

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ПОЉОПРИВРЕДНОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ
Датум: 08.09.2021.

ПРЕДМЕТ: Извештај Комисије за оцену урађене докторске дисертације Гордане Ј. Кулић, дипломираног инжењера

Одлуком Наставно-научног већа Пољопривредног факултета, Универзитета у Београду број 32/28-7.2. од 23.06.2021., именовани смо у Комисију за оцену и одбрану урађене докторске дисертације под насловом: „Примена стабљика дувана типа Берлеј и процена доприноса искоришћењу пољопривредне биомасе у Србији”, кандидата Гордане Ј. Кулић, дипломираног инжењера.

Комисија у саставу др Весна Радојичић, редовни професор Пољопривредног факултета, Универзитета у Београду, др Олга Цветковић, научни саветник у пензији Института за хемију, технологију и металургију, Центар за хемију, Универзитета у Београду, др Жељко Долијановић, редовни професор Пољопривредног факултета, Универзитета у Београду, др Биљана Рабреновић, ванредни професор Пољопривредног факултета, Универзитета у Београду и др Марија Србиноска, редовни професор Универзитета Св. Климент Охридски из Битоља, на основу прегледане докторске дисертације подноси следећи:

ИЗВЕШТАЈ

1. Општи подаци о дисертацији

Докторска дисертација Гордане Ј. Кулић, дипломираног инжењера, под насловом „Примена стабљика дувана типа Берлеј и процена доприноса искоришћењу пољопривредне биомасе у Србији”, написана је према Упуству за обликовање штапане и електронске верзије дисертације која се брани на Универзитету у Београду на 104 стране и садржи 38 табела, 17 слика, 4 графикона и 302 литературна навода. Докторска дисертација садржи: насловне стране на српском и енглеском језику, страну са информацијама о члановима Комисије, страну са изјавама захвалности, стране са сажетком и кључним речима на српском и енглеском језику, две стране приказа садржаја, две стране са списком табела, слика и графикона и следећих поглавља: Увод (стр. 1-2), Научни циљ истраживања (стр. 3-4), Основне хипотезе од којих се полази (стр. 5), Предмет истраживања (стр. 6), Теоријски део (стр. 7-38), Материјал и методе испитивања (стр. 39-58), Резултати истраживања и дискусија (стр. 59-85), Закључак (стр. 86-88), Литература (стр. 89-104), Биографија аутора, Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штапане и електронске верзије докторског рада и Изјава о коришћењу. Поглавља: Преглед литературе, Материјал и методе испитивања и Резултати истраживања и дискусија садрже више потпоглавља.

2. Приказ и анализа дисертације

Увод. У овом поглављу истакнуто је да многе земље широм света подржавају нове мере енергетске ефикасности и, сходно томе, што веће коришћење обновљивих извора енергије (ОИЕ), пре свега биомасе, па тако и Република Србија која је 2013. године усвојила Национални акциони план за коришћење ОИЕ. Такође је наглашено да је ратарска производња најзначајнији извор биомасе, како у свету, тако и код нас, пре свега због константне обновљивости. У жетвеним остацима је сконцентрисана велика маса органске и минералне супстанце и значајна количина енергије, што их опредељује као еколошки прихватљиво биогориво, које омогућава смањење зависности од фосилних горива, сигурност снабдевања и смањење загађења животне средине.

Кандидаткиња је истакла да највећи проценат биомасе у Србији 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 се процењује на око 76 000 тона, од чега би око 70% могло да се искористи као биогориво.

Циљ истраживања. У оквиру научног циља истраживања, кандидаткиња је истакла да су неискоришћеност дуванског отпада, скуп процес уништавања под строго контролисаним и законски прописаним условима, његово неконтролисано одлагање, као и чињеница да стабљике дувана као биомаса нису биле предмет систематичних истраживања, посебно не на нашем простору, разлог експерименталних истраживања и оправдање посвећивању пажње овој врсти биомасе.

Због сложености истраживања, кандидаткиња је груписала циљеве: утврђивање расположиве количине ове категорије дуванског отпада у Србији; утврђивање хемијских карактеристика стабљика дувана типа Берлеј; утврђивање технолошких карактеристика стабљика дувана Берлеј, првенствено топлотне моћи која биомасу пласира као биогориво, и разматрање његових карактеристика компарацијом са стандардом прописаним величинама појединачних параметара за биогориво (SRPS EN 14778:2012); експериментално испитивање продуката-гасова сагоревања стабљика дувана типа Берлеј, на основу којих је могуће указати да је употреба остатака дувана еколошки прихватљива као биогориво; 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; поређење карактеристика свих 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 и који повећава аутономност пољопривреде, пре свега у области технологије дувана.

