

УДК: 502/503(497.11)

Прегледни рад *Review paper*

ФИТОРЕМЕДИЈАЦИЈА СИВЕ ВОДЕ

Бојана Дабић¹, Андреј Пилиповић², Емина Младеновић¹

Извод: Загађење животне средине представља један од највећих глобалних проблема данашњице коме се треба посветити максимална пажња. Као један од угрожених ресурса, несташица воде проузрокована њеном загађеношћу доводи до озбиљних проблема, који у крајњој линији утичу на људско здравље. Највећи проценат чисте воде се утроши за потребе пољопривреде, те је неопходна примена алтернативних извора воде за наводњавање. Један од тих извора може бити сива вода која представља отпадну воду из домаћинства која не садржи фекалије ни урин. Међутим, као и све отпадне воде и сива вода садржи повишене вредности одређених супстанци (нпр. сапуни, детерџенти) које могу деловати штетно на животну средину, те је неопходно њено пречишћавање. С обзиром да изградња постројења за пречишћавање захтева велика улагања, фиторемедијација може представљати повољно решење. Осим економске исплативости, фиторемедијацијом значајно унапређујемо животну средину и целокупан екосистем у опште. С обзиром на мали број истраживања спроведених на ову тему у нашој земљи, неопходно је испитати ефикасност фиторемедијације сиве воде у нашим условима.

Кључне речи: фиторемедијација, сива вода, отпадна вода, пречишћавање воде, несташица воде, уклањање полутаната, животна средина, биљке

PHYTOREMEDIATION OF GREY WATER

Abstract: *Environmental pollution is one of the biggest global problems of presence that should be given maximum attention. As one of the endangered resources, the shortage of water caused by contamination leads to serious problems that ultimately affect human health. Although the dominant share of clean water is consumed for agriculture, it is necessary to use alternative water sources for irrigation. One of these sources can be grey water that represents waste water from a household that does not contain faeces nor urine. However, like other wastewaters, grey water also contains elevated amounts of certain substances (for*

¹ Мастер Бојана Дабић, докторант (E-mail: bojana.pa.dabic@outlook.com); др Емина Младеновић, доцент; Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет, Нови Сад, Република Србија; ² др Андреј Пилиповић, научни сарадник; Универзитет у Новом Саду, Институт за низијско шумарство и животну средину, Нови Сад, Република Србија

¹ *Bojana Dabić, PhD student (E-mail: bojana.pa.dabic@outlook.com); dr Emina Mladenović, assistant professor; University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Novi Sad, Republic of Serbia; ² dr Andrej Pilipović, research associate, University of Novi Sad, Institute of lowland forestry and environment, Novi Sad, Republic of Serbia*

example soaps, detergents) that can act harmful to the environment, therefore purification is necessary. Because of high costs of the construction of a treatment plant, phytoremediation can be a favorable solution. In addition to economic cost-effectiveness, phytoremediation significantly improves the environment and the overall ecosystem in general. Given the small number of studies conducted on this subject in our country, further examination is necessary to examine the efficiency of grey water phytoremediation in our climatic conditions.

Keywords: *phytoremediation, grey water, wastewater, water treatment, water shortage, pollutants removal, environment, plants*

УВОД

Загађење животне средине је један од највећих глобалних проблема данашњице који захтева максималну пажњу. Загађена вода доводи до озбиљних проблема у животној средини, самим тим и до проблема у пољопривреди што се директно одражава на људску исхрану. Хемикалије и друге штетне материје у животну средину доспевају сагоревањем, случајним испуштањем или намерним деловањем човека. У процесу сагоревања угља, уља, гаса, дрвета и других органских сировина ослобађају се канцерогени полициклични ароматични угљоводоници (Pergal, 2015), као и тешки метали (Ћујић, 2016). С тим у вези, Америчка агенција за заштиту животне средине (US EPA, 2014) предложила је листу приоритетних загађивача, односно једињења која треба пратити у животној средини.

