

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Владимира Павићевића

Одлуком бр. 35/82 од 03.03.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Владимира Павићевића под насловом:

„Безотпадна технологија прераде плода клеке (*Juniperus communis L.*)”

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

**11.06.2012.** Кандидат Владимир Павићевић је пријавио тему докторске дисертације под насловом „Безотпадна технологија прераде плода клеке (*Juniperus communis L.*)”.

**26.06.2014.** Наставно-научно веће је донело одлуку бр 35/170 о именовању чланова Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације Владимира Павићевића под насловом „Безотпадна технологија прераде плода клеке (*Juniperus communis L.*)”.

**03.11.2014.** Наставно-научно веће је прихватило оцену Комисије о научној заснованости теме докторске дисертације под насловом „Безотпадна технологија прераде плода клеке (*Juniperus communis L.*)”, кандидата Владимира Павићевића, по одлуци бр 35/297, а за ментора је именован др Драган Повреновић, ванредни професор ТМФ-а.

**24.11.2014.** На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Владимира

Павићевића под насловом „Безотпадна технологија прераде плода клеке (*Juniperus communis* L.)” (Одлука б/206-5278/2-14).

**03.03.2016.** Наставно-научно веће је донело одлуку о именовању чланова Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације Владимира Павићевића под насловом „Безотпадна технологија прераде плода клеке (*Juniperus communis* L.)” у саставу проф. др Драган Повреновић, ТМФ, проф. др Слободан Петровић, ТМФ, проф. др Влада Вељковић, Технолошки факултет, Лесковац и доц. др Светомир Милојевић, Факултет техничких наука, Косовска Митровица (Одлука бр. 35/82).

## 1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Хемија и хемијска технологија, ужа научна област Инжењерство заштите животне средине, за коју је Технолошко–металуршки факултет матична установа. Ментор дисертације је др Драган Повреновић, дипл.инж., ванредни професор, који је биран за област Инжењерство заштите животне средине.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Владимир Павићевић рођен је 20.6.1960. године у Београду, где је завршио основну школу и Девету београдску гимназију. Студије на Технолошко–металуршком факултету Универзитета у Београду започео је 1978. године и дипломирао је маја 1983. године, са просечном оценом у току студија 9,53 и оценом дипломског рада 10. На последипломске студије на Катедри за неорганску хемијску технологију уписао се 1983. године, испите је положио са просечном оценом 9,86 и магистарски рад са темом „Термодинамика система  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{--NaH}_2\text{PO}_4\text{--H}_2\text{O}$ ” одбранио је 1994. године. Од 1984. године ради као асистент-приправник и асистент на Катедри за неорганску хемијску технологију и Катедри за инжењерство заштите животне средине. Од 2010. је у звању стручног сарадника на Катедри за инжењерство заштите животне средине. На Високој школи струковних студија Београдска политехника (бившој Вишој политехничкој школи у Београду) предавао је у звању вишег предавача од 1995. до 2009. године.

У научном и стручном раду бави се инжењерством заштите животне средине (технологија припреме воде, технологија пречишћавања отпадних вода, управљање комуналним отпадом, управљање опасним отпадом, ремедијација загађених средина), биопроцесним инжењерством и хемијском термодинамиком. Учествовао је у пројектима основних истраживања у хемији, пројектима технолошког развоја и пројектима из области заштите животне средине које су финансирале Европска агенција за реконструкцију (ЕАР), Програм Уједињених нација за развој (UNDP), Шведска агенција за међународну сарадњу (SIDA), Краљевина Норвешка и Немачка савезна агенција за заштиту животне средине (Umweltbundesamt), а реализовала ресорна министарства током претходних година. Члан је Српског хемијског друштва (члан Управног одбора у више мандата и Председништва у два мандата), Удружења за технологију воде и санитарно инжењерство (члан Програмско–редакционог одбора

