

**НАУЧНО-НАСТАВНОМ ВЕЋУ
ПОЉОПРИВРЕДНОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Предмет: Оцена урађене докторске дисертације мр Жељке Рудић

Одлуком Научно-наставног већа Пољопривредног факултета - Универзитета у Београду бр. 290/10-5.1. од 24.09.2015. године именована је комисија за оцену и одбрану докторске дисертације мр Жељке Рудић под насловом: „Фактори погоршања квалитета вода плитких панонских језера и њихов допринос еколошком ризику“. Комисија у саставу др Вера Раичевић, редовни професор, Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, др Весна Пајић, доцент, Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, др Зорана Науновић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, др Енике Грегорић, доцент, Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, др Игор Кљујев, доцент, Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, на основу прегледа докторске дисертације, подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. ОПШТИ ПОДАЦИ О ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Докторска дисертација **мр Жељке Рудић** под насловом: „Фактори погоршања квалитета вода плитких панонских језера и њихов допринос еколошком ризику“, написана је на 193 стране текста. У оквиру дисертације приказано је 34 табеле, 42 графикона и 21 прилог. Такође, саставни део дисертације је и резиме са кључним речима на српском и енглеском језику. Докторска дисертација садржи осам основних поглавља, и то: Увод (стр. 1-4), Преглед литературе (стр. 5-35), Циљеви истраживања (стр. 36), Материјал и методе (стр. 37-67), Резултати и дискусија (стр. 68-138), Закључак (стр. 139-144) Литература (стр. 145-163) и Прилог (стр. 164-193). На крају текста дисертације налази се Биографија кандидата. Поглавља Материјал и методе, Резултати и Дискусија садрже више потпоглавља.

2. ПРИКАЗ И АНАЛИЗА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Увод. У уводу кандидат је истакао да се убрзана еутрофикација сматра једним од главних разлога глобалне деградације животне средине. За последњих 50 година у свету, као последица различитих антропогених утицаја (испуштање отпадне воде различитог порекла, интензивна пољопривредна производња), ниво хранљивих материја у многим рекама и језерима се драматично повећао. У процени и управљању квалитетом воде, неопходно је разумевање еколошких процеса како би се предвидели одговори на спољашње факторе, имајући у виду да је процена еколошког ризика основа за даљу процену ризика по здравље људи.

Преглед литературе. У Прегледу литературе обрађени су доступни литературни подаци из области која је предмет проучавања дисертације. Ово поглавље се састоји из пет потпоглавља. У првом потпоглављу *Еутрофикација плитких језера* истакнуто је да су плитка језера важне компоненте биосфере, али су изузетно осетљива на људске активности, као и да се због различите морфологије, хидрологије, историје еутрофикације свако језеро мора посматрати као јединствено. Такође, екосистеми се не могу посматрати посебно, издвојено, већ као део вишег система интеграције. У другом потпоглављу *Патогени микроорганизми у воденим телима*, указује се на проблеме одређивања извора, путева ширења микроорганизама, пре него што дође до ингестије од стране јединке или популације, зависно од њихове природе. У трећем потпоглављу *Еколошки и*

микробиолошки ризик истакнуто је да је анализа ризика сложен процес који захтева интеракцију доносиоца одлука и аналитичара и да методе за процену ризика заправо чине научни рад применљивим у доношењу одлука када је у питању управљање ризиком, односно израда планова, смерница, стратегија и прописа. Четврто потпоглавље је посвећено *Еколошким и микробиолошким моделима*, у коме је указано да модел, као резултат моделирања представља апстракцију реалности, односно упрошћену реалност. Модели акватичких екосистема су разнолики у структури и намени, као што је различита мотивација за њихов развој. Без обзира на разлике у еколошкој структури, модели акватичних екосистема се обично формулишу као сет диференцијалних једначина формулисаних на основу масеног биланса улазних и излазних величина. У петом потпоглављу *Језера Палић и Лудаш* представљена је историја језера и преглед активности предузетих у циљу решавања проблема загађења и санације језера као и садашње стање које и поред низа активности спроведених у прошлости у погледу квалитета и квантитета воде није решено на задовољавајући начин.

Циљеви истраживања. Научни циљ докторске дисертације је квантификација појединих фактора загађења и њихов однос са природним елементима плитких панонских језера као и њихов допринос еколошком статусу проучаваног подручја. Сагледавајући важност расутих и концентрисаних извора загађења циљ дисертације је квантитативна оцена изложености, ефеката, ризика и процене доприноса ефлуента Постројења за Пречишћавање опадних вода града Суботице (ППОВ) еколошком и микробиолошком статусу језера као и квантификација утицаја пољопривреде на еколошки статус водених тела.

Развијање и примена техника за квантитативну оцену изложености, ефеката и ризика је од посебног значаја обзиром да плитка језера представљају веома осетљиве водене системе и са аспекта еколошког и микробиолошког ризика још увек су недовољно проучена. Сагледавајући важност регионалног парка „Палић-Лудаш“, као и чињеницу да је Лудашко језеро означено као рамсарско подручје ЗУ002 (влажно подручје од међународног значаја), циљ дисертације је боље разумевање постојећих проблема и проналажење ефикасних мера заштите.

Материјал и методе. Ова докторска дисертација реализована је кроз теренска и лабораторијска истраживања и у овом поглављу детаљно су представљене све методе које су примењене у изради тезе. У оквиру овог поглавља издвојено је седам потпоглавља.

Геолошке и хидролошке карактеристике подручја су преузете из Студије изводљивости чишћења и ремедијације седимента Палићког језера (Института за водопривреду “Јарослав Черни”, 2011). За анализу земљишног покривача је коришћена педолошка карта Војводине, размере 1:50.000. За анализу начина коришћења земљишта коришћени су сателитски снимци, доступни на софтверској апликацији GoogleEarth.

Узорковање воде и седимента за хемијске и микробиолошке анализе је вршено на 7 локација у оквиру заштићеног подручја, односно на 3 локације на Палићком језеру (насип између сектора 2 и сектора 3; Мушки шtrand и Јахтинг клуб), 2 на Лудашком језеру (север-Визиторски центар „Лудаш“ и југ – школа и 2 на каналу „Палић-Лудаш“ (почетак канала – излив из омладинског језера и крај канала пред улив у Лудашко језеро. Узоркован је и ефлуент са Постројења за Пречишћавање отпадних вода града Суботице. Седимент је узет на Палићком језеру-Мушки шtrand и Јахтинг клуб, крај канала „Палић -Лудаш“ и Лудашко језеро- север и југ. Узорци су узети у периоду новембар 2013.-март 2015.године. Узорковање је вршено по акредитованој методи Института “Јарослав Черни” (ознака: SMEWW 21st 1060 А, В, С).

Детекција бактерија, индикатора фекалног загађења, укупних колиформних, фекалних колиформних, *Escherichia coli* и *Enterococcus* је вршено методом највероватнијег броја у 100 mL воде (MPN), коришћењем 3 огледа-теста у сваком разблажењу. За претходни тест за укупне и фекалне колиформе је коришћен Мас Conkey (лактозни) бујон са Дурхамовим цевчицама.

Потврдни тест за колиформе је извршен на Ендо агару и бојењем бактерија по Граму. Претходни тест за *Enterococcus* је вршен на азид декстрозном бујону, а потврдни тест на ескулин жучном агару. Укупан број хетеротрофних бактерија (мезофила и психрофила) је вршен на хранљивом агару.

Хлорофил *a* је одређен након екстракције 90% мешавином етанола и воде (v/v), центрифугирања и спектроскопским мерењем (стандард ISO:10260, 1992).

Мерење температуре, рН, електролитичке проводљивости, садржаја кисеоника и засићење воде кисеоником је вршено *in situ*, са мултипараметарским инструментом Consort C6030. Суспендоване материје, укупни фосфор, ортофосфати, амонијум јони, нитрити, нитрати, растворени органски азот, укупан азот, алкалитет, бикарбонати, карбонати, хлориди, сулфати, калцијум, магнезијум, натријум, ТОЦ, БПК5 су мерени према референтним документима: SMEWW 21st: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st Edition (2005)с ПАНА, AWWA, WEF.; SMEWW 14th: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 14th Edition (1975) ПАНА, AWWA, WEF.; Приручник: Вода за пиће, Стандардне методе за испитивање хигијенске исправности, Савезни завод за здравствену заштиту НИП „Привредни преглед“, Београд (1990).

У потпоглављу *Процена фактора загађења* описана је методологија која је коришћена за процену дифузног и концентрисаног загађења. За процену дифузног загађења коришћена је адаптирана методологија описана од стране Moss и сар. (1997.) која оптерећење водотока укупним фосфором и азотом рачуна помоћу коефицијената за различите географске услове и интезитет пољопривреде. За израчунавање коефицијента потребно је познавање подручја, количине воде која се у просеку слива у језеро као и величине површине која се обрађује. Прорачун количине воде површинског дотицаја је урађен применом CN методе (*Curve Number method*), коју је развио Завод за конзервацију земљишта САД (USA Soil Conservation Service). Према овој методи отицај је у функцији падавина и карактеристика подручја (типа земљишта, начина обраде и биљног покривача). Као извор концентрисаног загађења посматран је ефлуент ППОВ града Суботице, који утиче на водни биланс и хемизам воде. За процену масеног оптерећења овог извора коришћени су подаци о количини воде која се пречишћава и потребном квалитету ефлуента за које је димензионисано, као и мерени подаци за одговарајући период (Институт „Јарослав Черни“, 2011.). У делу *Моделирање и обрада података* истакнуто је да су коришћени софтверски пакети IBM® SPSS® v.22, MiniTab 17 и Microsoft Excel. У овом поглављу приказани су основни параметри описне (дескриптивне) статистике за изабране променљиве и спроведене су фактор анализа и дискриминантна анализа.

Такође, у овом потпоглављу представљен је AQUATOX модел, као општи модел за еколошку оцену ризика који може да прикаже судбину и ефекте конвенционалних загађујућих материја (нутријенти, седимент) и других токсичних материја у акватичним екосистемима. Концепт програма, верификација појединачних конструкција или математичких програмских формулација које се користе су приказани у техничкој документацији Park и Clough (2009). Детаљан опис једначина које су коришћене је доступан на вебсајту: <http://water.epa.gov/scitech/datait/models/aquatox/data.cfm>.

Извршена је валидација и калибрација модела као оцена и прилагођавање параметара модела и константи да би се побољшало слагање између рачунских и мерених података, односно демонстрација да модел у оквиру домена има задовољавајућу тачност. У AQUATOX је укључена и анализа осетљивости која може да испита осетљивост више излаза модела на више параметара. Анализа неизвесности је такође инкорпорирана у овај пакет и може да се користи за спровођење статистичке анализе осетљивости.

Резултати и Дискусија Резултати истраживања обрађени су у оквиру четири потпоглавља и приказани су уз текстуална тумачења, прегледне табеле, графиконе који илуструју истраживања а добијени резултати су дискутовани уз концизна тумачења. У првом потпоглављу *Квалитет воде и седимента* представљени су резултати и оцена квалитета воде и седимента на основу хемијских, биолошких и микробиолошких параметара. Оцена квалитета је извршена на основу Уредбе о граничним вредностима загађујућих материја у површинским и подземним водама и седименту и роковима за њихово достизање („Сл. Гласник РС, бр. 50/2012) и Уредбе о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање („Сл. Гласник РС, бр. 67/2011 и 48/2012). Анализа параметара квалитета воде указала је да језерска вода има задовољавајућу способност аутопурификације. Међутим, капацитет самопречишћавања није довољан, јер је у сектору 4 Палићког језера и даље висока вредност БПК5 и хлорофила, што указује на високо органско оптерећење проузроковано додатним изворима нутријената, унутрашњим и/или спољашњим. На путу воде од ППОВ до Лудашког језера квалитет воде значајно варира. Вода у каналу „Палић-Лудаш“ значајно одступа и то на делу пред улив у језеро Лудаш. Вода у овом каналу је непријатног мириса, мале транспарентности, видљиво загађена, са великом количином суспендованих минералних и органских материја, високе концентрације азота и фосфора и високе рН вредности. Максималне вредности хлорофила *a* у посматраном периоду су регистроване у јулу месецу у Северном делу Лудашког језера и четвртм сектору у новембру 2013. Садржај нутријената у свим узорцима седимента је јако висок и одговара интензивном процесу еутрофикације, хиперпродукцији алги и водених биљака, које по завршетку животног циклуса падају на дно, значајно увећавајући количину седимента, мењајући еколошке услове воденог екосистема. Просечан садржај фосфора у седименту Палићког језера износи 2,53 и 1,01 g/kg суве материје на локацијама Мушки штанд и Јахтинг клуб. Просечан садржај фосфора у седименту канала (пред улив у Лудаш) износи 5,66 g/kg суве материје, док се просечан садржај фосфора у седименту Лудашког језера значајно разликује на југу и северу и износи 2,09 и 19,36 g/kg суве материје.

Укупан број бактерија, као и сви индикатори фекалног загађења су знатно већи у води на крају канала „Палић-Лудаш“ у односу на остале локације. У води канала „Палић-Лудаш“ (крај канала) у половини случајева је измерено више од 10.000 MPN/100 mL *E. coli* и ентерокока. Најлошијег квалитета, са санитарног аспекта, је вода Лудашког језера на северу. У седименту је констатовано присуство фекалних колиформних бактерија, *E. coli* и ентерокока. Генерална оцена је да су највише вредности по овим параметрима забележене у каналском седименту.

Ефлуент постројења за пречишћавање отпадних вода карактеришу просечне вредности (у посматраном периоду) БПК од 8,5 mgO₂/L, а вредност се кретала у опсегу од минималних 4,2 до максималних 19,4 mgO₂/L што је знатно испод граничних вредности дефинисаних Уредбом (25 mgO₂/L). Садржај суспендованих материја такође задовољава прописане критеријуме (35 mg/L), креће се у распону 1,2 - 10,5 mg/L. Вредности укупног азота и фосфора су, као и код претходних параметара испод вредности дефинисаних Уредбом. Вредност укупног фосфора се креће у распону од 0,2 до 0,56 mg/L (просек 0,38 mg/L), док је укупни азот од 1,53 до 5,77 mg/L (просек 4,61 mg/L). Анализом резултата наведених параметара, може се закључити да вода која се испушта у Палићко језеро из погона отпадних вода задовољава прописане критеријуме, док микробиолошки параметри ефлуента превазилазе максималне вредности прописане Уредбом о граничним вредностима емисије загађујућих материја и воде.

У другом потпоглављу представљени су резултати о *Расути и концентрисаним изворима загађења*. За расуте изворе загађења анализиран је површински отицај за које је интензитет падавина одлучујући фактор. Коришћен је низ података о падавинама од 20 година. Укупна површина са које се претпоставља утицај спирања је величине 604 ha. Узимајући у обзир меродавне падавине и израчунату CN вредност, очитан је отицај од 102 mm, за шире подручје за

целу предвегетациону сезону. Одвојено је разматран отицај само за пољопривредне површине које налажу на обале језер. Обрадиве површине у околини Палићког језера покривају 133 ha, а око Лудашког језера 168 ha. Претпоставка је да су житарице и окопавине заступљене у једнаком односу. За исту суму падавина предвегетационог периода читан је отицај са подручја око Палићког језера 115mm, док се за подручје око Лудашког језера може усвојити отицај као и за цело подручје од 102 mm. Земљиште на локацијама у околини сектора 2 Палићког језера и Лудаш југ по текстури су песковита иловача. Вредности рН узорака са обе локације се креће у распону 7,8-8,2 и указује на средње алкална земљишта. Земљишта су добро обезбеђена азотом а средње до добро обезбеђена фосфором и калијумом.

Атмосферско оптерећење које доносе киша и прашина из околине, износи према прорачунима 120,8 kg фосфора годишње и 21.140 kg азота, док је процењена годишња количина фосфора и азота која доспева са обрадивих површина 354 и 19.668 kg.

Као главни концентрисани извор загађења означен је пречистач отпадних вода града Суботице, чија изградња је започета 2006. год, а технички пријем објекта и опреме уследио је током лета 2011. год. Пројектовани капацитет новог ППОВ у бескишном дану износи 36.000 m³, а у кишном 72.000 m³. Квалитет пречишћене воде са ППОВ је дефинисан према Директиви 91/271/ЕЕС. Према пројектованим параметрима уноси се 131 т укупног азота и 13 тона укупног фосфора годишње. Постројење ради у бољем режиму од пројектованог тако да се са пречишћеном отпадном водом од 14 мил. m³, са просечном концентрацијом 4,61 mg/L TN, и 0,38 mg/L TP, уноси у језеро 64 т укупног азота и 5 т укупног фосфора. Количина воде које доспевају у оба језера површинским отицајем су практично занемарљиве у односу на количине које доспевају са ППОВ. Како год да се посматра отицај, само са пољопривредних површина или са укупне површине у проучаваном појасу, износи мање од 4% од укупно процењене количине воде која доспева у језеро. Ако се посматра само оптерећење Палићког језера, с обзиром да је реципијент за ППОВ, отицање са пољопривредних површина износи приближно 1% од укупне количине. Масено оптерећење укупним фосфором из расутих извора износи тек 9% за цело подручје, а за укупни азот 39%.