Вода као фактор загађења животне средине

Вода је ресурс који је неопходан за опстанак живог света на Земљи. Ипак, све бржи пораст становништва, нерационална употреба пијаће воде, као и њено загађење, доводе до смањења резерви чисте воде. Из тог разлога, недостатак воде у многим државама широм света диктира употребу воде из алтернативних извора за различите потребе: наводњавање пољопривредних усева и других зелених површина, индустријске потребе (Murni et al., 2003), пуњење рекреативних језера, прање аутомобила (Jimenez, 2001), за вртове, украсне фонтане и водопаде (WHO, 2004). Један од алтернативних извора јесте отпадна вода, односно отпадна вода из домаћинства - сива вода. Међутим, употреба отпадне воде може довести до загађења животне средине. Употребом отпадне воде лошег квалитета за наводњавање може доћи до загађења земљишта, подземних вода, као и неповољног утицаја на биљке, животиње и човека. Ипак, нису све отпадне воде једнако загађене. Главни загађивачи отпадних вода су азот и фосфор, тешки метали, угљоводоници, органска материја и микроби (Davies, 2005). Међутим, сива вода не садржи повишен ниво патогена као комуналне отпадне воде (WHO, 2006), те као таква, може бити врло значајан извор воде за наводњавање различитих површина (пољопривредних усева, наменских плантажа шумског дрвећа, вртова, урбаног зеленила итд). Међутим, из здравствено-безбедносних разлога се предлаже пречишћавање отпадне воде, са циљем смањења или

неутралисања штетних материја. У последње време у свету се све више ради на проналажењу нових метода за решавање проблема загађења животне средине, самим тим и смањењу загађености водопријемника, за шта је засигурно најефикаснија метода фиторемедијације. Фиторемедијацијом сиве воде је могуће у значајној мери смањити превисоке концентрације материја, као што су: Mg, Ca, B, Mn, S, N, K, C, P, биолошка потрошња кисоника (ВРК), хемијска потрошња кисеоника (НРК), сулфати, хлориди (Randhir et al., 2017). Осим тога, овакав начин пречишћавања је економичан, али и еколошки прихватљив, што је од суштинског значаја када говоримо о заштити животне средине.

СИВА ВОДА

Дефиниција и карактеристике сиве воде

Према врсти и месту настанка, отпадне воде у домаћинству можемо поделити на: 1) сиву воду (отпадна вода из кухиње – судопере, машине за прање судова и отпадна вода из купатила – туша, каде, веш машине); 2) црну воду (фецес и урин са водом од испирања); 3) жуту воду (урин – посебан тип ВЦ шоље) и 4) браон воду (црна вода без урина). Сива вода је отпадна вода пореклом из судопера, машине за прање посуђа, лавабоа, тушева, каде и машине за прање веша (ЕРА, 2018). Међутим, према (WHO, 2006), дефинисање сиве воде се разликује од државе до државе. Наиме, док се у одређеним државама у сиву воду не убраја отпадна вода из кухиње, друге државе у сиву воду не убрајају отпадну воду из купатила. Ипак, усаглашена је сепарација сиве од црне воде.

Сива вода настаје у оквиру приватних и јавних објеката, од чега зависи количина произведене сиве воде и заступљености једињења, као и од начина живота, обичаја, употребе хемијских производа (Eriksson et al., 2002). Према Pinto et al., (2010), сапуни и детерџенти су главна компонента сиве воде. Како би се одржала употреба сиве воде, веома је важно праћење параметара квалитета воде, као што су: рН, електропроводљивост (ЕС), суспендоване материје, садржај нитрата и нитрита, биолошка потрошња кисеоника (ВРК), укупан N, укупан P, тешки метали, биолошки и хемијски захтеви кисеоника, минералне материје, присуство колиформних бактерија итд. Неки од ових параметара могу позитивно да утичу на раст и развој биљака. Наиме, садржај N и P у одговарајућим количинама, може утицати као ђубриво за поспешивање раста и развоја биљака (Siggins et al., 2016). Квалитет воде у великој мери зависи и од концентрације тешких метала. Према Eriksson et al., (2002), у литератури је пријављена релативно ниска количина тешких метала у сивој води, изузев у истраживању Christova-Boal et al., (1996), где је утврђена повишена концентрација цинка. Међутим, када је у питању здравствено-безбедносна употреба сиве воде, посебну пажњу треба посветити садржају бактерија. Садржај *Eshericia coli* се обично користи као показатељ фекалне контаминације сиве воде (Eriksson et al., 2002). Поред