Теоријски део. Поглавље, које представља целину са насловом „*Обновљиви извори енергије*“, подељено је на девет потпоглавља са више подналова. Кандидаткиња је дала студиозан приказ досадашњих литературних података из области која је предмет проучавања докторске дисертације. У првом потпоглављу, које представља увод у теоријски део, дат је приказ најзначајнијих ОИЕ, дефиниција и циљева у области ОИЕ према Директиви 2009/28/ЕС, подела ОИЕ, класификације биомасе према пореклу и агрегатном стању на основу важећих европских стандарда или различитих аутора, као и главне карактеристике биомасе са аспекта енергетског коришћења. Кандидаткиња је истакла да се као једна од основних предности биомасе у односу на

друга обновљива горива истиче могућност њеног складиштења, чувања и наменског искоришћења за подмиривање 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. Кроз друго потпоглавље дат је приказ морфолошких, хемијских и технолошких карактеристика свих облика биомасе која су предмет истраживања у овој докторској дисертацији (соја, пшеница, сунцокрет, кукуруз, дрво букве, дуван типа Берлеј), као и њихове расположиве количине на основу објављених података РЗС Србије. У трећем потпоглављу „*Брикетирање биомасе*“ дат је историјски приказ процеса брикетирања у свету и Србији, основне карактеристике процеса производње брикета, као и сировине које могу да се користе за добијање брикета. Установљено је да се брикетирање врши како би се смањила запремина кабасте биомасе и на тај начин олакшао транспорт, складиштење и чување. Брикетирањем се повећава и ефикасност у процесу сагоревања, али и отпорност материјала на биолошке процесе кварења. Доступни литературни подаци кроз четврто потпоглавље „*Процена доприноса искоришћењу пољопривредне биомасе као обновљивог извора у свету и Европи*“ указују да се свет убрзано приближава граници исцрпљивања неких извора енергије и да се озбиљно сусреће са феноменом недостатка енергетских ресурса. Осим тога, коришћењем фосилних горива као енергената настају велика загађења ваздуха што значајно доприноси повећању ефекта стаклене баште. Обновљиви ресурси, који тренутно задовољавају незнатан део светских потреба за енергијом, могли би и морали би постати значајнији. Кандидаткиња је истакла велики допринос обновљивих ресурса у заштити животне средине кроз смањење емисије штетних гасова, посебно кроз смањење емисије тзв. гасова стаклене баште, као што су угљеник - (IV) оксид, метан, азотни оксиди и водена пара. Кандидаткиња је дала графички приказ предлога ЕУ са аспекта финалне потрошње енергије до 2050. године, на коме је уочљиво континуално повећање коришћења ОИЕ, смањење у коришћењу нафте и гаса, при чему би потрошња чврстог горива остала непромењена до 2030. године, док се до 2050. године очекује мало смањење. У оквиру овог потпоглавља је и „*Процена доприноса искоришћењу пољопривредне биомасе као обновљивог извора у Србији*“ у коме је истакнута озбиљна намера државе да повећа учешће ОИЕ у енергетски интензивним делатностима (у складу са националним акционим планом за коришћење обновљивих извора енергије - НАПОИЕ Републике Србије -, „Службени гласник РС“, број 53/2013), 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 %. 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. У петом потпоглављу „*Расположиви потенцијал испитиваних облика пољопривредне биомасе у Србији*“ наведено је да се од свих облика биомасе у Србији највише експлоатише дрвна биомаса као извор енергије (сеча шума, паљеви, остаци након резидбе воћњака и винограда). Супротно томе, еколошки прихватљива стратегија *CEI (2013)* до 2030. године ставља акценат на све масовније коришћење отпада из пољопривреде, што доприноси значају ове докторске дисертације. Кандидаткиња је навела податке 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" према којима 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, а што је еквивалентно количини лож уља од $1,4 \times 10^6$ тона. Остаци ратарских култура износе 30 % укупних остатака у пољопривреди. Кандидаткиња наводи да податак о количини дуванског отпада у Републици Србији никада није званично објављен, али је прегледом литературе установљено да је дувански отпад, пре свега отпадне листове, могуће користити вишеструко: за справљање компоста за гајење гљива, за добијање инсектицида за заштиту биља, за добијање органског ђубрива, за производњу лаког бетона, за добијање каталитичких адсорбената, за производњу биогаса. Сваке године, након бербе листова на пољима остају велике количине стабљика дувана, које су неискоришћене 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, Кандидаткиња је навела Каталог отпада (Сл. гласник РС, бр. 56/2010 и 93/2019), према којем је дувански отпад свртан у отпад који није токсичан, под бројем 02.03. Међутим, према прописима Европске уније (ЕУ) дувански отпад са садржајем никотина преко 500 ppm сврстава се у категорију опасног отпада и не може да се одлаже на депоније са урбаним отпадом, већ изискује посебне услове под којима се уништава. У шестом потпоглављу „Законска регулатива о коришћењу биомасе“ наведени су законски оквири који се односе на ОИЕ најпре у Србији, па затим и у свету. Кандидаткиња је навела да је Република Србија кроз бројне законе, стратегије, програме, правилнике и уредбе регулисала коришћење биомасе као ОИЕ и да ЕУ располаже декларисаним стандардима који прописују методологију испитивања биомасе, карактеристике, класе квалитета пелета и брикета 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. У седмом потпоглављу „Хемијски састав биомасе“ истакнут је значај познавања и аналитичког одређивања органске супстанце биомасе (биогених елемената: C, H, N, S, као и целулозе, хемицелулозе и лигнина) и неорганичког дела – пепела, и њихов утицај на начин и карактеристике процеса сагоревања. Дат је и приказ хемијског састава појединих врста биомасе, са посебним освртом на групу тешких метала: уобичајене вредности садржаја, узроке повећања њиховог садржаја, праг токсичности и утицај на биљке. Кандидаткиња је дала и основне податке о никотину, техникама одређивања као и садржају у појединим деловима дуванске биљке. У осмом потпоглављу „Утицај хемијског састава биомасе на топлотну моћ“ објашњено је да се топлотна моћ може одредити експериментално и рачунски, на основу садржаја лигнина, пепела или елементарног састава биомасе. Наведене су вредности топлотне моћи за различите врсте биомасе, управо да би се приказао утицај хемијског састава, односно порекла. Кандидаткиња је истакла да се из тих разлога и препоручују предвиђања Higher Heating Value (HHV) биомасе из одређених региона, нарочито приликом разматрања о могућности увођења новог облика у укупни потенцијал биомасе неког региона или државе. У деветом потпоглављу је објашњено да „Емисије које настају сагоревањем биомасе“ зависе од врсте и хемијског састава биомасе, технологије сагоревања, врсте ложишта као и мера примењених за смањење емисија сагоревања. Као продукти сагоревања настају гасови а пољопривредна биомаса, у односу на фосилниа горива, у атмосферу испушта значајно мање CO₂, SO₂ и NO_x. Осим тога, CO₂ се сматра неутралним јер се сагоревањем биомасе ослобађа онолико CO₂ колико је биљка у току свог раста усвојила из атмосфере. Пепео од сагоревања биомасе може се користити за ђубрење и обогаћивање земљишта.

Материјал и методе. Ово поглавље подељено је у дванаест потпоглавља са више поднаслова. У уводном делу кандидаткиња је хронолошки набројала све фазе истраживања које су обухваћене овом дисертацијом. Потпоглавље „*Материјал испитивања*“ даје податке о шест облика биомасе коришћених у раду, као и њиховом пореклу. Потпоглавље „*Производна подручја испитиване биомасе*“ даје приказ основних карактеристика три производна подручја (Шабац, Стара Пазова и Голубинци) са којих су сакупљени узорци земљишта и биомасе. У потпоглављу „*Методе испитивања биомаса и земљишта*“, у оквиру првог поднаслова наведене су методе узорковања, припреме и испитивања земљишта. Узорци су узимани са дубине (0-30) cm и паковани у папирне кесе. Узорци су у танком слоју сушени на ваздуху (природно), без директне сунчеве светлости и у сушници да би се одредила аналитичка влага. Узорци су уситњени, просејани и спаковани у папирне кесе за анализу основних агрохемијских параметара земљишта:

- Одређивање садржаја органске супстанце (*Magdoff, 1996*).
- Одређивање слободног калцијум-карбоната (*Horváth et al., 2005*),
- Одређивање активне и супституционе киселости - pH у H₂O и nKCl - електрометријски методом SRPS ISO 10390:2007,
- Одређивање укупног азота аутоматском методом - CHNS анализатором CHNS анализатором (*AOAC 972.43: 2000*),
- Одређивање количине приступачног азота (*Scharpf and Wehrmann, 1975*),
- Одређивање количине приступачног фосфора (*Watanabe and Olsen, 1965*),
- Одређивање количине приступачног калијума техником индуктивно купловане плазме са оптичком емисионом спектрометријом (*ICP-OES*) (*Mehlich, 1984*),
- Одређивање садржаја хумуса методом *Tjurin-a*, оксидацијом органске супстанце (DM 8/1-3-017).

У оквиру другог поднаслова наведене су методе припреме и испитивања биомаса. Хомогенизовани узорци биомаса испитивани су применом класичних метода за испитивање биогорива и савременим инструменталним методама. Припрема је обухватала постепено сушење биомасе на ваздуху (стабљике дувана није било потребно сушити) и након тога млевење 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 врећама до испитивања следећих параметара:

- Одређивање садржаја влаге (SRPS ISO E.P1.010, 1986),
- Одређивање садржаја пепела (SRPS EN 14775:2011),
- Одређивање садржаја целулозе (SRPS ISO 6541, 1997),
- Одређивање садржаја лигнина (TAPPI Test method, T 222 om-02),
- Одређивање елементарног састава узорака биомасе: CHNS и O (из разлике) на апарату Ultimate analysis: Elemental analyser Elementar Vario EL III, CNS,
- Одређивање садржаја никотина у узорку дуванске стабљике High Performance Liquid Chromatography методом (Breeze QS HPLC System, Waters Breeze, USA). 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.
- Одређивање количине метала у узорцима пепела брикета испитиваних биомаса на ICP-OES-у (iCAP 6300 ICP-OES CID Spectrometer, Thermo Scientific, USA).

Потпоглавље „*Предвиђање HHV (Higher Heating Value) узорака биомасе*“ даје приказ три формуле које су коришћене за израчунавање HHV, на основу већ одређеног садржаја лигнина, пепела и елементарног састава испитиваних биомаса. У

потпоглављу „Одређивање топлотне моћи узорака биомасе“ описан је поступак одређивања топлоте сагоревања 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. 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. У потпоглављу „Предвиђање продуката сагоревања узорака биомасе - CO₂, SO₂, N“ објашњен је поступак прорачуна запремине продукта сагоревања чврстог горива на основу познавања елементарног састава горива, применом стехиометријских једначина сагоревања угљеника, сумпора, водоника, азота, као и прорачуна минимално теоријски потребне количине ваздуха и кисеоника за потпуно сагоревање. У потпоглављу „Брикетни“ дат је опис поступка израде брикета од претходно уситњених свих испитиваних облика биомасе, на брикетирки (модел CO.MA.FER), која ради на притиску од 10 bar-а и при напону од 380 V, без додавања везивних материјала. У потпоглављу „Експериментално одређивање продуката сагоревања брикета биомаса“ описан је поступак сагоревања брикета 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, по упутству UP.53.540.01, на основу стандарда SRPS M.E2.203:1980. Гасови сагоревања (CO, CO₂, SO₂, NO i NO_x) су испитивани помоћу анализатора димних гасова MRU GmbH User Manual Vario Plus (MRU, Germany), са табеларно приказаним карактеристикама мерног опсега. Потпоглавље „Одређивање количине никотина у диму при сагоревању брикета од стабљика дувана типа Берлеј“ даје кратак приказ поступка спаљивања брикета од дуванских стабљика (у котлу описаном у претходном потпоглављу), прикупљање кондензата димних гасова на филтеру пречника 92 mm, који је постављен на врху димног канала пећи, након чега је извршено одређивање количине никотина према методи објашњеној у оквиру другог поднаслова потпоглавља „Методe испитивања биомаса и земљишта“. У потпоглављу „Агроеколошки услови на испитиваним локалитетима“ дат је приказ метеоролошких услова за 2015. годину истраживања на локалитетима Шапца, Сурчина и Голубинаца, као и за 30-огодишњи период (1981-2010.), ради поузданије процене утицаја метеоролошких услова на карактеристике биомасе. Кандидаткиња је обрадила податке на основу података ХМЗС. Посебно су обрађене и приказане средње месечне температуре ваздуха (T_{ср}, °C) и количине падавина (RR, mm) за вегетационе периоде свих испитиваних биомаса. У потпоглављу „Статистичка обрада резултата испитивања“ наведен је статистички пакет IBM SPSS Statistic V.21. који је кандидаткиња користила за обраду експерименталних података.

Резултати и дискусија. Резултати истраживања обрађени су кроз једанаест потпоглавља са више подналова. Приказ резултата дат је на прегледан начин кроз табеле, слике, графиконе и текстуалну анализу. Дискусија је јасна и темељна, уз поређење са резултатима сличних истраживања. У потпоглављу „Основне агрохемијске особине земљишта за раст и развој биљака“ обрађени су параметри плодности земљишта: рН, укупни азот и различити облици азота, фосфор, хумус, калцијум-карбонат и однос C/N. Установљено је да је земљиште на локалитету Шабац било киселе, до умерено киселе реакције (рН 5,85). Припада класи слабо хумозних земљишта (2,57 %), сиромашно је фосфором (1,5 mg/100g) и средње обезбеђено калијумом (15,2 mg/100g). На локалитету Стара Пазова земљиште слабо алкалне реакције (рН 8,06), а по садржају хумуса средње обезбеђено, богато кречом (3,7%) и са највише укупног азота (0,23 %), уз преовлађујући нитратни облик. Средње је

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 (0,19 %) 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. У потпоглављу „Анализе садржаја органске супстанце испитиваних биомаса по локалитетима“ кандидаткиња је дала табеларни приказ вегетационих периода за испитиване биомасе и кроз следећа два поднаслова садржај органске супстанце биомасе, просечне месечне температуре и падавине и укупну количину падавина у вегетационом периоду на локалитетима са којих су прикупљени узорци. Дато је поређење са литературним подацима и анализа утицаја приказаних метеоролошких параметара на садржај органске супстанце у испитиваним биомасама. У потпоглављу „Анализа искоришћавања расположиве количине дуванских стабљика у Србији“ кандидаткиња је навела податке о коришћеном пољопривредном земљишту пољопривредних газдинстава на основу податка из РЗС - Попис пољопривреде 2012, и констатовала да Србија има земљишне ресурсе који омогућавају интензивну пољопривреду и искоришћавање биомасе из пољопривредне производње за енергетске сврхе. На основу преузетих података из евиденција Управе за дуван, приказала је табеларно однеговане површине под дуваном (за Берлеј, Вирцинију и Оријентал) за период 2014-2017. Након навођења разлога због којих је само дуван типа Берлеј узет у разматрање, кандидаткиња је извршила прорачун расположиве количине стабљика дувана типа Берлеј, на основу однегованих површина под дуваном. При прорачуну је коришћен просек расађивања од 22 000 стабљика/ha, као и просечна тежина стабљике крупнолисних дувана од 350 g. У потпоглављу „Резултати хемијског састава узорака биомасе“ приказани су резултати испитивања хемијских карактеристика биомаса, поређења са фосилним горивима, као и поређења са литературним подацима. Ово потпоглавље садржи два поднаслова. У оквиру првог поднаслова „Одређивање количине пепела, целулозе и лигнина“ резултати су показали да сви испитивани узорци биомаса (изузев остатака глава сунцокрета са садржајем пепела од 12,17 %) имају количину пепела испод 10%, што их чини прихватљивим као биогориво. Количина целулозе у испитиваним биомасама је у опсегу (25,77-40,12) %, а лигнина (14,34-26,64) %. Заступљеност лигноцелулозног материјала је фактор који највише доприноси калоричној вредности биомасе. Поређењем са испитиваним облицима пољопривредне биомасе, утврђено је да дуванска стабљика има нижи садржај целулозе (35,97 %) и лигнина (20,12 %) једино у односу на окласак кукуруза (за 3,57 % и 6,52 %). Садржај влаге код узорака (9,34-11,58) % је прихватљив за израду брикета за сагоревање биомасе. Најмање губитака (заостале ситњавине) при изради брикета имале су дуванске стабљике и остаци глава сунцокрета. Такође је истакнуто да су брикети направљени без додавања везивних средстава, што чини производњу јефтинијом и са аспекта заштите животне средине прихватљивијом. У оквиру другог поднаслова „Резултати елементарног састава испитиваних узорака биомасе: угљеника (C), водоника (H), азота (N), сумпора (S) и кисеоника (O) из разлике“ утврђен је најнижи садржај C од 43,09 % код брикета направљених од дуванских стабљика, што је блиско вредности садржаја код пшеничне сламе, а највиши (48,97 %) код брикета направљених од пиљевине дрвета букве. 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. Садржај N код осталих облика биомасе је приближних вредности, осим код брикета од дуванских стабљика где је утврђен 3 пута виши

садржај N (3,70 %), што је највероватније последица ђубрења NPK ђубривом, као и садржаја никотина. Кандидаткиња је истакла да су добијени резултати за садржај N у брикетима испитиваних биомаса (3,70 %; 1,60 %; 0,72 %; 1,63% и 1,00 %) изнад вредности које прописују стандарди Аустрије ONORM M 1735:1990 ($\leq 0,6$ %) и Немачке DIN 51 731:1996 ($\leq 0,3$ %). 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. Кандидаткиња је констатовала да би незнатна количина S и N код узорака биомаса условила малу разлику између горње и доње топлотне моћи, што није случај код угљева, а нарочито лигнита који располаже са великом количином S. Угљеви којима располажу лежишта Србије су углавном категорије лигнита до мрког угља, са променљивим елементарним саставом. Иако садрже веће количине C, примена угљева са високим садржајем S је непожељна, а у последњим деценијама чак и неприхватљива због 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. Потпоглавље „*Резултати предвиђања HHV (higher heating value) испитиваних узорака*“ даје приказ резултата рачунски одређене HHV према формулама које су предложили различити аутори, на основу садржаја пепела, лигнина и елементарног састава, за све испитиване биомасе. Највише вредности за HHV, у зависности од примењене формуле, установљене су код пиљевине букве и окласка кукуруза. Код дуванских стабљика није констатована најнижа вредност HHV, применом било које формуле за израчунавање, па кандидаткиња констатује 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. У потпоглављу „*Резултати експерименталног одређивања топлотне моћи испитиваних узорака*“ приказане су вредности за топлотну моћ и израчунату ефективну (доњу) топлотна моћ. 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, док је у односу на пиљевину дрвета букве, који се традиционално најдуже користи у домаћинствима као огрев, имала нижу горњу топлотну моћ за 11,49 %. Кандидаткиња је констатовала да су усаглашене вредности топлотне моћи дуванске стабљике одређене експериментално и израчунате предвиђањем, а усаглашене су и са до сада објављеним резултатима. Тиме је потврђено да је прорачун за HHV (нарочито преко садржаја пепела) 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 стандардом EN pellet standards 14961-1:2009, само биомасе окласка кукуруза и пиљевине дрвета букве испуњавају критеријуме за производ класификован у A1 и A2 категорију по параметру топлотне вредности, а преостале биомасе се налазе на граници да задовоље захтеве за категорију B класе, односно испуњавају га са укљученом мерном несигурношћу при одређивању овог параметра. Без обзира на ову констатацију, из практичних и еколошких разлога вредност овог параметра не би требало да доводи у питање примену биомасе дуванске стабљике Берлеј као биогорива. У потпоглављу „*Предвиђање минималне количине кисеоника и ваздуха и продуката сагоревања испитиваних узорака—CO₂, SO₂, N^o*“ утврђене су најниже вредности за минимално потребну количину кисеоника (O_{min}) и минималну количину ваздуха за потпуно сагоревање (L_{min}) дуванских стабљика, као и најмања вредност количине V_{CO₂} ($0,8045 \text{ m}^3/\text{kg}$), и количине V_N ($3,2438 \text{ m}^3/\text{kg}$) у продукту сагоревања узорка дуванске стабљике. Вредност количине V_{SO₂} је била испод

лимита квантификације ($< 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$). У потпоглављу „*Експериментално одређивање продуката сагоревања испитиваних узорака брикета – CO, CO₂, SO₂, NO, NO_x*“ утврђена је најнижа вредност садржаја CO₂ (7,90 %) при сагоревању узорка брикета окласака кукуруза, што је нешто ниже у односу на дуванску стабљику (8,1 %). Константовано је да је сагоревање узорака брикета дуванске стабљике било потпуније у поређењу са процесима сагоревања осталих биомаса, јер је у димном гасу настало 1590,34 mg/m³ CO, што је скоро два пута мање у поређењу са највишом вредношћу садржаја која је настала при сагоревању окласака кукуруза (2952,30 mg/m³). Азот (IV) - оксид и сумпор (IV) - оксид нису били детектовани ни у једном узорку. Количина оксида азота, изражена сумом NO и NO_x, је највиша у продуктима сагоревања стабљике дувана, али је и даље нижа (273,67 mg/m³ NO и 419,67 mg/m³ NO_x) од количина прописаних Уредбом о граничним вредностима загађујућих материја у ваздух из постројења за сагоревање (гранична вредност је 500 mg/m³). Иако је кандидаткиња у току дискусије продуката сагоревања брикета од испитиваних биомаса извршила извесну корелацију са елементарним саставом истих, као и са предвиђеним продуктима сагоревања, констатовано је да поуздана и потпуна корелација ипак није могућа из разлога што биомасе садрже различите количине кисеоника, што се евидентно одражава на њихово сагоревање. Кандидаткиња је у наставку овог потпоглавља извршила свођење мерних вредности на 11% концентрације кисеоника у димним гасовима, према Уредби о граничним вредностима загађујућих материја за биомасу. 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. У потпоглављу “*Одређивање количине никотина у дуванској стабљници и диму при сагоревању брикета од стабљика дувана типа Берлеј*“ утврђено је да дуванске стабљике садрже 715,6 ppm никотина. Анализом продуката сагоревања брикета констатовано је да количина никотина у димном гасу знатно нижа ($< 10 \text{ ppm}$), што је далеко испод вредности од 500 ppm која је прописана регулативом Европске уније. Ниска количина присутног никотина у диму при сагоревању даје позитивну оцену за употребу брикета од дуванских стабљика са еколошког аспекта. У потпоглављу „*Одређивање састава пепела брикета испитиваних биомаса*“ разматрањем података о количини метала у пепелу испитиваних брикета, према стандарду EN14961-2, утврђено је да: брикети свих биомаса испуњавају критеријуме за елементе As и Hg; пепео дуванске стабљике, пшеничне сламе и остатака глава сунцокрета, испуњава и критеријум за заступљеност Cd у свим класама брикета ($< 0,5 \text{ mg/kg}$), а пепео остатака глава сунцокрета, окласка кукуруза, па и пшеничне сламе испуњавају услов за дозвољену количину Zn (≤ 100), уколико се узме у обзир мерна несигурност резултата испитивања. Ниједна од испитиваних биомаса не испуњава критеријуме о прописаним количинама за Cr, Cu и Ni у пепелу. У потпоглављу „*Статистичка обрада резултата испитивања*“ извршено је испитивање зависности хемијског и елементарног састава биомасе од хемијских особина земљишта са три локације (Шабац, Стара Пазова и Голубинци). Утврђено је да постоји значајна позитивна статистичка зависност ($p \leq 0,05$) између садржаја пепела у дуванској стабљници и свих испитиваних хемијских особина земљишта и висока ($p \leq 0,01$) позитивна статистичка зависност садржаја водоника у дуванским стабљикама према свим хемијским особинама земљишта. Насупрот томе, утврђена је негативна статистичка зависност између садржаја лигнина у дуванским стабљикама и укупног азота и калијума (K₂O) у земљишту ($p \leq 0,05$) са локалитета Шабац. Статистичком анализом узорака биомасе и земљишта са локалитета Стара Пазова утврђено је да постоји значајна позитивна зависност између садржаја пепела у пшеничној слами и

P₂O₅ у земљишту, као и значајна негативна зависност између садржаја водоника у узорку пшеничне сламе и K₂O у земљишту, на нивоу статистичке значајности од 5 %. Код узорка окласка кукуруза утврђена је значајна позитивна зависност између садржаја C и K₂O у земљишту, као и значајна негативна зависност између садржаја водоника у окласку кукуруза и P₂O₅ у земљишту, на нивоу значајности од 5 %. Између осталих испитиваних параметара нема статистичке значајности. Потврђена је значајна позитивна корелација између количине пепела у узорку сојине стабљике и укупног азота у земљишту, као и значајна негативна корелација између садржаја лигнина у узорку биомасе и количине хумуса у земљишту, на нивоу значајности од 5 % на локалитету Голубинци. 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 K₂O у земљишту. Зависност доње топлотне вредности, садржаја целулозе, органске супстанце и лигнина у узорцима измерена је Pearson-овим коефицијентом корелације (праг значајности 5 %). У овом истраживању први пут је одређивана зависност топлотне вредности биомасе од садржаја целулозе, као и зависност садржаја целулозе од садржаја угљеника и лигнина у узорцима биомасе. Вредности израчунатих коефицијената корелације указују да код узорака пшеничне сламе, окласка кукуруза, дуванске и сојине стабљике нема статистички значајне зависности између испитиваних својстава ($p > 0,05$).

Закључак. У овом поглављу су сумирани најважнији резултати експерименталних истраживања и изведени релевантни закључци:

- Испитивани климатски и агрохемијски параметри земљишта на сва три локалитета нису се негативно одразили на развој усева и количину биомасе. Однос C : N земљишта се незнатно разликује: за Стару Пазову 7,1 :1; за Шабац 7,3 :1 и за Голубинце 8,8 :1.
- Резултати хемијског састава испитиваних узорака биомаса показали су да је најнижа количина пепела у пиљевини (0,54%), што је и било очекивано. Испитивани узорци биомаса имају количину пепела испод 10%, што их чини прихватљивим као биогориво, осим остатака глава сунцокрета, који, са садржајем пепела од 12,17 %, нису погодни као биогориво јер према критеријуму стандарда ISO 17225 – 1:2014 прелазе вредност 10 %, као максимално дозвољену количину пепела. 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 %).
- Брикети су направљени без додавања везивних средстава, што чини производњу јефтинијом и са аспекта заштите животне средине прихватљивијом. Највише заостале ситњавине било је код окласка кукуруза и пиљевине дрвета букве, који су имали најмању количину влаге. Најмање губитака (заостале ситњавине) при изради брикета имале су дуванске стабљике и остаци глава сунцокрета. Закључено је да је дуванска

стабљика, са садржајем влаге од 10,27 %, добар материјал за израду брикета без додавања везивних материјала.

- 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 азота (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 %). 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 ($15,95 \text{ MJ kg}^{-1}$ и $14,90 \text{ MJ kg}^{-1}$), док је највиша горња топлотна вредност код узорка окласка кукуруза ($18,49 \text{ MJ kg}^{-1}$) и пиљевине дрвета букве ($18,45 \text{ MJ kg}^{-1}$). Највиша доња топлотна вредност ($17,27 \text{ MJ kg}^{-1}$) утврђена је код узорка пиљевине дрвета букве. У узорку дуванске стабљике, горња топлотне вредност ($16,33 \text{ MJ kg}^{-1}$) 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.

- Сви испитивани узорци биомаса, емитују количине гасова у границама вредности прописаних Уредбом о граничним вредностима емисија загађујућих материја у ваздуху. 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 за 8,1 % ниже у односу на дуванску стабљику. 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 $1590,34 \text{ mg/m}^3 \text{ CO}$, што је скоро два пута мање у поређењу са највишом вредношћу садржаја која је настала при сагоревању окласака кукуруза ($2952,30 \text{ mg/m}^3$). Без обзира на емитовану количину азотових оксида у димном гасу настало сагоревањем дуванске стабљике, количина ових оксида је знатно нижа ($273,67 \text{ mg/m}^3 \text{ NO}$ и $419,67 \text{ mg/m}^3 \text{ NO}_x$) од дозвољених. Азот (IV) - оксид и сумпор (IV) - оксид нису били детектовани ни у једном узорку.