задужен за опасан отпад Међународне конференције Отпадне воде, комунални чврсти отпад и опасан отпад од 2003. године) и Асоцијације за управљање чврстим отпадом Србије. Стекао је звање одговорног пројектанта технолошких процеса Инжењерске коморе Србије.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Владимира Павићевића, дипл. инж. технол., написана је на 124 стране и садржи следеће главне делове: *Увод* (3 стране), *Теоријски део* (24 стране), *Експериментални део* (12 страна), *Резултати и дискусија* (71 страна), *Закључак* (3 стране) и *Литература* са 96 референци (11 страна). Кандидат је, уз текст дисертације, као прилог приложио биографију и додатке прописане правилима Универзитета о подношењу докторских теза на одобравање. На почетку дисертације дат је резиме на српском и енглеском језику, као и списак коришћених симбола и скраћеница. Дисертација садржи укупно 63 слике (9 слика су преузете из литературе, 54 слике су приказ оригиналних резултата) и 18 табела (6 табела су преузете из литературе, 12 табела је приказ оригиналних резултата).

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Наслов докторске дисертације је јасно формулисан и указује на предмет обављених истраживања. У резимеу је дат кратак преглед остварених резултата, као и научни допринос резултата истраживања.

**Увод** приказује кратак пресек стања у области проблематике дисертације с посебним освртом на класичну и микроталасну хидродестилацију. Указано је, такође, на предмет и главне циљеве истраживања спроведених у оквиру докторске дисертације.

**Теоријски део** представља биљку клеку (*Juniperus communis* L.), њене морфолошке особине, распрострањеност и значај, сам плод клеке (*Fructus Juniperi*), његову структуру, време и начин бербе, као и хемијски састав. Наведена је употреба клеке у народној и традиционалној медицини, ветерини, фармацеутској и прехранбеној индустрији, с посебним освртом на комерцијално коришћење течног и чврстог остатка. Најважнији производ прераде плода клеке је етарско уље (*Aetheroleum Juniperi*), па су посебно приказане његове физичко-хемијске особине, хемијски састав, структура најважнијих компоненти, њихова фармаколошка својства и главне аспекте његове примене. Представљени су технолошки поступци за добијање етарског уља: механичко пресовање, различите екстракције и поступак хидродестилације, који је као најзначајнији и детаљније обрађен. Приказан је теоријски аспект и наведене су и објашњене три врсте хидродестилације: водом, водом и воденом паром и воденом паром. Кинетика хидродестилације је описана моделима заснованим на нестационарној дифузији, моделом кинетике псеудо првог реда и феноменолошким моделима (тропараметарским моделом Совове и Алексовског и једноставнијим двопараметарским моделом Милојевића и Вељковића).

**Експериментални део** садржи приказ процеса хидродестилације кроз опис биљног материјала, припреме плода клеке за хидродестилацију, апаратуре по Клевенџеру (Clavenger) и детаљног поступка извођења хидродестилације етарског уља. Одређивање његовог хемијског састава вршено је гасном хроматографијом са пламено–јонизујућим детектором (GC/FID) и гасном хроматографијом са масеном спектрометријом (GC/MS) чије су процедуре детаљно наведене. Код одређивања антиоксидативне активности етарског уља, течног и чврстог остатка хидродестилације дат је попис коришћених хемикалија, припрема метанолног екстракта чврстог остатка, као и поступци одређивања укупних фенола, флавоноида и флавонола. Посебно су представљене неензимске индиректне методе, тј тестови на стабилне DPPH<sup>•</sup>, ABTS<sup>•+</sup> и OH<sup>•</sup> радикале. За одређивање антимикуробне активности описани су припрема сојева микроорганизама, екстракта и узорака, као и примењена бујон–микродилуциона метода.