тога, важан је и садржај бактерија *Salmonella typhi* и *Salmonella paratyphi*, паразита, као што су ваљкасти црви и вируса: проузроковачи хепатитиса и ентеровируси. *Cryptosporidium* и *Giardia* су релативно отпорни на дезинфекцију те могу преживети у системима за пречишћавање. Међутим, цревне глисте и протозое не представљају опасност по загађење подземних вода због својих великих димензија, где се оне уклањају услед цеђења воде у дубље слојеве (Eriksson et al., 2002). *Legionella* представља посебну претњу јер се може ширити аеросолима и може се удахнути током наводњавања или испирања тоалета (Dixon et al., 1999). Из наведених разлога, веома је важно придржавати се смерница за безбедносну употребу сиве воде, које указују на граничне вредности за одређене загађиваче, као и на начин примене сиве воде, а које прописују надлежни органи. Према WHO, (2006а), дозвољена граница колиформних бактерија приликом наводњавања пољопривредних усева је $<10^5/100$ ml или $<10^6/100$ ml уколико је изложеност сивој води ограничена (нпр. подземно наводњавање) или постоји могућност пораста броја бактерија (нпр. због присутности отпадне воде из кухиње, високих температура). Приликом употребе сиве воде за наводњавање, препоручује се подземни тип наводњавања (Siggins et al., 2016), као и употреба заштитне опреме.

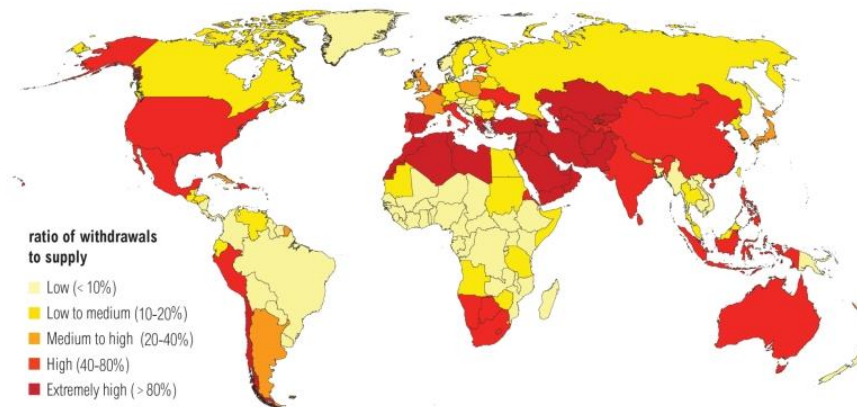
Потенцијали сиве воде

Према WHO, (2006а), сива вода чини више од 2/3 отпадне воде у домаћинству. Ипак, на глобалном нивоу се утроши 70% слатких вода за потребе наводњавања пољопривредних усева (FAO, 2008). Из наведеног можемо закључити да према великом уделу сиве воде у отпадним водама домаћинства, она може представљати значајан алтернативни извор воде за наводњавање, нарочито током сушног периода. Варијације у процентима уштеде количине пијаће воде и трошкова варирају од истраживања до истраживања (Eriksson et al., 2002). Без обзира на тачну количину уштеђене пијаће воде, приликом употребе сиве воде за наводњавање, потенцијал уштеде је веома значајан. Према Pinto et al. (2010), употребом сиве воде за потребе наводњавања и испирања тоалета, могуће је допринети смањеној потрошњи пијаће воде за око 30-50%. Процене новијег истраживања (Dabić et al., 2018) такође указују на могућност уштеде пијаће воде за око 30-50%, приликом примене сиве воде за наводњавање украсних биљака. Осим тога, у сивој води се налазе хранљиве материје које делују као ђубриво на поспешивање раста и развоја биљака (Siggins et al., 2016). Ипак, уколико штетне материје у сивој води излазе изван дозвољених граничних вредности, њена употреба може довести до штете по животну средину. Наиме, Christova-Boal et al., (1996) су у свом истраживању утврдили да употреба сиве воде са рН већим од 8 може довести до повећања рН земљишта и смањења доступности неких микро-нутриената за биљку, а самим тим утицати и на раст биљака. Ова појава је забележена и у Републици Србији, где је утврђено да је сива вода утицала на смањење, односно успорен раст украсних биљака (*Berberis thunbergii* DC.), док на развој младих изданака и естетски квалитет биљака није примећен негативан утицај (Dabić et al., 2017). Осим тога, употреба сиве воде може

пружити значајне економске и еколошке предности, као што су: повећана доступност пијаће воде (употребом пијаће воде за пиће, а сиве воде за наводњавање), смањени производни трошкови за коришћење висококвалитетне рециклиране воде, смањена потрошња енергије која би се утрошила коришћењем дубоких подземних вода, смањење увоза воде или потребе за десалинацијом, смањење оптерећења пријемника воде хранљивим материјама, повећана пољопривредна производња уз редукцију ђубрива, побољшана заштита животне средине путем рестаурације потока и интегрисано и одрживо коришћење водних ресурса (Lauga и Bernd, 2014).

Примена сиве воде

Имајући у виду да се за потребе пољопривредног наводњавања на глобалном нивоу утроши 70% слатких вода (FAO, 2008), као и процене World Resources Institute, (2015), чија истраживања указују на то да ће 33 земље широм света бити захваћене недостатком воде до 2040. године (Слика 1), сива вода може бити значајан извор воде за наводњавање различитих површина.



Слика 1. Могућ водни стрес до 2040. године према проценама World Resources Institute

Figure 1. Possible water stress by 2040 according to the World Resources Institute estimates (Извор Source: World Resources Institute - <http://www.wri.org/blog/2015/08/ranking-world's-most-water-stressed-countries-2040>)

Калифорнија и Флорида су водеће државе у оквиру САД у погледу рециклаже воде. Од 1967. године, рециклирана вода се користи за наводњавање усева, голф терена, паркова, школског земљишта, зелених појасева, урбаног зеленила, зеленила дуж аутопутева, друге индустријске потребе, као и за испирање тоалета (Murni et al., 2003), док се од 2001. године становници Сиднеја снабдевају пречишћеном отпадном водом за испирање тоалета, наводњавање вртова и противпожарну заштиту (Sydney Water, 2001). Грчка даје позитиван пример примене сиве воде на јавним површинама

употребом сиве воде за наводњавање пољопривредног земљишта, паркова, шума, винограда и маслињака (Pias et al., 2014). У Мексику Ситију, скоро сва сакупљена необрађена отпадна вода се користи за наводњавање разних усева, као и за урбане потребе (пуњење рекреативних језера, наводњавање зелених површина, прање аутомобила), прање аутомобила, као и за друге потребе (Jimenez, 2001). Међутим, када је реч о употреби сиве воде у Републици Србији, овакав начин примене отпадне воде још увек није заступљен. Разлози за то су немогућност сепарације сиве и црне воде, због постојеће канализационе инфраструктуре, која сву отпадну воду одводи у истом смеру притом је мешајући, као и ниског процента пречишћавања отпадних вода (12,01%). Ипак, иницијална истраживања су спроведена и дају охрабрујуће резултате. Наиме, скорија истраживања указују на могућност примене сиве воде за наводњавање украсне биљке *Berberis thunbergii* DC. (Dabić et al., 2017). Овакав начин наводњавања је врло значајан у аридним и полуаридним регионима, где услед мале количине падавина долази до коришћења пијаће воде за потребе наводњавања, те би у том смислу сива вода могла да представља значајан ресурс за наводњавање, нарочито током сушног периода.

ДЕФИНИЦИЈА И МЕТОДЕ ФИТОРЕМЕДИЈАЦИЈЕ

Данас се све израженији проблем недостатка пијаће воде се јавља као последица загађења животне средине. Контаминирана вода доводи до значајних проблема у животnoj средини остављајући негативне последице на људско здравље. Овај проблем може бити смањен применом метода фиторемедијације.

Фиторемедијација подразумева уклањање полутаната из животне средине помоћу одређених биљака, претварајући их у мање штетне материје (Cunningham et al., 1995; Salt et al., 1998; Akpor et al., 2014). Реч фиторемедијација потиче од грчке речи *phyto* - биљка и латинске речи *remedium* - вратити у равнотежу. Различити аутори (Salt et al., 1998; Ensley, 2000; Prasad и Freitas, 2003) су се сложили да се фиторемедијација обухвата четири различите технологије које користе биљке и микроорганизме, те свака користи различити механизам за ремедијацију земљишта, седимената и вода загађених тешким металима и другим штетним материјама. То су: 1) Фитоекстракција – коришћење биљака са великом биомасом и способношћу акумулирања метала из земљишта, са циљем транспорта метала из земљишта у надземне делове биљака, који ће потом бити уклоњени кроз уобичајене агротехничке мере; 2) Фитостабилизација – коришћење биљака и/или микроорганизама у циљу редуковања биодоступности полутаната у животnoj средини; 3) Ризофилтрација – коришћење корења биљака за апсорпцију и адсорпцију полутаната, углавном метала из воде и 4) Фитоволатилизација – коришћење биљака за екстракцију одређених, испарљивих једињења која могу да садрже и тешке метале из земљишта и њихово отпуштање у атмосферу путем листова. Неки аутори (Salt et al., 1998; ITRC, 1999; U.S. EPA, 1999) у фиторемедијацију убрајају и друге технике, као што су: 1) Фитодеградација

(фитотрансформација) – разградња полутаната метаболичким процесима биљака или разградња полутаната у непосредној близини биљака захваљујући различитим биљним ензимима; 2) Ризодеградација (фитостимулација) – разградња полутаната у земљишту захваљујући микроорганизмима и 3) коришћење биљака за уклањање полутаната из ваздуха и друге.

Предности и недостаци фиторемедијације

Истраживања у области фиторемедијације се углавном спроводе на огледним пољима, чији резултати у великој мери зависе од утицаја различитих спољашњих фактора (температура, падавине, влага, тип, структура и рН земљишта, садржај хранљивих материја, биљне болести, неједнака расподела загађивача). Пре употребе фиторемедијације, ЕРА (Environmental Protection Agency) је спровела истраживање које говори о томе како биљке које су коришћене за фиторемедијацију утичу на људе, као и тестирање биљака и ваздуха са циљем утврђивања могућности испуштања штетних гасова у атмосферу. Као резултат установљено је да уколико се биљке користе у процесу фиторемедијације, не користе у исхрани људи, оне нису ни штетне за људе (ЕРА, 2001).

Једна од највећих предности фиторемедијације је та што она представља природан вид уклањања полутаната, као и то што спада у једну од јефтинијих биотехнологија (Lasat, 2002). У процесу фиторемедијације се користе биљне врсте које расту или могу да расту на одређеном загађеном простору, те њеном применом се не оптерећује додатно животна средина. Pilipović et al., (2002) наводе обезбеђивање енергије као још једну предност, јер дрвенасте биљке након процеса фиторемедијације могу служити као огрев. Употребом дрвенастих врста за фиторемедијацију стварају се заштитни појасеви који доприносе: смањењу буке, заштити од ветра, смањењу емисије угљендиоксида у атмосфери, стварању нових станишта за развој фауне, или могу да се користе као извор биомасе на крају третмана уколико их је неопходно уклонити са дате локације (Marić, 2014).

Међутим, постоје ограничења код употребе фиторемедијације, у смислу загађења у природи и његове концентрације. Уколико концентрација загађивача превазилази капацитет толеранције дате врсте према одређеном загађивачу, он ће на њу деловати супресивно или чак латентно (Marić, 2014). Још неки потенцијали и недостаци фиторемедијације су наведени у табели 1. Из горе наведеног произилази да успешност фиторемедијације зависи од правилне селекције врста, те је познавање екологије, физиологије, молекуларне биологије и биохемије, односно анатомије и морфологије различитих генотипова унутар врста од суштинског значаја.

Табела 1. Предности и недостаци фиторемедијације
Table 1. Advantages and disadvantages of phytoremediation

ПРЕДНОСТИ / ADVANTAGES	НЕДОСТАЦИ / DISADVANTAGES
<p>1. Јефтина метода / <i>Cheap method</i></p> <p>2. Обезбеђивање енергије / <i>Ensuring energy</i></p> <p>3. Велике погодности применом дрвенастих врста (обезбеђивање енергије, уклањање веће количине полутаната, заштита од ветра) / <i>Great benefits of using woody species (providing energy, removing a larger amount of pollutants, protecting against wind)</i></p> <p>4. Могућност уклањања органских и неорганских загађивача / <i>Possibility of removal of organic and inorganic pollutants</i></p> <p>5. Мања количина секундарног отпада у односу на традиционалне методе / <i>Less quantity of secondary waste compared to traditional methods</i></p> <p>6. Могућа употреба различитих биљних врста / <i>Possible use of different plant species</i></p> <p>7. Смањен ризик од удисања и директног излагања загађивачима (за време чишћења) / <i>Reduced risk of inhalation and direct exposure to pollutants (during cleaning)</i></p> <p>8. Исплатива за велике површине са ниским до просечним степеном загађења / <i>Cost effective for large areas with low to average pollution levels</i></p> <p>9. Постиже се ремедијација без употребе токсичних хемикалија / <i>Remediation without the use of toxic chemicals is achieved</i></p>	<p>1. Процес фиторемедијације траје дуго и постепено (више од једне вегетационе сезоне) / <i>The process of phytoremediation takes a long and gradual (more than one vegetation season)</i></p> <p>2. Нису све биљке погодне за фиторемедијацију / <i>All plants are not suitable for phytoremediation</i></p> <p>3. Ефекат фиторемедијације зависи од типа земљишта, концентрације загађивача, доступности загађивача биљкама / <i>The effect of phytoremediation depends on the type of soil, the concentration of pollutants, the availability of contaminants to plants</i></p> <p>4. Климатски услови (поплаве или суша) могу ограничавати раст коришћених биљних врста / <i>Climatic conditions (floods or drought) may limit the growth of the plant species used</i></p> <p>5. Поједине контаминирајуће материје (тешки метали, фармацеутски производи, радионуклиди) могу ући у ланац исхране преко животиња које се хране оваквим биљним материјалом / <i>Certain contaminants (heavy metals, pharmaceuticals, radionuclides) may enter the food chain through animals feeding on such plant material</i></p>

Биљке у фиторемедијацији

Биљке имају важну улогу у уклањању полутаната из животне средине, те је одабир биљних врста и генотипова пресудан за процес ремедијације (Arsenov et al., 2017). Приликом апсорпције и акумулације тешких метала биљке уклањају ове токсичне материје, на тај начин побољшавајући квалитет животне средине. Међутим степен усвајања метала од стране биљака, као и њихова толерантност на метале је врло варијабилна од врсте до врсте (DeBusk, 1999). Постоје три обрасца за усвајање тешким метала од стране биљака, као што су: 1) стварно искључивање при чему се металима не

дозвољава улазак у биљке; 2) искључивање избојака при чему се метали нагомилавају у корену, а транслокација избојака изостаје и 3) акумулација при којој се метали нагомилавају у биљним деловима (Kamal et al., 2004). Две најважније карактеристике које биљка која се користи у фиторемедијацији треба да поседује су: могућност брзог стварања биомасе и могућност транслокације метала у избојак у високим концентрацијама (Dushenkov et al., 1995). Такође, биљке које се користе за фиторемедијацију треба да буду: толерантне на метал или метале који се уклањају, ефикасне у транслокацији апсорбованих метала из корена у надземни део биљке који ће се користити, толерантне на лоше услове земљишта (рН, водни режим, заслаћеност, структура), да имају могућност формирања разгранатог кореновог система, лакоћу заснивања и гајења и отпорност на болести и штеточине (Nešić, 2011). Ипак не постоји ни једна биљна врста која има све набројане особине (Prasad и Freitas, 2003).

Постоје три основна процеса којима се уклањају полутанти из отпадних вода (DeBusk, 1999а), као што су: физички, хемијски и биолошки. Физички процес подразумева физичко уклањање загађивача у води, док хемијски процес подразумева сорпцију загађивача. Биолошко уклањање је значајан процес којим се, када се користе биљке, уклањају и складиште значајне количине азота, амонијака, фосфора и тешких метала, при чему степен уклањања полутаната зависи од брзине раста биљака и акумулације полутаната у њиховим ткивима, а време/брзина складиштења полутаната се поклапа са дужином живота биљке.

Велики број биљних врста имају способност да хиперакумулирају метале. До данас је пријављено преко 400 врста од којих су најзаступљеније врсте из фамилија: *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Cyperaceae*, *Cunoniaceae*, *Fabaceae*, *Flacourtiaceae*, *Lamiaceae*, *Poaceae*, *Violaceae* и *Euphorbiaceae* (Prasad и Freitas, 2003). Као најзначајније се издвајају: трска (*Phragmites communis* Trin.), зука (*Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla), рогоз (*Typha latifolia* L.), барска перуника (*Iris pseudoacorus* L.), сита (*Juncus effuses* L.), сочивица (*Lemna minor* L.), водена метвица (*Mentha aquatica* L.) и водена боквица (*Alisma plantago – aquatica* L.). Већина наведених биљака се може успешно користити и у нашим условима. Поред наведених, у пречишћавању отпадних вода користе се и врсте као што су: водољуб (*Butomus umbellatus* L.), шаш (*Carex hirta* L.), горка детелина (*Menianthe trifoliata* L.), ресник (*Eupatorium cannabinum* L.), гладиола (*Gladiolus palustris* Gaudin), честославица (*Veronica beccabunga* L.), хмељ (*Humulus lupulus* L.), штав (*Rumex hydrolapatum* Huds.) итд. (Nešić, 2011).

