мастер радова студената. Поред учествовања у настави, бави се и научно-истраживачким радом. Самостално и у сарадњи са другим ауторима до сада је објавила у домаћим и међународним часописима, и саопштила на скуповима 41 научни рад.

Служи се енглеским и руским језиком и поседује знање рада на рачунару. Удата је и мајка једног детета.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора: Гордана Ј. Кулић

Број индекса: ТХ 13/23

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом:

Примена стабљика дувана типа Берлеј и процена доприноса искоришћењу пољопривредне биомасе у Србији

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, _____

**Изјава о истоветности штампане и електронске верзије
докторског рада**

Име и презиме аутора: **Гордане Ј. Кулић**

Број индекса: **ТХ 13/23**

Студијски програм: **Прехрамбена технологија**

Наслов рада: **Примена стабљика дувана типа Берлеј и процена доприноса искоришћењу пољопривредне биомасе у Србији**

Ментор: **Ментор 1: др Весна Радојичић, редовни професор**

Ментор 2: др Олга Цветковић, научни саветник

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањивања у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Примена стабљика дувана типа Берлеј и процена доприноса искоришћењу пољопривредне биомасе у Србији

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
- 3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)**
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.

Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног