

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ПОЉОПРИВРЕДНОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ
Датум: 23.04.2025.

**Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану урађене докторске дисертације
Немање Мандића, мастер инжењера технологије**

Одлуком Наставно-научног већа Пољопривредног факултета Универзитета у Београду број 32/6-5.1. од 26.03.2025. године именована је Комисија за оцену и одбрану урађене докторске дисертације, коју је поднео Немања Мандић, мастер, под насловом „Биодеградација отпадних листова дувана у различитим условима компостирања“ кандидата Немање Мандића, мастер инжењера технологије. На основу прегледа и анализе докторске дисертације, Комисија у саставу др Весна Радојичић, редовни професор Пољопривредног факултета Универзитета у Београду, др Блажо Лалевић, редовни професор Пољопривредног факултета Универзитета у Београду, др Татјана Шолевић Кнудсен, научна саветница Института за хемију, технологију и металургију Универзитета у Београду, др Жељко Долијановић, редовни професор Пољопривредног факултета Универзитета у Београду, др Александар Костић, ванредни професор Пољопривредног факултета Универзитета у Београду, подноси Наставно-научном већу Пољопривредног факултета следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Општи подаци о кандидату и дисертацији

Основни подаци о кандидату. Немања Мандић, мастер инжењер технологије, рођен је 05. септембра 1991. године у Ивањици, Република Србија. Основну школу и гимназију завршио је у Ивањици. Школске 2010/11 године уписао је Основне академске студије на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду, студијски програм Прехрамбена технологија, модул Технологија ратарских производа. Основне академске студије завршио је у року. Завршни рад под насловом „Упоредна анализа садржаја лигнина у листовима и стабљикама дувана типа Берлеј“ одбранио је 08. 10. 2014. године са оценом 10, чиме је стекао звање „дипломирани инжењер технологије“. Школске 2014/15 године уписао је Мастер академске студије на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду, на Одсеку за прехрамбену технологију. Мастер рад под насловом „Утицај параметара процеса на динамику разградње никотина у дуванском отпаду“ одбранио је 24. 09. 2015. године са оценом 10, и стекао звање „Мастер инжењер технологије“. Докторске академске студије на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду уписао је школске 2015/16. године на Одсеку за прехрамбену технологију. Кандидат је објавио један рад из категорије М22, осам радова из категорије М33 и један рад из категорије М51.

Основни подаци о дисертацији. Докторска дисертација Немање С. Мандића, мастер инжењера технологије, под називом „Биодеградација отпадних листова дувана у различитим условима компостирања“ писана је у складу са Упутством за обликовање штампане и електронске верзије докторске дисертације која се брани на Универзитету у Београду, као и у складу са пријавом теме која је одобрена од стране Наставно-научног већа Пољопривредног факултета, Универзитета у Београду. Дисертација садржи укупно 98 страна писаног текста, од којих је 87 нумерисано. Ненумерисани делови дисертације су: насловне странице на српском и енглеском језику, страница са подацима о ментору и члановима Комисије, страница са изјавом захвалности, по једна страница са сажетком и кључним речима на српском и енглеском језику, две странице приказа садржаја, једна страница са списком табела, једна страница са списком слика и графика, биографија аутора, Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторске дисертације и Изјава о коришћењу. Нумерисани делови докторске дисертације садрже текст дисертације, укључујући 9 слика, 4 графичка приказа, 25 табела и 276 цитираних литературних извора, организованих у осам основних поглавља: Увод (стр. 1), Научни циљ истраживања (стр. 2), Основне хипотезе од којих се полази (стр. 3), Значај и предмет истраживања (стр. 4), Преглед литературе (стр. 5-33), Материјал и методе (стр. 34-43), Резултати и дискусија (стр. 44-63), Закључак (64-65) и Литература (стр. 66-87). Поглавља: Преглед литературе, Материјал и методе, Резултати и дискусија садрже више потпоглавља.

2. Приказ и анализа дисертације

Увод. У овом поглављу кандидат указује на проблем пољопривредног и комуналног отпада чија се количина повећава из године у годину. Кандидат истиче да је пољопривреда је једна од главних привредних грана у Републици Србији, тако да генерише велике количине отпада. Дувански отпад, који настаје у свим процесима, од производње на њиви до израде цигарета, такође чини знатан проценат агроиндустријског отпада у Србији. Истакнута је потреба за проналажењем еколошких и економски прихватљивих решења за смањење настанка, рециклажу и поновно коришћење биоразградивог отпада. Кандидат је указао на значај коришћења процеса компостирања као једног од решења у процесу управљања биоразградивим отпадом, у циљу добијања производа са употребном вредношћу, чиме би се значајно смањио притисак на депоније, односно смањило загађење животне средине. Истакнут је значај производње компоста, јер компост у земљишту повољно утиче на побољшање водног, ваздушног, топлотног режима и биолошке активности земљишта. Циљ овог истраживања био је да се кроз развој техника компостирања испита могућност еколошки прихватљивог коришћења дуванског отпада и решења за смањење одлагања биљног и дуванског отпада. Као биљни отпад коришћени су специфични остаци (мрква, кромпир, лук) који се свакодневно стварају у домаћинствима током припреме obroка и чине значајан део биоразградивог комуналног отпада. Процес компостирања је укључивао и мешавину отпада дувана са овчијим и кокошијим стајњаком. Посебан значај овог рада је и у чињеници да су по први пут у процесу компостирања коришћени нови сојеви из рода *Brevibacillus sp.* који разграђују никотин а који су претходно изоловани из дуванског отпада.

Предмет и циљ дисертације. Циљ овог истраживања био је утврђивање најповољнијег начина компостирања отпадних листова дувана додавањем различитих органских отпадних материјала биљног и анималног порекла, у различитим условима средине (контролисани, полуконтролисани, неконтролисани), са или без додавања бактерија које разграђују никотин, а све у циљу добијања еколошки прихватљивог производа који има употребну вредност у пољопривреди. Такође, један од циљева истраживања био је и утврђивање најефикаснијег и економски најприхватљивијег начина компостирања кроз процену квалитативних карактеристика добијених компоста. Посебан циљ дисертације био је изолација, селекција и

идентификација никотинофилних бактерија са способношћу коришћења никотина као јединственог извора угљеника и енергије, које могу да убрзају процес детоксикације дуванског отпада. Значајан циљ докторске дисертације био је и процена карактеристика добијених компоста са аспекта потенцијалне примене у биљној производњи.

Преглед литературе. Ово поглавље је подељено на дванаест потпоглавља са више подналова, кроз које кандидат даје свеобухватан преглед досадашњег истраживања и податке из области које су предмет проучавања докторске дисертације. У првом потпоглављу, **Појам биомасе и отпад**, обрађен је појам и дефиниција биомасе и отпада у складу са Директивом 2009/28/ЕС. Објашњене су законске регулативе Републике Србије које се односе на управљање отпадом и његову класификацију: *Закон о управљању отпадом Републике Србије* (Сл. гласник РС, бр. 36/09, 88/10 и 14/16, 95/18 - др.закон и 35/23, 135/04); *Закон о заштити животне средине Републике Србије* (Сл. гласник РС 135/04, 36/09, 36/09 - др. закон, 72/09 - др. закон, 43/11 - одлука УС, 14/16, 76/18, 95/18 - др. закон, 95/18 - др. закон и 94/24 - др. закон); *Закон о поступању са отпадним материјалима* (Сл. гласник РС 25/96, 26/96, - испр. и 101/2005 - др. закон), као и међународни стандард ISO 14001:2015. Истакнути су подаци о количини и врсти отпада у Републици Србији. Друго потпоглавље, **Компостирање као начин редукације отпада**, истиче примену процеса компостирања, као еколошки и економски прихватљивог решења за управљање отпадом. Иако је свест о отпаду почела да се развија и јача још средином 20.века, ова грана је до 70-тих година 20. века практично била нерегулисана. Подизање свести земаља чланица Европске уније о контаминацији земљишта на пољопривредним површинама применом компоста од отпада који садржи остатке пластике, метала и стакла, био је подстицај за реорганизацију ове гране индустрије. Кандидат је дао примере шта све може да се користи као полазна органска материја (комунални чврсти отпад, муљ из постројења за пречишћавање отпадних вода, пољопривредни отпад, дворишни отпад, отпад из домаћинства или комбинација ових материјала са другим органским материјалима) и који фактори утичу на интензитет процеса компостирања и квалитет самог производа. У оквиру подналова овог поглавља **Фактори који утичу на процес компостирања**, кандидат је приказао поделу и детаљна објашњења најважнијих фактора процеса компостирања (величина честица материјала, аерација, порозност, садржај влаге, температура, рН вредност, хранљиви елементи, однос угљеника према азоту). Треће потпоглавље **Припрема компоста**, садржи три подналова. У уводном делу овог потпоглавља кандидат је описао процесе припреме компостне гомиле, просечно трајање процеса компостирања и начине за убрзање овог процеса. У оквиру првог подналова овог поглавља **Процес аеробног компостирања** кандидат је навео фазе процеса, као и кључне проблеме у спровођењу процеса компостирања: генерисање непријатног мириса, присуство патогена, присуство токсичних елемената и дефинисање прихватљивости компоста за примену у биљној производњи. Други поднаслов **Фазе компостирања** садржи детаљније објашњење свих фаза процеса (припрема сировине, процес компостирања, сазревање компоста). Трећи поднаслов **Микроорганизми у процесу компостирања** садржи поделу микроорганизама који се налазе у компостним гомилама: бактерије (психрофилне, мезофилне, термофилне); актиномицете и гљиве. Улога појединачних микроорганизама објашњена је посебно, кроз фазе процеса: *Микроорганизми на почетку процеса компостирања* и *Сукцесија микроорганизама током процеса компостирања*. У четвртном потпоглављу, **Одржавање компостне гомиле**, описује се процес правилног вођења поступка компостирања, како би се спречило стварање непријатног мириса и убрзала разградња органске материје у циљу добијања употребљивог финалног производа. Кроз пето потпоглавље, **Предности процеса компостирања**, кандидат истиче све предности компостирања, као и његов вишеструки значај како са еколошког тако и са економског становишта. Пре свега, компостирање је једноставна технологија са ниским оперативним трошковима, уз мали ризик јер нема генерисања нових хемикалија које су опасне по животну

средину, као што је случај при сагоревању органског отпада. Компост побољшава плодност пољопривредних земљишта и доприноси рекултацији оштећених а користи се и у биоремедијацији контаминираних земљишта. Компостирањем се постиже и санитарни ефекат јер термофилни услови и топлота настала биолошким путем доприносе настанку производа у коме је редукован број патогених организама и штетних инсеката, ларви цревних паразита и корова. У шестом потпоглављу, **Употреба компоста**, кандидат је објаснио улогу коју компост има у циљу повећања садржаја хумуса и побољшање структуре земљишта. Користи се у спречавању сабијености земљишта чиме се обезбеђује ваздушни капацитет, повећава капацитет задржавања влаге песковитих земљишта, смањујући штетни утицај на биљке током сушних периода, док у глиновитим земљиштима компост утиче на дренажност и ваздушни капацитет. Да би могао да се користи у пољопривреди, компост мора да буде физички, хемијски и биолошки стабилан, да не буде фитотоксичан и да има уравнотежен садржај минерала. Иако компост оплемењује земљиште, он често не садржи довољно неопходних хранљивих елемената па је кандидат навео препоруку да се користи у комбинацији са минералним ђубривом. Седмо потпоглавље, **Компостирање дуванског отпада**, даје преглед коришћења дуванског отпада као материјала погодног за компостирање. Кандидат указује на могућност рециклирања ове врсте отпада који се ствара у значајним количинама како у Србији, тако и у свету. Без обзира на чињеницу да дувански отпад има висок садржај органске материје, његово коришћење је ограничено због садржаја никотина, чија је количина углавном изнад граница прописаних Директивом ЕУ. Према Директиви ЕУ, садржај никотина преко 500 mg/kg декларише овај отпад у категорију опасног отпада. Из тог разлога дувански отпад се не може одлагати заједно са урбаним отпадом, јер представља ризик за загађење животне средине, воде, ваздуха и земљишта, већ се мора уништити под посебним условима, што економски оптерећује произвођаче и прерађиваче дувана. На основу истраживања која су вршена у овој области утврђено је да је дувански отпад могуће вишеструко користити. За ослобађање дуванског отпада од токсичних елемената, пре свега никотина, процес компостирања представља оптимално решење. Чист дувански отпад има штетан утицај на микробиолошку активност у земљишту, али овако добијени компости је стимулишу, пре свега због значајног садржаја олигоелемената. Кандидат је дао преглед досадашњих истраживања у овој области, како у свету, тако и у Србији, управо од стране истраживача са Пољопривредног факултета Универзитета у Београду. Такође, дао је хронолошки преглед процеса микробне деградације никотина од 1944. године до данас, који су у употреби великих дуванских компанија, као што су „B&W Tobacco“ и „British American Tobacco“. У оквиру поднасловa *Органски (комунални) отпад као сировина за компостирање* табеларно је приказао састав различитих врста отпада и указао да избор технологије коришћења зависи од врсте, количине и доње топлотне моћи отпада. Према подацима Организације Уједињених нација за храну и пољопривреду (FAO), око 1,3 милијарде тона произведених прехранбених артикала годишње се не искористи на адекватан начин и постаје отпад. Једно од решења које може помоћи у смањењу количине нагомилавања поменутих врста отпада и које би омогућило одрживи развој људске заједнице, јесте компостирање. Управо је повећање еколошке свести, последњих година, изазвало и повећање интересовања за процес компостирања а све у циљу спречавања или смањења загађења животне средине, као и одрживог управљања отпадом који настаје као производ различите активности друштва. Потпоглавља од осмог до дванаестог описују органске материјале који су коришћени у процесу компостирања (листови дувана типа Вирџинија који су декларисани као отпад, мрква, кромпир, црни лук, кокошији и овчији стајњак). Описане су њихове физичко-хемијске карактеристике, могућности компостирања, као и њихове количине које се декларишу као отпад на годишњем нивоу.

Материјал и методе. Ово поглавље подељено је у два потпоглавља са више подналова. У уводном делу кандидат је навео институције и лабораторије у којима су вршена истраживања и дао приказ дијаграма тока истраживања.

У првом потпоглављу, **Материјал**, дати су подаци о материјалима који су коришћени у раду: Листови дувана типа Вирцинија (производно подручје Шабац, преузети од компаније Alliance One Тобасо-Шабац), који су класификовани као отпад у току процеса индустријске обраде; Отпад из домаћинства (мрква, кромпир и црни лук пореклом из малопродајних објеката широке потрошње); Екскременти животиња (кокошака и оваца) помешани са сламом (овчији и кокошији стајњак), преузети од самосталног пољопривредног произвођача из околине Бајине Баште; Популација бактерија које разграђују никотин (извршена је њихова изолација и селекција и формирање микробног конзорцијума). Истраживање је обављено кроз две групе експеримената, у различитим годинама: I Компостирање дуванског отпада са овчијим и кокошијим стајњаком у природним условима на локацији Бајина Башта, у неконтролисаним условима у трајању од три месеца (март - мај 2015. године). Формиране су две експерименталне гомиле по следећој шеми: 50% дуванског отпада + 50% овчији стајњак; 50% дуванског отпада + 50% кокошији стајњак. Поређење је извршено са референтним узорком (100% дуванског отпада). Анализа садржаја никотина обављена је на почетку огледа и sukcesивно након 15, 30, 45, 60, 75 и 90 дана. II Компостирање дуванског отпада са биљним (органским) отпадом из домаћинства на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду од маја до јуна 2017. године. Формиране су три идентичне компостне гомиле, које су се састојале од 55% дуванског отпада и 45% биљног отпада (мрква, кромпир и црни лук). Овим гомилама су додате никотинофилне бактерије (Б). Једна смеша је компостирана у контролисаним (К), друга у полуконтролисаним (ПК) и трећа у неконтролисаним (НК) условима. Формиране су још две компостне гомиле без никотинофилних бактерија; четврта гомила (на идентичан начин као и претходне гомиле) и пета (референтна), која се састојала само од дуванског отпада; компостирање ових гомила је извршено у полуконтролисаним условима. Анализе садржаја никотина извршене су на почетку огледа, а затим после прве, друге, треће и четврте недеље. На крају огледа, извршене су анализе садржаја елемената у компосту, као и одређивање разлике у маси компостних гомила на почетку и крају експеримента.

У другом потпоглављу, **Методe**, наведене су методе које су коришћене у истраживању: Изолација и молекуларна идентификација никотинофилних бактерија; Припрема експерименталних компостних гомила; Праћење параметара процеса компостирања; Анализа садржаја никотина у експерименталним компостним гомилама; Анализа садржаја елемената у експерименталним компостним гомилама; Основне хемијске карактеристике компоста; Статистичка анализа података, а затим кроз већи број подналова дата су детаљнија објашњења за сваку од набројаних метода које су саставни део истраживања. Изолација и молекуларна идентификација никотинофилних бактерија: Изолација и селекција популација бактерија које разграђују никотин и формирање микробног конзорцијума обављени су на Пољопривредном факултету, Универзитета у Београду у лабораторији Катедре за еколошку микробиологију. Изолација никотинофилних бактерија из дуванског отпада извршена је коришћењем модификације *Talaie et al. (2010)* методе, где је додат никотин као једини извор угљеника и енергије. Морфолошка својства бактеријских изолата испитивана су помоћу светлосног микроскопа након инкубације на хранљивом агару. Идентификација никотинофилних бактеријских изолата извешена је анализом секвенце 16S rDNA. Припрема експерименталних узорака: Једна од карактеристика дуванског отпада је ниска влажност, па је у првој фази експеримента извршено влажење, па потом уситњавање и мешање дуванског и другог биодеградибилног отпада. Бактерије које разграђују никотин додаване су у компостне гомиле сваких седам дана у количини од 75ml (4% v/v). Праћење параметара процеса компостирања: У свим узорцима који су подвргнути различитим

условима: контролисаним - у инкубатору са константном температуром и влажношћу, полуконтролисаним - лабораторијским условима (константна температура и променљива влажност) и неконтролисаним - спољашњи услови (спољна променљива температура и влажност), свакодневно су мерени температура и садржај влаге (термометар K-TIP 5115; микропроцесорски мерач влаге, модел бр. RS7825PS, CE ISO-2178). Праћене су и температура и релативна влажност експерименталне просторије (Kestrel 4000, Nielsen-Kellerman, SAD). Резултати су представљени као недељна средња вредност. Подаци за спољашње услове преузети су од Републичког хидрометеоролошког завода Србије. Анализа садржаја никотина у експерименталним компостним гомилама: Садржај никотина у експерименталним узорцима анализиран је методом течне хроматографије високих перформанси (HPLC, Waters Breeze, Binari Pump systems, USA), опсега таласне дужине (190-700) nm. Никотин је идентификован на UV таласним дужинама између 210 и 400 nm, а квантификација је извршена на 254 nm. Анализа садржаја елемената атомском апсорпционом спектрометријом (AAS): Атомски апсорпциони спектрометар "Analyst 300, Perkin-Elmer" са HCL лампама и MHS 15 Mercury/Hydride системом, мерног опсега (-0.500-3.000 Å), опсега таласне дужине (185-860 nm) коришћен је за одређивање елемената и садржаја токсичних елемената. Радни параметри су постављени према препоруци произвођача. Елементи су одређивани коришћењем ваздух-ацетилен пламена. Основне хемијске карактеристике компоста: pH вредност у KCl је мерена потенциометријски применом дигиталног pH метра (ph 700, Eutech Instruments). Садржај органске материје је израчунат на основу садржаја органског угљеника, који је добијен дихроматном методом и помножен са van Bemmelen-овим фактором 1,72 (Van Bemmelen, 1980). Однос C/N је добијен рачунским путем. Електрокондуктивитет је одређен мешањем компоста и воде у односу 1:2,5 и помоћу Eutech Handheld метер кит (Thermoscientific). Тумачење добијених резултата извршено је на основу граничних вредности објављених у: ECOFI (2014); Canadian Council of Ministers of the Environment (2005); Estrada De Luis and Gomez Palacios (2013); Brinton (2000): 4a Austria; 4b Belgium, 4c France, 4d Spain; Official Journal of the European Community (OJ, 1998). Статистичка анализа: За статистичку анализу података коришћен је програм SPSS, version 23.0. Пошто су подаци добијени из нормалне дистрибуције, разлике између група анализиране су једнофакторском анализом варијансе (One-Way ANOVA), а у случају значајних разлика, post hoc test (Turkey HSD test) коришћен је за додатна поређења између група. Статистичка значајност постављена је на ниво $p < 0,05$.

Резултати и дискусија. Резултати овог истраживања систематично су представљени кроз два потпоглавља са више подналова, са одговарајућим текстуалним тумачењима, табелама, сликама и графичким приказима који илуструју добијене резултате. Дискусија је јасна и темељна, уз поређење са резултатима претходних истраживања.

У првом потпоглављу, ***Компостирање дуванског отпада са овчијим и кокошијим стајњаком у природним (неконтролисаним) условима*** графички су приказани подаци за просечну месечну температуру и релативну влажност ваздуха по месецима током 90 дана трајања експеримента, а према подацима Републичког хидрометеоролошког завода Србије (РХМЗС). С обзиром на чињеницу да на природни процес компостирања утиче и количина падавина табеларно су приказани и подаци везани за број кишних дана по месецима. Почетни садржај никотина у дуванском отпаду износио је 17.363 mg/kg. При самом мешању дуванског отпада са другим органским отпадом, садржај никотина се смањио за 66,5%. Промена у садржају никотина у свим третманима је била приметна током процеса компостирања, показујући константно опадајући тренд. Тренд промене је у складу са резултатима добијеним у претходним студијама. Степен разградње никотина зависио је од времена инкубације и типа компостне смеше. За разлику од референтног узорка (чист дувански отпад), у узорцима овог отпада са додатком овчијег и кокошијег стајњака, садржај

никотина је након 75 дана процеса компостирања био испод границе детекције ($<10 \text{ mg/kg}$), али је динамика разградње никотина незнатно варијала у различитим временским интервалима. Садржај никотина у третману где је додат кокошији стајњак је након 60 дана компостирања износио 487 mg/kg и тиме је испуњен стандард о граничној вредности никотина. Након 90 дана закључено је да су процеси компостирања и смањење садржаја никотина успешно завршени. На крају експеримента, добијена је хомогена и униформна маса црне боје у оба третмана са додатком стајњака а садржај никотина је смањен на испод 10 mg/kg у оба експериментална третмана, што је знатно испод вредности прописане директивом ЕУ. На основу параметара околног ваздуха може се закључити да је динамика разлагања никотина зависила од температуре и релативне влажности ваздуха. Разградња никотина повећавала се са порастом температуре и релативне влажности ваздуха. Поред смањења никотина, утврђен је и губитак масе у компостним гомилама (65-67%) као резултат биохемијских минерализационих процеса органских једињења. С обзиром да је на крају процеса компостирања добијен хомоген компост униформних карактеристика и црне боје, закључено је да је степен његове зрелости веома висок. Ово потпоглавље садржи два поднасловa у оквиру којих су приказани резултати појединачних анализа хемијског састава компоста добијеног овим поступком. Процена хемијског квалитета компоста произведеног од дуванског отпада и овчијег и кокошијег стајњака: Утврђено је повећање садржаја есенцијалних метала додавањем органских ђубрива у односу на референтни узорак. Додавањем кокошијег стајњака, садржај бакра (Cu) је повећан за 17,51% а цинка (Zn) чак четири пута у односу на вредност у компостној гомили са референтним узорком. Садржај гвожђа (Fe) и мангана (Mn) је такође повећан додавањем органских ђубрива у односу на референтни узорак. Повећане варијације у концентрацији метала могу се приписати и смањењу тежине компоста, што је узроковано микробном трансформацијом органске материје у овом периоду. За разлику од есенцијалних метала, садржај токсичних елемената је смањен у односу на референтни узорак. Резултати указују да је само садржај кадмијума (Cd) у компостној гомили референтног узорка био нешто изнад дозвољених граница критеријума ЕСОФИ и Канадског министарства животне средине (за $0,575 \text{ mg/kg}$ или 16%). Додавање органских ђубрива дуванском отпаду утицало је на смањење садржаја кадмијума у компосту: за око 39% додавањем овчијег стајњака и за око 48% додавањем кокошијег стајњака. Добијени резултати јасно указују да је присуство кадмијума у финалном производу резултат присуства овог елемента у дуванском отпаду јер биљка апсорбује јоне метала и различита једињења из земљишта, што зависи од природне концентрације метала у земљишту, употребе оплеменењивача, као што су фосфорна ђубрива, животињски отпад и/или отпадни муљ, и рН вредности земљишта. Основна хемијска својства компоста добијеног мешањем дуванског отпада и стајњака: Резултати хемијских анализа указују да су добијени компости алкалне реакције средине (рН је од 8,85 до 8,88). Компост добијен од кокошијег стајњака имао је висок садржај органске материје (36,19%), док је овај садржај био знатно нижи у компосту који је добијен мешањем дуванског отпада са овчијим стајњаком (20,71%). Додавање кокошијег стајњака дуванском отпаду условило је израженији однос C/N (13,0:1) него додавање овчијег стајњака (5,3:1), као и већи електрокондуктивитет (12,04) у односу на додавање овчијег стајњака (7,65).

Друго потпоглавље, ***Компостирање дуванског отпада са биљним (органским) отпадом из домаћинства*** такође садржи више поднасловa. Морфолошка и молекуларна карактеризација никотинофилних бактерија: Из дуванског отпада су методом обогаћења на минералној течной подлози уз додаток 4% никотина изолована четири бактеријска изолата. Изолати су означени ознакама ID3, ID4, ID5 и ID6. Сви изолати припадали су грам-позитивним штапићима који формирају споре, са малим кремастим колонијама на хранљивом агару. Поређење секвенце изолата ID3 са секвенцама у бази података показало је 100% сличности са парцијалном секвенцом врсте *Brevibacillus* sp. , док је секвенца изолата ID4 показала максималну сличност са неколико сојева *Brevibacillus* sp. и *Brevibacillus laterosporus*. С друге стране, секвенца

изолата ID5 показала је 99% сличности са сојевима бактерија *Brevibacillus* sp. и *Brevibacillus laterosporus*, док је секвенца изолата ID6 показала 99% сличности са парцијалном секвенцом *Bacillus licheniformis* соја LTV7. Способност биоразградње различитих органских једињења помоћу бактерија родова *Brevibacillus* sp. и *Bacillus licheniformis* је добро документована у литератури. Разградња никотина током компостирања дуванског и органског отпада из домаћинства: Током експеримента дошло је до константног смањења садржаја никотина у свим испитиванима третманима, али се проценат разградње разликовао у зависности од третмана. На почетку експеримента, ниво никотина у дуванском отпаду износио је 17.363 mg/kg, док је након мешања са отпадом из домаћинства смањен на 9.790,6 mg/kg (за око 43,6%). Садржај никотина је већ након прве недеље драстично смањен у свим третманима где су додате никотинофилне бактерије, док је смањење било слабије изражено у третману без присуства ових бактерија. Најмање смањење садржаја никотина забележено је у референтном узорку (100% дувански отпад без бактерија). Даље смањење садржаја никотина настављено је и у другој недељи експеримента, посебно у третманима са додатим никотинофилним бактеријама. Садржај никотина у узорцима са бактеријама, је после треће недеље био испод граничне вредности 500 mg/kg, које је прописала ЕУ. У третману ПК (узорак без бактерија у полуконтролисаним условима) садржај никотина је смањен испод граничне вредности после четврте недеље. У третману Р (референтни узорак без бактерија, у полуконтролисаним условима) садржај никотина је на крају инкубационог периода и даље био веома висок (8.812,6 mg/kg). Добијени резултати недвосмислено указују да је процес разградње никотина убрзан додавањем бактерија. Утицај параметара процеса на брзину разградње никотина и процес компостирања: Током експеримента, динамика разградње никотина зависила је од садржаја влаге и температуре у компостним гомилама. У контролисаним, односно полуконтролисаним условима, температура је током огледа била 34°C, односно 22,5°C, док је у неконтролисаним условима температура варијала између 25,9°C и 30,1°C. Амбијентална релативна влажност ваздуха је у контролисаним условима одржавана на 60%, док је у полуконтролисаним, односно неконтролисаним условима релативна влажност била између 45,3% и 55,6%, односно између 48,1% и 60,3%. У контролисаним условима, постигнута је највећа вредност температуре и влажности компостне гомиле, тако да су деградација никотина и трансформација органске материје биле најбрже. Термофилна фаза је постигнута између прве и друге недеље компостирања а крајем треће недеље температура је достигла максималну вредност од 64,8°C, након чега је опадала до краја процеса. У полуконтролисаним условима, термофилна фаза је такође регистрована између прве и друге недеље, али је одмах после друге недеље приметан константан пад температуре до краја процеса компостирања. У неконтролисаним условима, максимална температура је постигнута на крају треће недеље (40,4°C). У односу на максималне температуре у контролисаним и полуконтролисаним условима, ова температура није висока, због чега су разградња никотина и трансформација органске материје били успорени. Влажност компостних гомила одликовала се мањим осцилацијама. У контролисаним условима, влажност гомиле се кретала у опсегу од 46,1% (после прве недеље компостирања) и 60,2% (после треће недеље). У полуконтролисаним и неконтролисаним условима, осцилације су биле слабије изражене; од 42,9% до 48,3% у полуконтролисаним и од 35,2% до 37,4% у неконтролисаним условима. Добијени резултати указују на то да су температура и садржај влаге у узорцима важни фактори који утичу на динамику разградње никотина. Са њиховим повећањем повећавала се и брзина разградње никотина. Упоредо са смањењем садржаја никотина у узорцима, смањивала се и маса компостних гомила за око 60%. Узорак КБ (контролисани услови са бактеријама) је имао нешто већи губитак (66,4%) у поређењу са осталим узорцима. Резултати статистичке анализе показали су да постоји значајна разлика ($p < 0,05$) између узорка без бактерија у полуконтролисаним узорцима (ПК) са узорцима у полуконтролисаним и контролисаним условима којима су додаване бактерије (ПКБ и КБ). Такође, резултати анализе су показали да нема значајне статистичке разлике