Поред наведених биљака, у фиторемедијацији се користе и различите јестиве биљке, ратарске и повртарске културе, украсне и дрвенасте биљке. Најчешће коришћена дрвенаста врста у фиторемедијацији је топола (*Populus spp.*) због своје високе производње биомасе, брзог раста, лаганог вегетативног размножавања и велике транспирације брзине (Pilipović et al., 2015). Тополе због своје велике биомасе могу уклонити значајне количине полутаната из земљишта, чак и поред релативно слабе транслокације полутаната у избојак (Nikolić et al., 2008). У свом истраживању Пилиповић et al., (2005) су

указали на то да се клонови „Pannonia“ (*Populus x euramericana*) и 53/86 (*Populus nigra* L.) могу користити за фиторемедијацију нитрата. Тополе имају способност да транспиришу велике количине подземне воде (Nelson, 1996), те се могу садити на стаништима са контаминираним подземном водом у циљу редукације количине контамитаната. Поред топола, велику улогу у фиторемедијацији вода имају и врбе (*Salix* spp.). Pilipović et al., (2015) су у свом истраживању дошли до закључка да кошарачке врбе (*Salix viminalis* L.) имају већу отпорност на кадмијум у процесу фиторемедијације, у односу на тополу (*Populus deltoides* Bartt. клон „Бора“), као и на потенцијал црне врбе (*Salix nigra* клон 0408) и коврцаве врбе (*Salix matsudana* клон SM 4041) на рекултивацију површина загађених са Cd (Nikolić et al., 2015).

Веома мали број истраживања је спроведен на тему фиторемедијације сиве воде. Углавном, већина истраживања је базирана на фиторемедијацији отпадних вода. Међутим, једно новије истраживање спроведено у Индији указује на позитивне резултате приликом фиторемедијације сиве воде (Randhir et al., 2017). Наиме, за потребе фиторемедијације су коришћене биљке врсте: кана (*Canna indica* L.), хмељ (*Humulus lupulus* L.), кишобранаста палма (*Cyperus alternifolius* Rottb.) и лимун трава (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf). Сива вода је садржала отпадну воду из судопера, купатила, машине за прање веша и отпадну воду од прања другог посуђа. Процес фиторемедијације се састојао од сакупљања сиве воде у резервоар где је потом преусмерена у комору за фиторемедијацију, те је након тога усмерена у посебан резервоар за складиштење третиране сиве воде. Узорци воде су сакупљани из првог и последњег резервоара и тестирани су на одређене параметре (Mg, Ca, B, Mn, S, N, K, Fe, P, BPK, HPK, (SO₄)₂, Cl итд.), како би се утврдиле физичке и хемијске нечистоће. На основу добијених резултата може се рећи да је фиторемедијацијом сиве воде смањена концентрације магнезијума, калцијума, бора, мангана, сумпора, азота, калијума, гвожђа и фосфора, концентрације HPK и BPK су смањене за 75%, док су се концентрације азота, гвожђа, сулфата, магнезијума, хлорида и бора налазе у границама које су дозвољене чак и за пијаћу воду према И.С. спецификацији. Поред наведеног, бамбус (*Bambuseae* spp.) је коришћен за фиторемедијацију сиве воде из прехранбене индустрије у оквиру пројекта "BRITER-WATER" у Француској (European Commission, 2018), чији резултати указују на значајно смањење загађивача након фиторемедијације. На основу наведених резултата можемо рећи да фиторемедијација има позитиван утицај на карактеристике сиве воде. Међутим, неопходно је испитати могућност употребе других биљних врста на фиторемедијацију сиве воде.

ЗАКЉУЧАК

На основу наведених чињеница може се рећи да фиторемедијација нуди јефтину алтернативу постојећим техникама пречишћавања отпадних вода. Способност одређених биљних врста да врше процес фиторемедијације може довести до смањења степена контаминације воде, као и других

контаминираних средина (земљиште, ваздух). Осим позитивног ефекта на пречишћавање отпадних вода, фиторемедијација утиче и на обнову станишта, односно на биодиверзитет и распрострањеност различитих организама (птице, инсекти, гмизавци и др.), што је нарочито важно на деградираним пределима. Оваква постројења осим што успешно редукују контамитанте, су и еколошки прихватљива и доприносе естетици подручја на ком се налазе, применом декоративних биљака као што су топола (*Populus nigra* L.), жута перуника (*Iris pseudoacorus* L.) и кана (*Canna indica* L.). Ипак, неопходно је спровести даља истраживања не би ли се дошло до нових доказа о успешности примене фиторемедијације у пречишћавању сиве воде. Осим што би допринела смањењу потрошње пијаће воде, употреба сиве воде би омогућила формирање већег броја поља за фиторемедијацију, а самим тим и еколошки повољнијој средини. Даљи развој фиторемедијације би требао да се креће путем њене употребе за пречишћавање сиве воде, што би допринело развоју ове методе.