Поглавље **Резултати и дискусија** има пет потпоглавља. У првом потпоглављу приказани су резултати истраживања механизма, кинетике, приноса и хемијског састава етарских уља плода клеке добијених класичном (ХД) и микроталсном хидродестилацијом (МХД) при различитим брзинама дестилације. Оба процеса се одигравају по истом механизму који укључује истовремено „брзо” (испирање) и „споро” (дифузија) издвајање етарског уља. Као резултат, исти кинетички модели могу бити примењени за оба процеса. На основу постојећих модела за ХД развијен је и потврђен кинетички модел за МХД етарског уља клеке. Пошто је овај кинетички модел проверен за различито биље, он има општи значај. Принос етарског уља повећава се са порастом брзине хидродестилације и за ХД и за МХД, при чему су већи приноси добијени за ХД. Резултати GC/FID и GC/MS анализе указују да нису пронађене разлике у квалитативном хемијском саставу етарских уља издвојених помоћу ХД и МХД. Међутим, начин загревања (ХД или МХД) има утицај на квантитативну промену хемијског састава. Техника издвајања има најмањи утицај код лакоиспарљивих компоненти, средњи код тешкоиспарљивих компоненти и највећи код средњеиспарљивих компоненти. У другом потпоглављу испитан је утицај брзине дестилације и хидромодула на принос и састав етарског уља. Принос се повећава са порастом брзине дестилације за све хидромодуле. Принос се не мења са повећањем хидромодула при најмањој брзини дестилације, али се смањује при већим брзинама дестилације. Брзина дестилације и хидромодул не утичу на квалитативни хемијски састав етарског уља, али утичу на његов квантитативан састав. Промене у зависности од брзине дестилације при различитим хидромодулима има јасне опште трендове према врсти компонената. Брзина дестилације има најмањи утицај на квантитативну промену хемијског састава код лакоиспарљивих компоненти, средњи код тешкоиспарљивих компоненти и највећи код средњеиспарљивих компоненти. Промена хидромодула много мање утиче на квантитивни хемијски састав од промене брзине дестилације. У трећем потпоглављу анализирани су резултати истраживања утицаја начина и времена мљења плода клеке на принос и квантитативан хемијски састав етарских уља плода клеке добијених класичном и микроталсном хидродестилацијом. Док се укупан принос етарског уља смањује са продужењем времена „сувог“ мљења због губитка дела

лакоиспарљивих компоненти етарског уља услед загревања суве биљне масе, он се повећава са продужењем времена „мокрог“ млевења (са водом). Време млевења има већи утицај на промену хемијског састава код „сувог“ него код „мокрог“ млевења. Четврто потпоглавље приказује резултате анализе диференцијалних трошкова енергије хидродестилације у циљу оптимизације потрошње енергије. Показано је да се оптимизацијом времена трајања хидродестилације могу постићи значајне уштеде у зависности од примењеног сценарија. У последњем потпоглављу дискутовани су резултати испитивања антиоксидативне и антимицробне активности течног и чврстог остатка хидродестилације. Ови резултати су потврдили да оба остатка показују испитиване биолошке активности.

У поглављу **Закључак**, концизно су изнети постигнути резултати истраживања који су у потпуности сагласни са постављеним циљевима дисертације. Указано је да су резултати ове докторске дисертације фундаментални и апликативни.

На крају дисертације наведена је **Литература** која садржи све референце цитиране у раду.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Проблематика дисертације се односи на истраживања класичне и микроталсне хидродестилације етарског уља плода клеке при различитим брзинама дестилације и различитим хидромодулима. Хидродестилација је једноставна сепарациона техника, безбедна за извођење, без штетног утицаја на животну средину, којом се производи етарско уље високог квалитета, па се највише користи и у лабораторијским истраживањима и индустријској производњи. Током последње деценије класична хидродестилација је унапређена увођењем технике микроталсног зрачења за загревање водене суспензије биљног материјала, која је коришћена за издвајање етарског уља из различитог биља. Међутим, ова модерна сепарациона техника није примењена за издвајање етарског уља из плода клеке, све до истраживања обављених у оквиру ове дисертације. Велики значај имају и резултати истраживања кинетике класичне и микроталсне хидродестилације етарског уља плода клеке, који су показали да се оба процеса одигравају истим механизмима: истовременим испирањем и дифузијом. Развијени кинетички модел попуниће празно место у литератури у области кинетике микроталсне хидродестилације на примеру етарског уља из плода клеке. Додатна вредност ове дисертације је су резултати истраживања утицаја начина припреме плода клеке за хидродестилацију, која су упоредила „суво“ и „мокро“ млевење плода клеке, о чему се до сада није водило рачуна. Одређивањем антиоксидативне и антимицробне активности течног и чврстог остатка хидродестилације, о чему нема доступних литературних података, доказано да су оне вредне сировине које могу имати комерцијалну примену.

#### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Приликом израде дисертације коришћена је бројна литература коју чини 96 библиографских референци. Наведени радови су коришћени приликом планирања експерименталног рада, анализе и тумачења резултата истраживања и извођења закључака. Из образложења предложене теме дисертације и објављених радова, као и навода коришћене литературе, јасно је да кандидат Владимир Павићевић добро познаје проблематику реализованих истраживања.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру дисертације коришћене су технике класичне и микроталасне хидродестилације уз примену апаратуре по Клевенџеру. Током обе дестилације, у одабраним временским интервалима, мерена је запремина издвојеног етарског уља ради одређивање приноса. Сакупљено етарско уље је, после сушења анхидрованим натријум-сулфатом, чувано у затвореним вијалама у фрижидеру на 4 °С. Хемијски састав етарског уља је одређиван гасном хроматографијом и масеном спектрометријом GC/FID и GC/MS. Компоненте етарског уља су идентификоване поређењем њихових масених спектра са одговарајућим базама података Wiley275 и NIST/NBS. Експерименталне вредности за ретенциона времена су одређене коришћењем калибрисаног програма AMDIS ver.2.64, а затим поређене са вредностима из доступне литературе. Параметри кинетичких модела су одређени помоћу нелинеарне регресије методом најмањих квадрата уз помоћ рачунарског програма који користи алгоритам Levenberg-Marquardt, који комбинује методе Gauss-Newton и најбржег опадања (steepest descent method) за подешавање вредности параметара у итеративној процедури. За одређивање антиоксидативног капацитета коришћене су неензимске индиректне методе DPPH, ABTS и „хватање ОН радикала”, док је за одређивање антимикуробне активности коришћена микродилуциона метода и већи број бактерија и гљивица. Све примењене методе су адекватне и широко се примењују у истраживањима хидродестилације етарских уља из различитог биља.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Оригинални резултати који су остварени при изради ове дисертације су апликативни и пружају могућност за реализацију у пракси. Увођење “мокрог“ мљења плода клеке ће унапредити постојеће поступке добијања етарског уља плода клеке у смислу смањења губитака лакоиспраљивих компоненти. Развијени лабораторијски поступак добијања етарског уља микроталасном хидродестилацијом може послужити као основа за развој полуиндустријског поступка производње етарског уља из плода клеке. И течни и чврсти остатак хидродестилације се могу искористити као сировине за припрему вредних производа са антиоксидативном и антимикуробном активношћу. Према тома, поступак микроталасне хидродестилације је друштвено оправдан, јер омогућава примену плода клеке за добијање производа са додатном вредношћу. Он, такође, може допринети побољшању економског стандарда руралних региона на којима успева клека, и то ангажовањем локалног становништва на сакупљању плода клеке и директним запошљавањем у процесима хидродестилације.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Владимир Павићевић, током израде ове докторске дисертације, показао самосталност у креирању и реализацији експеримента и анализи и обради резултата. Успешна примена савремених научних сазнања и метода и показана зрелост у приступу и реализацији истраживања указују да је кандидат способан за самосталан научноистраживачки рад.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Предмет истраживања ове дисертације је микроталсна хидродестилација етарског уља плода клеке при различитим брзинама дестилације и различитим хидромодулима. Ради оцене доприноса микроталсаног загревања ефектима хидродестилације, упоредо је истраживана и класична хидродестилација. Утврђено је да је механизам дестилације етарског уља при микроталсној хидродестилацији идентичан механизму који је утврђен за класичну хидродестилацију. Као последица, исти кинетички модел који укључује истовремено испирање и дифузију етарског уља може се применити на оба процеса али са различитим параметрима модела. Такође, начин и интензитет загревања не утиче на квалитативни хемијски састав етарског уља, али да утиче на квантитативни састав, и то нарочито код средњеиспарљивих компоненти. Независно од технике загревања и хидромодула, принос етарског уља се повећава са порастом брзине дестилације. Значајан резултат је да принос етарског уља зависи од начина припреме плода клеке за хидродестилацију и да је он већи код „мокрог“ него код „сувог“ мљења због мањег губитка лакоиспарљивих компоненти. Показано је, такође, да течни и чврсти остаци хидродестилације имају и антимицробну и антиоксидативну активност.