између узорака са бактеријама у различитим условима компостирања. Процена хемијског квалитета компоста произведеног од дуванског и биљног отпада са додатком бактерија: Добијени резултати указују да је, са аспекта пољопривредне производње, постигнут прихватљив садржај основних макрохранива. Садржаји азота и калијума су виши од граничних вредности (изнад 1%) Правилника о условима за разврставање и утврђивање квалитета средстава за исхрану биља, одступањима садржаја хранљивих материја и минималним и максималним вредностима дозвољеног одступања садржаја хранљивих материја и о садржини декларације и начину обележавања средстава за исхрану биља („Службени гласник РС”, број 30/17; 31/18), али не и садржај фосфора (0,2%). Према критеријумима који су предложени од стране ОЈ (1998), добијени компости испуњавају стандард према садржају укупног азота, који би требало да буде нижи од 2%. Према европским и светским стандардима о граничним вредностима токсичних елемената, а који су наведени раније у извештају, садржај већине ових елемената је знатно нижи у финалним производима у односу на граничне вредности, осим кадмијума чија се концентрација кретала у интервалу од 3,12 mg/kg до 3,76 mg/kg. Сви наведени стандарди предвиђају максимално дозвољену концентрацију кадмијума од 3 mg/kg. Ово указује да је добијени компост неодогавајућег квалитета, посебно у третманима ПКБ (одступање од стандарда је 19%) и НКБ (одступање око 25%), док компост добијен у третману КБ веома мало одступа (4%) од наведених стандарда у погледу садржаја кадмијума. Већи садржај Cd у финалним производима могао би се објаснити чињеницом да је биљка дувана позната и као хиперакумулатор Cd из земљишта. Поред тога, земљишта која имају висок садржај глине, а која су карактеристична за гајење дувана типа Вирџинија, имају и висок потенцијал акумулације кадмијума. Поред дувана, могући извор за висок садржај у финалним производима је и мрква, која такође има способност акумулације Cd из земљишта у великој мери а чији је отпад додат компостним гомилама. Основна хемијска својства компоста добијеног мешањем дуванског отпада и отпада из домаћинства: настали компости у свим третманима су алкалне реакције средине, при чему је рН вредност од 8,02 најнижа у третману НКБ (узорак са бактеријама у неконтролисаним условима). Садржај органске материје је знатно виши у третманима КБ (31,16%) и ПКБ (28,70%) у односу на НКБ (20,21%). Исти закључак важи и за C/N однос, који представља параметар зрелости компоста. Највећа вредност електрокондуктивности констатована је у третману КБ (10,18) а најмања у третману НКБ (8,03). Овај параметар је уско повезан са садржајем органске материје и може се користити у циљу процене обезбеђености компоста хранљивим елементима.

Закључак. У овом поглављу су сумирани најважнији резултати експерименталних истраживања, на основу којих су изведени релевантни закључци. Дувански отпад се може компостирати након мешања са другим органским материјалима биљног и анималног порекла. Садржај никотина у почетном дуванском отпаду био је веома висок али је већ мешањем са другим врстама доступног органског отпада његов садржај знатно смањен. Најмање смањење садржаја никотина регистровано је при мешању дуванског отпада са остацима из домаћинства (око 43,6%) а највеће при мешању са овчијим стајњаком (66,6%). Садржај никотина смањивао се константно током процеса компостирања и зависио је од почетног састава мешовитих компостних гомила, услова компостирања и присуства никотинофилних бактерија. У финалним производима код свих мешовитих компостних гомила садржај никотина био је мањи од 10 mg/kg, што је испод граничне вредности од 500 mg/kg, према прописима ЕУ. Параметри процеса, температура и влага у компостним гомилама, као и температура и влага околине, имали су утицај на брзину редукције никотина и процес компостирања. Разградња никотина повећавала се са порастом температуре и влажности. Анализом садржаја макро- и микроелемената и поређењем са референтним вредностима, закључено је да је добијени компост доброг квалитета, са високим садржајем

органске материје и неутралном до благо алкалном и алкалном реакцијом. Према критеријуму ЕСОФИ (2014), сви финални производи задовољавају стандарде квалитета на основу садржаја токсичних елемената. Међутим, према осталим коришћеним стандардима, садржај кадмијума је већи у референтном узорку, док је његов садржај у мешавинама дуванског отпада и органских ђубрива прихватљив. На крају процеса компостирања, маса компоста је статистички значајно смањена за више од 60%, што је значајно за редукцију дуванског отпада и смањење оптерећења на депонијама где се овај отпад одлаже. Компост најбољих карактеристика добијен је мешањем дуванског отпада и овчијег и кокошијег стајњака, у природним условима. Садржај никотина био је испод прописане границе а садржај макро- и микроелемената и токсичних елемената задовољавајући, тако да је примена оваквог компоста прихватљива за биљну производњу.