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

- Располагајива 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 добијених резултата састава пепела, испитиване биомасе могу да се користе као минерално ђубриво. Производња минералних ђубрива на бази пепела подразумева додавање одређених соли да би се добио жељени квалитет, што омогућава и 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.
- 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.

Литература. У дисертацији су на правилан начин наведене 302 референце, које представљају извор и преглед најзначајнијих радова из области истраживања ове докторске дисертације. Избор литературних извора је актуелан, а цитирање је изведено на правилан начин.

3. Закључак и предлог

На основу анализе докторске дисертације под насловом „Примена стабљика дувана типа Берлеј и процена доприноса искоришћењу пољопривредне биомасе у Србији” коју је поднела Гордана Ј. Кулић, Комисија сматра да је дисертација урађена према одобреној пријави теме и да представља оригиналну, самосталну и заокружену научно-истраживачку целину.

Кандидаткиња је детаљно и систематски истражила доступне литературне податке, на основу којих је дефинисала и поставила јасне циљеве и програм истраживања. Примењујући адекватне, савремене методе и технике кандидаткиња је веома успешно обавила експериментални део истраживања, што је и документовала резултатима дисертације. Добијени резултати су прегледно приказани, правилно анализирани и коментарисани и упоређивани с доступним подацима из литературе. Закључци су добро изведени и у сагласности са добијеним резултатима и вођеном дискусијом.

Дисертација је писана јасним језиком и прегледно и технички веома добро организована и уређена.

Резултати овог истраживања су значајни како за науку, тако и за практичну (индустријску) примену. Први пут су у потпуности извршене анализе и испитане хемијске и технолошке карактеристике стабљика дувана типа Берлеј гајеног у Србији и извршено поређење са другим облицима биомасе. На основу добијених резултата кандидаткиња је показала да је од стабљика дувана могуће добити производ који има употребну вредност и који повећава аутономност пољопривреде, пре свега у области производње и обраде дувана. Апликативни значај огледа се у могућности њихове примене као енергента за сушење, чиме би се смањили трошкови сушења дувана и истовремено решило питање неконтролисаног одлагања или спаљивања ове врсте отпада, што би допринело смањењу загађења животне средине.

Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих и приказаних резултата, Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију дипл. инж. Гордане Ј. Кулић, под насловом „Примена стабљика дувана типа Берлеј и процена доприноса искоришћењу пољопривредне биомасе у Србији”, и предлаже Наставно-научном већу Пољопривредног факултета Универзитета у Београду да прихвати позитивну оцену и омогући кандидаткињи јавну одбрану.

У Београду, 08.09.2021.

Чланови Комисије:

др Весна Радојичић, редовни професор
Универзитета у Београду - Пољопривредног факултета,
(Ужа научна област: Наука о преради ратарских сировина)

др Олга Цветковић, научни саветник у пензији
Института за хемију, технологију и металургију Универзитета у Београду
(Ужа научна област: Хемија)

др Жељко Долијановић, редовни професор
Универзитета у Београду - Пољопривредног факултета,
(Ужа научна област: Агроекологија)

др Биљана Рабреновић, ванредни професор
Универзитета у Београду - Пољопривредног факултета,
(Ужа научна област: Наука о преради ратарских сировина)

др Марија Србиноска, редовни професор
Универзитета у Св. Климент Охридски у Битољу,
(Ужа научна област: Технологија пољопривредних производа)

Прилог:

Рад Гордане Ј. Кулић, дипломираног инжењера, објављен у научном часопису који је на SCI листи:

Mijailović, I., Radojičić, V., Ećim-Djurić, O., Stefanović, G., **Kulić, G.** (2014): Energy potential of tobacco stalks in briquettes and pellets production. Journal of Environmental Protection and Ecology 15 (3): 1034-1041. <https://docs.google.com/a/jepe-journal>.

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ПОЉОПРИВРЕДНОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Датум: 08.09.2021.

**ОЦЕНА ИЗВЕШТАЈА О ПРОВЕРИ ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ
ДИСЕРТАЦИЈЕ**

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма iThenticate којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „ Примена стабљика дувана типа Берлеј и процена доприноса искоришћењу пољопривредне биомасе у Србији”, аутора Гордане Ј. Кулић, дипломираног инжењера, констатујемо да утврђено подударање текста износи 11%. Овај степен подударности последица је цитата, личних имена, библиографских података о коришћеној литератури, тзв. општих места и података, као и претходно публикованих резултата докторандових истраживања који су проистекли из њене дисертације, што је у складу са чланом 9. Правилника.

На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, изјављујемо да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

Ментори:

др Весна Радојичић, редовни професор
Универзитета у Београду - Пољопривредног факултета
Ужа научна област: Наука о преради ратарских сировина
(Ментор 1)

др Олга Цветковић, научни саветник у пензији
Института за хемију, технологију и металургију Универзитета у Београду
Ужа научна област: Хемија
(Ментор 2)