Научни допринос приказаних истраживања, односи се пре свега, на:

- утврђивање утицаја начина и времена припреме плода клеке („суво“ и „мокро“ мљење), технике (класична и микроталсна хидродестилација) и оперативних услова хидродестилације (брзина дестилације и хидромодул) на принос и хемијски састав етарског уља плода клеке,
- оптимизација утрошка енергије, тј. времена трајања хидродестилације етарског уља плода клеке,
- дефинисање механизма и кинетичких модела класичне и микроталсне хидродестилације етарског уља плода клеке,
- утврђивање антиоксидативне и антимицробне активносет течног и чврстог остатка хидродестилације етарског уља плода клеке.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем циљева и постављених хипотеза у односу на добијене резултате, може се констатовати да приказана истраживања у потпуности задовољавају критеријуме једне докторске дисертације. Увидом у доступну литературу из ове области, као и у резултате који су добијени применом адекватне методологије, може се закључити да су коришћене методе у складу са савременим методама и да су резултати до којих је дошао кандидат значајни не само са научног, већ и практичног аспекта.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Владимир Павићевић, дипл. инж. технол., до сада је објавио и саопштио следеће радове, који укључују резултате произашле из ове дисертације:

##### ***M21 – Рад у врхунском међународном часопису***

1. **Pavićević V.**, Marković M., Milojević S., Ristić M., Povrenović D., Veljković V. (2016), Microwave-assisted hydrodistillation of juniper berry essential oil: kinetic modeling and chemical composition, *J Chem Technol Biot*, Vol 91, No 4, 883–891., ISSN 1097-4660, Enginireeing, Chemical 39/135, IF(2014) 2,249

##### ***M23 – Радови у међународном часопису***

1. Milojević S., Radosavljević D., **Pavićević V.**, Pejanović S., Veljković V. (2013), Modeling the kinetics of essential oil hydrodistillation from plant materials, *Hem Ind*, Vol 67, No 5, 843–859., ISSN 0367–598X, Enginireeing, Chemical 103/133, IF(2013) 0,562
2. **Pavićević V.**, Radović M., Milojević S., Marković M., Ristić M., Povrenović D.; Uticaj brzine hidrodestilacije i hidromodula na hemijski sastav etarskog ulja kleke (*Juniperus communis* L.), *Hem Ind*, DOI:10.2298/HEMIND151119011P

##### ***M33 – Саопштења са међународног скупа штампана у целини***

1. **Pavićević V.**, Milojević S., Radosavljević D., Veljković V., Ristić M. (2013), Energy consumption optimization of essential oil hydrodistillation from juniper berries, *Proceedings of the VI International Conference on Sustainable Energy and Environmental Protection (SEEP)*, Maribor, 601–607.
2. Milojević S., Đorđević B., Marković M., Ristić M., Pilčević D., Radović M., **Pavićević V.** (2013), Characterization of juniper berry (*Juniperus Communis* L.) essential oil from Sijarinska župa region, *Proceedings of the XIII International Conference Research and Development in Mechanical Industry (RADMI)*, Kopaonik, 875–881.
3. **Pavićević V.**, Radovanović J., Marković M., Milojević S., Ristić M., Mitić M., Pilčević D. (2014), Characterization of juniper berry (*Juniperus Communis* L.) essential oil from Rogozna mountain, *Proceedings of the XIV International Conference Research and Development in Mechanical Industry (RADMI)*, Topola, 904–912.



## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Предметна докторска дисертација представља значајан и оригиналан научни допринос, а што је потврђено публикавањем делова дисертације у виду једног рада у врхунском међународном часопису, два рада у међународним часописима и три рада кроз саопштења на међународним скуповима, штампана у целини. Кандидат Владимир Павићевић је показао самосталност и потребне вештине у изради докторске дисертације и поседује све неопходне способности за бављење научно–истраживачким радом. Комисија предлаже Наставно-научном већу да се докторска дисертација под називом **„Безотпадна технологија прераде плода клеке (*Juniperus communis* L.)”** кандидата Владимира Павићевића прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....

Проф. др Драган Повреновић, ментор  
Универзитет у Београду  
Технолошко-металуршки факултет

.....

Проф. др Слободан Петровић  
Универзитет у Београду  
Технолошко-металуршки факултет

.....

Проф. др Влада Вељковић  
Универзитет у Нишу  
Технолошки факултет у Лесковцу

.....

Доц. др Светомир Милојевић  
Универзитет у Приштини  
Факултет техничких наука у Косовској Митровици