Значајан закључак овог експеримента је да се процес биоразградње може одвијати у природним, неконтролисаним условима, на локацији настанка или одлагања отпада. Без обзира на дужу трајање процеса, он не захтева велика економска улагања, а пре свега смањује трошкове транспорта. Ово истраживање потврђује да биоаугментација у комбинацији са компостирањем представља ефикасан алат за редукцију органског оптерећења на депонијама и заштиту природе од опасног отпада који садржи никотин.

Литература. У дисертацији је на правилан начин цитирано 276 литературних извора. Референце су актуелне и релевантне за предмет истраживања а цитирање је изведено на правилан начин.

3. Закључак и предлог Комисије

Докторска дисертација под називом „Биодеградација отпадних листова дувана у различитим условима компостирања“ кандидата Немање Мандића, мастер инжењера технологије, представља оригинални и самостални научно-истраживачки рад. Ова докторска дисертација је спроведена у складу са планом и програмом који је одобрен приликом пријаве теме дисертације. Кандидат Немања Мандић је на правилан начин дефинисао циљеве и хипотезе истраживања, применио савремене и адекватне методе и успешно обавио експериментални део истраживања. Постављене хипотезе су потврђене добијеним резултатима, који су правилно и прегледно приказани, детаљно анализирани и коментарисани и адекватно упоређени са подацима из доступне литературе. Закључци су добро изведени и у сагласности са добијеним резултатима истраживања и вођеном дискусијом. Кандидат је применио адекватне статистичке методе за анализу добијених резултата.

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. Кандидат је потврдио циљеве истраживања да се додавањем других врста органског отпада дуванском отпаду, под различитим условима компостирања и у присуству или одсуству никотинофилних бактерија, може добити производ који има већу употребну вредност од полазне сировине и дефинисао мешавине, односно финалне производе, који испуњавају захтеве релевантних законских регулатива.

Резултати ове докторске дисертације могу послужити као смернице пољопривредним произвођачима у погледу коришћења отпада као вредног ресурса за побољшање квалитета пољопривредне производње. Такође, значајан резултат докторске дисертације је и селекција и идентификација никотинофилних бактерија, које могу бити коришћене и у другим (био)технолошким поступцима за детоксикацију дуванског отпада и разградњу никотина. Ова докторска дисертација значајно доприноси развоју фундаменталних знања из Науке о преради ратарских производа и Еколошке микробиологије и даје основу за будућа истраживања у овим областима.

Имајући у виду све наведено, а посебно научни и апликативни значај резултата истраживања, Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију кандидата Немање Мандића, мастер инжењера технологије, под називом „**Биодеградација отпадних листова дувана у различитим условима компостирања**“ и предлаже Наставно-научном већу Пољопривредног факултета Универзитета у Београду да ову позитивну оцену усвоји и омогући кандидату јавну одбрану докторске дисертације.

У Београду, 23.04.2025.

Чланови комисије:

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

др Блажо Лалевић, редовни професор
Универзитета у Београду - Пољопривредног факултета,
(Ужа научна област: Еколошка микробиологија)

др Татјана Шолевић Кнудсен, научни саветник
Института за хемију, технологију и металургију Универзитета у Београду
(Ужа научна дисциплина: Хемија животне средине)

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

др Александар Костић, ванредни професор
Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду
(Ужа научна област: Хемија)

Прилог

Објављен рад мастер инжењера технологије Немање Мандића у научном часопису на SCI листи који квалификује кандидата за одбрану дисертације:

Mandić, N., Lalević, B., Raičević, V., Radojičić, V. (2023): Impact of composting conditions on the nicotine degradation rate using nicotinophilic bacteria from tobacco waste. *International Journal of Environmental Science and Technology* 20 (7), 7787–7798. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04405-3>

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ
Београд-Земун

Предмет: Оцена извештаја о провери оригиналности докторске дисертације „Биодеградација отпадних листова дувана у различитим условима компостирања”, аутора Немање Мандића

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и Извештаја из програма iThenticate којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације аутора Немање Мандића, дана 04.03.2025. године, константујемо да утврђена количина подударања текста износи 17%. Овај степен подударности последица је личних имена, библиографских података о коришћеној литератури из области процеса компостирања, тзв. општих места и података, цитата, као и претходно публикованих резултата истраживања докторанда, који су проистекли из његове дисертације, што је у складу са чланом 9. овог 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.

У Београду, 23.04.2025. године

Ментори:

др Весна Радојичић, редовни професор
Универзитета у Београду - Пољопривредног факултета
(Ментор 1)

др Блажо Лалевић, редовни професор
Универзитета у Београду - Пољопривредног факултета,
(Ментор 2)