У циљу квантификације потенцијалног оптерећења нутријентима из седимента усвојена је концепција да је првих десет центиметара у интеракцији са водом. За прорачун је коришћена површина Палићког (565 ha) и Лудашког језера (317 ha), запреминска маса ($\rho_v=1.458 \text{ kg/m}^3$) и просечне вредности мерења (Палић: TN 2.045 mg/kg, TP 1.770 mg/kg; Лудаш: TN 5.785 mg/kg, TP 10.725 mg/kg). Поређењем овог оптерећења са потенцијалним оптерећењем из седимента, јасно је да је унутрашњи извор нутријената најзначајнији. У слоју седимента од 10 cm Палићког језера има 280 пута више укупног фосфора и 22 пута више укупног азота, у односу на спољашњи извор. Један од циљева докторске дисертације је развијање модела којим би се на основу лако мерљивих параметара добила информација о потенцијалном микробиолошком ризику или ризику од хиперпродукције биомасе и ови резултати су представљени у потпоглављу *Статистички модел*. Сврха модела је прелиминарна оцена квалитета језерске воде на нивоу детекције ризика (висок или низак). Параметри од интереса, односно зависна променљива су хлорофил *a* и ентерококе због способности да се понашају као кључни индикатори еутрофикације и микробиолошког ризика.

За примену дискриминантне анализе у циљу предвиђања ризика од еутрофикације, односно микробиолошког ризика тестирани су параметри: суспендоване материје, рН, температура, проводљивост, растворљиви кисеоник електролитичка проводљивост. Добијени коефицијенти корелације указују на слабу до средњу зависност између параметара. Између хлорофила *a* с једне стране и рН и суспендованих материја с друге стране постоји средња зависност а постојање зависности између ентерокока и хлорофила *a* је евидентно. У циљу смањења броја параметара примењена је фактор анализа а с обзиром да су у оба случаја издвојени рН, температура и суспендоване материје, електролитичка проводљивост и кисеоник су занемарени у даљим корацима. Осим нормализације података извршена је и категоризација података и изабрани су

одговарајући репери. Тако је присуство хлорофила *a* у концентрацији већој од 150 mg/m³ индикатор високог ризика хиперпродукције, а као репер за ентерококе је изабрано 35 CFU/100 mL), што је критеријум за воду која се користи за рекреацију према US EPA.

Резултати мултиваријационог теста-Wilks' Lambda указују да је дискриминатна функција модела хиперпродукције биомасе значајна ($\lambda=0.737$, $\chi^2(2)=10.0$, $p=0.006$). Резултати теста за модел микробиолошког ризика указују да функција не прави очекивану дискриминацију између променљивих ($\lambda=0.882$, $\chi^2(2)=4.0$, $p=0.134$).

Осетљивост, специфичност и свеукупне тачности модела је указала да су високоризични случајеви били боље предвиђени у моделу ризика од хиперпродукције биомасе (82%), у односу на модел микробиолошког ризика (57%). Случајеви ниског ризика су боље предвиђани моделом микробиолошког ризика 75%, док је другим моделом низак ризик добро предвиђен у 57% случајева. Свеукупна тачност предвиђања модела је 72% за модел ризика од хиперпродукције биомасе и 67% за модел микробиолошког ризика. Ово значи да ће у 2 од 3 случаја модел бити у стању да тачно предвиди ризик од еутрофикације и микробиолошке деградације квалитета воде.

У четвртом потпоглављу резултата и дискусије, *AQUATOX*, представљено је опонашање динамике алги под утицајем промене уноса нутријената, помоћу *AQUATOX*, v.3. као општег модела за процену прошлости, садашњости и будућности директних и индиректних ефеката различитих стресора.

Екосистеми су веома комплексни, па је дефинисање важних обележја који их на прави начин представљају тежак и компликован процес а модели (физички или математички) немају све компоненте реалног система и због тога је неопходно поједностављење система у погледу оптерећења и карактеристика локације. Разлике у концепту између Палићког и Лудашког језера је то што је за Палићко језеро главни извор прихрањивања постројење за пречишћавање отпадни вода, а за Лудашко језеро то је канал "Палић-Лудаш". За ова језера постоји много информација из различитих извора који описују варирање концентрације кисеоника, повећање органске продукције, замућеност, таложење седимента, цветања алги, помора рибе, итд. Концептуални модел, због губитка многих врста (фауне бентоса, промењен рибљи фонд, повлачење субмерзних макрофита), је прилично једноставан. Модел је прилагођен структури панонских језера и актуелном ланцу исхране. Фитопланктон је представљен са две групе модрозелених алги, једном групом зелених алги и две групе силикатних алги, док је зоопланктон презентован са две секције: ротаторије и копеподе. С обзиром да је осиромашен рибљи фонд у језерима Палић и Лудаш, и да су углавном присутне рибе из фамилије *Cyprinidae*, рибе су у моделу презентоване групама шаран и караш. Након иницијалне калибрације модела извршене су анализе осетљивости и неизвесности. Од параметара осетљивости су коришћени максимална стопа фотосинтезе, zasiћење светлости и оптимална температура за две наведене заједнице модрозелених алги, оптимална температура, коефицијент полузасићења извором хране, максимални унос хране, минималан плен и коефицијент морталитета за популације ротаторија и копепода, шаран и караш, као и рН и дотицање воде. Анализа осетљивости је била усмерена на садржај раствореног кисеоника и хлорофил *a*.

Резултати указују како се варирање параметара осетљивости $\pm 10\%$ одражава на излазне компоненте. Резултати сугеришу да је модел *AQUATOX* високо осетљив на температурна ограничења и да је температура свакако један од параметара који треба да буде тачан и поуздан. Осим тога значајан утицај има и рН, од физиолошких параметара највећи утицај има максимална стопа фотосинтезе, с обзиром да она утиче на величину продукције биомасе. Повећање рН, максималног уноса хране (копеподе) и оптимална температура групе модрозелених алги доводи до смањења садржаја хлорофила *a*. Користан алат у тестирању сценарија је и фактор увећања оптерећења, који је применљив на сва оптерећења. Под екстремним условима оптерећења могу да

буду и 10 пута већа од процењених. Спроведене су две анализе неизвесности за модел Палићког језера. У првој је сагледан ризик од повећања оптерећења из дифузних извора (азота и фосфора) уз коришћење фактора увећања оптерећења. За фактор увећања дифузног оптерећења одабрана је логнормална расподела података, а за испитивање утицаја максималне стопе фотосинтезе одабрана је нормална расподела. У другој анализи је испитан утицај неизвесности максималне стопе фотосинтезе за модрозелене алге које доминирају у јесењем периоду. За модел Лудашког језера је спроведена анализа неизвесности за оптерећење које долази из канала „Палић-Лудаш, Утицај неизвесности параметра максималне стопе фотосинтезе се огледа и у смањењу концентрације кисеоника у летњем периоду и у великој флукуацији хлорофила *a* у периоду лето/јесен. Резултати анализе неизвесности дифузних оптерећења указују да њихов утицај постоји, посебно у периодима када се јављају екстремни, мада је ипак занемарљив у односу на флукуације које може да изазове физиолошки фактор, попут максималне стопе фотосинтезе. Утицај неизвесности максималне стопе фотосинтезе има веће ефекте од промене дифузног оптерећења. На тренутном нивоу тачности, референтна симулација је задовољавајућа са аспекта обезбеђења додатних информација за побољшање процене и управљања еколошким ризиком. На основу симулације директних и индиректних ефеката и поређења резултата моделирања биомасе са измереним подацима може се закључити да су резултати модела у одређеном делу сезоне нижи од измерених података. Један од разлога могу бити и додатни или потцењени резултат извора загађења који утичу на продукцију биомасе. Иако је анализа неизвесности показала да и драстичне промене дифузног оптерећења немају већег утицаја на рачунске вредности, још једном је испитан утицај ових вредности на модел Палићког језера и демонстриран кроз разлике у резултатима добијеним у референтној симулацији и новој са увећеним дифузним оптерећењем. Константно увећање дифузног загађења (10 пута) је довело до промене садржаја хлорофила *a* и кисеоника, међутим, цветање алги се не јавља у траженом периоду, тако да постоји могућност да нека сезонска промена додатно утиче на њихову бројност.

Закључак. Закључци су правилно изведени и у потпуности произилазе из добијених резултата. Палићко и Лудашко језеро се одликују јако високим садржајем нутријената што одговара интензивном процесу еутрофикације. Квалитет воде у Палићком језеру на основу БПК5 и укупног органског угљеника одговара квалитету IV класе. Параметри, попут укупног фосфора и хлорида, указују на јасну разлику у квалитету воде сектора 2 и сектора 4 (Мушки шtrand и Јахтинг клуб) Палићког језера. У сектору 2 просечна концентрација азота износи 3,09 mg/L и фосфора 0,60 mg/L, а на локацији Мушки шtrand концентрација азота износи 4,77 mg/L а фосфора 0,38 mg/L. Квалитет воде северног и јужног дела Лудашког језера је по многим параметрима различит. Тако вредности укупног органског угљеника у води Лудашког језера варирају у широким границама од 8,95 mgC/L до 144,8 mgC/L, а просечне вредности хлорофила *a* северном делу језера су 391 µg/L, а у јужном делу 60 µg/L. Јужни део језера Лудаш је мање продуктиван од северног дела када је у питању фитопланктон, мада у овом делу језера су доминантне субмерзне макрофите.

Квалитет воде у Лудашком језеру, на оба локалитета, према БПК5 вредностима, одговара квалитету воде IV класе. Укупном оптерећењу језера нутријентима доприноси и висок садржај укупног азота и фосфора у седименту који износи: Мушки шtrand азот 2,69 g/kg SM, фосфор 2,53 g/kg SM; Јахтинг клуб: азот 1,40 g/kg SM, фосфор 1,01 g/kg SM. Садржај укупног азота и фосфора у седименту Лудаш север износи: азот 7,92 g/kg SM и фосфор 19,36 g/kg SM, и Лудаш-југ азот 3,65 g/kg SM и фосфор 2,09 g/kg SM, што указује на велико оптерећење које доводи до нарушавања стабилности воденог екосистема. Микробиолошким испитивањем воде и седимента констатовано је присуство *E. coli* и ентерокока у готово свим узорцима. Квалитет воде у почетку и на крају канала „Палић-Лудаш“ се значајно разликује по већини параметара, тако садржај укупног азота и фосфора на крају канала је за око 50% већи у односу на почетак канала где износи: азот 4,51 mg/L и фосфор 0,40 mg/L. Вода и седимент краја канала „Палић-Лудаш“ се одликују изузетно високим концентрацијама индикатора фекалног загађења.

ППОВ града Суботице је добитак, не само за град, већ и за шире окружење. Ефлуент задовољава прописане стандарде хемијског квалитета, међутим и даље представља велико масено оптерећење за Палићко језеро. Микробиолошки параметри ефлуента (у просеку $24,5 \times 10^4$ MPN/100 mL укупних колиформних бактерија, $16,2 \times 10^4$ MPN/100 mL фекалних колиформних бактерија и $9,71 \times 10^3$ MPN/100 mL ентерокока) превазилази максималне дозвољене вредности.

Доказано је добро одвијање аутопурификације у оба језера (у 87% узорак Палићког језера и 95% узорак Лудашког језера FO/N>1), међутим, садржај нутријената је и даље веома висок. Режим воде Палићког и Лудашког језера, који је некада био искључиво у функцији климатско-метеоролошких чинилаца, сада је комплетно под антропогеним утицајем и зависи од дотока пречишћене отпадне воде са ППОВ (око 14 милиона годишње) у Палићко језеро и њеном преливању у Лудашко језеро.

Масено оптерећење укупним фосфором из расутих извора износи 9%, за азот 39%. од укупних спољашњих извора нутријената.

Концентрисано оптерећење Палићког језера је представљено ефлуентом ППОВ града Суботице, са којим се у језеро уноси 64 t укупног азота и 5 t укупног фосфора годишње.

Најзначајнији, од свих извора је унутрашњи извор, седимент јер у слоју од 10 cm Палићкој језера има 280 пута више укупног фосфора и 22 пута више укупног азота у односу на спољашње изворе (дифузне и концентрисане).

Изабрани, лакомерљиви параметри, за предвиђање ризика од хиперпродукције биомасе односно микробиолошког ризика, температура и рН су се показали корисни за брзу процену језерских услова.

На основу дискриминантне анализе, коришћењем температуре и рН као предиктора за предвиђање ризика за модел хиперпродукције биомасе и модел микробиолошког ризика свеукупна тачност модела је 72% за модел хиперпродукције биомасе и 67% за модел микробиолошког ризика. Модел ће бити у стању да тачно предвиди ризике од еутрофикације и микробиолошке деградације квалитета воде у 2 од 3 случаја.

Резултати анализе осетљивости AQUATOX, модела за опонашање динамике алги под утицајем промене уноса нутријената сугерише да је модел високо осетљив на температурна ограничења и рН. Резултати анализе неизвесности процене дифузних оптерећења указују да њихов утицај постоји, посебно у периоду када се јављају екстремни, мада је занемарљив у односу на флукуације које може да изазове физиолошки фактор, попут максималне стопе фотосинтезе.

Подударане рачунских и мерених вредности у периодима када су регистроване максималне количине хлорофила *a* (јесењи месеци) није постигнуто. Могући разлог је велики удео феофитина у високопродуктивним периодима.

Боље је слагање рачунских и мерених вредности је добијено за модел Палићког језера. Калибрисани модели еколошког ризика за услове предметних језера указују да седимент оба језера представља велики извор нутријената. Ефлуент постројења за пречишћавање воде, као и канал „Палић-Лудаш“, представљају значајније оптерећење у односу на дифузне изворе. Анализа неизвесности показала је да и драстичне промене дифузног оптерећења немају већег утицаја на добијене рачунске вредности. Константовано је да константно повећање дифузног загађења (10 пута) доводи до извесних промена садржаја хлорофила *a* и кисеоника, међутим цветање алги се не јавља у траженом периоду, тако да постоји могућност да нека сезонска промена додатно утиче на њихову бројност.

На тренутном нивоу тачности, референтна симулација је задовољавајућа са аспекта онезбеђења додатних информација корисних за побољшање процеса и управљања еколошким ризиком.

Литература. У дисертацији је на правилан начин наведено 213 референци. Избор референци је актуелан и одговара предмету проучавања.

3. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација мр Жељке Рудић под насловом: „Фактори погоршања квалитета вода плитких панонских језера и њихов допринос еколошком ризику“ представља оригиналан научни рад са практичним и фундаменталним значајем. Дисертација представља успешно спроведен самостални експериментално-истраживачки научни рад кандидата, који је у потпуној сагласности са планом предвиђеним пријавом дисертације. Научни допринос ове дисертације огледа се у сагледавању сложених екосистемских интеракција у осетљивим воденим екосистемима као што су плитка панонска језера и квантификација утицаја пољопривреде и концентрисаних извора загађења на убрзање процеса еутрофикације. Модел би могао да буде добра почетна тачка у успостављању еколошког прага загађивача и да се користи као генерички модел којим се процењује еколошки ризик у специфичним воденим екосистемима, што указује на практичну примену резултата докторске дисертације. Посебна вредност ове дисертације произилази из важности регионалног парка „Палић-Лудаш“, као и чињеницу да је Лудашко језеро означено као рамсарско подручје ЗYU002 (влажно подручје од међународног значаја).

Имајући у виду све изнето, Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију кандидата мр Жељке Рудић под насловом: „Фактори погоршања квалитета вода плитких панонских језера и њихов допринос еколошком ризику“ и предлаже Научно-наставном већу Пољопривредног факултета, Универзитета у Београду, да ову позитивну оцену усвоји и тиме омогући кандидату да пред истом Комисијом јавно брани докторску дисертацију.

Чланови комисије:

У Београду, 7.10.2015.

др Вера Раичевић, редовни професор
Универзитет у Београду-Пољопривредни факултет
ужа научна област Еколошка микробиологија

др Весна Пајић, доцент,
Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет,
ужа научна област Математика и информатика

др Зорана Науновић, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Грађевински факултет
ужа научна област Еколошко инжењерство

др Еника Грегорић, доцент
Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет,
ужа научна област Мелиорације земљишта

др Игор Кљујев, доцент
Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет,
ужа научна област Еколошка микробиологија

Прилог:

Рад мр Жељке Рудић објављен у научном часопису који је на SCI листи

Božić, M., Nikolić, G., **Rudić, Ž.**, Raičević, V., Lalević, B. (2013): Constructed wetlands as an alternative restoration measure for shallow lakes. *Water Science and Technology* 68(7):1672–1678.