ЛИТЕРАТУРА

- Akpor, O. B., Otohinoyi, D. A., Olaolu, T. D. and Aderiye, B. I. (2014): Pollutants in wastewater effluents: Impacts and remediation. *International Journal of Environmental Research and Earth Science* 3(3): 50-59.
- Arsenov, D., Župunski, M., Borišev, M., Nikolić, N., Orlović, S., Pilipović, A., Pajević, S. (2017): Exogenously Applied Citric Acid Enhances Antioxidant Defense and Phytoextraction of Cadmium by Willows (*Salix Spp.*). *Water Air and Soil Pollution* 228 (6): 221-228.
- Cunningham, D.S., Berti, R.W., Huang, W.J. (1995): Phytoremediation of contaminated soils. *Trends in Biotechnology* 13(9): 393–397.
- Ćujić, M. (2016): Radionuklidi i teški metali u zemljištu u okolini termoelektrane "Nikola Tesla" u Obrenovcu: Faktori koji utiču na njihovu migraciju – prostorna distribucija – procena radijacionog uticaja na živi svet. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju, Beograd.
- Dabić, B., Grabić, J., Mladenović, E., Orlović, S., Benka, P., Čukanović, J., Pavlović, L. (2017): Preliminary research on morphological features of plant *Berberis thunbergii* DC. upon grey water irrigation. XXI International Eco-conference® 2017, 27-29 September 2017., Environmental protection of urban and suburban settlements, Proceedings 2017., Novi Sad, Serbia: 99-106.
- Dabić, B., Mladenović, E., Grabić, J. (2018): Potencijali sive vode za navodnjavanje urbanog zelenila: osvrt na stanje u Republici Srbiji. *Glasnik Šumarskog fakulteta (Banja Luka)* 28: 103-112.
- Davies, S.P. (2005): *The biological basis of wastewater treatment*. West of Scotland: Strathkelvin instruments Ltd.
- DeBusk, F.W. (1999): *Wastewater treatment wetlands: Applications and Treatment Efficiency*. Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Science, University of Florida, SL156.

- DeBusk, F.W. (1999a): Wastewater treatment wetlands: Contaminant Removal Processes. Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Science, University of Florida, SL155.
- Dixon, A. M., Butler, D., Fewkes, A. (1999): Guidelines for greywater reuse: Health issues. *Water and Environment Journal* 13(5): 322–326.
- Dushenkov V., Kumar P.B.A.N., Motto H., Raskin I. (1995): Rhizofiltration: The Use of Plants to Remove Heavy Metals from Aqueous Streams. *Environmental Science and Technology* 29(5): 1239-1245.
- Ensley, B.D. (2000): Rational for use of phytoremediation. У: Raskin I. и Ensley D.B. *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean-up the environment*. John Wiley & Sons, Inc, New York: 3-12.
- EPA (2001): A Citizen's Guide to Phytoremediation. United States, Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response (5102G), EPA 542 F 01-002.
- EPA (2018):
https://www.epa.sa.gov.au/environmental_info/water_quality/programs/grey_and_black_water_discharge/grey_water, The Environment Protection Authority, South Australia.
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., Ledin, A. (2002): Characteristics of grey wastewater. *Urban Water* 4(1): 85–104.
- FAO (2008): Resource Document. FAO Land and Water Division. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Ilias, A., Panoras, A., Angelakis, A. (2014): Wastewater Recycling in Greece: The Case of Thessaloniki. *Sustainability* 6: 2876-2892.
- ITRC (1999): Phytoremediation Decision Tree. Interstate Technology and Regulatory Cooperation Work Group. Interstate Technology and Regulatory Cooperation Work Group: 1-35.
- Jiménez, B., Chávez, A., Mayan, C., Gardens, L. (2001): The Removal of the Diversity of Microorganisms in Different Stages of Wastewater Treatment. *Water Science & Technology* 43(10): 155-162.
- Kamal, M., Ghalya, A.E., Mahmouda, N., Cote, R. (2004): Phytoaccumulation of heavy metals by aquatic plants. *Environment International* 29(8): 1029-1039.
- Lasat, M.M. (2002): Phytoextraction of Toxic Metals: A Review of Biological Mechanisms. *Journal of Environmental Quality* 31(1): 109-120.
- Laura, A.S., Bernd, M.G. (2014): Water Reuse in Europe Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation, A synoptic overview. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Publications Office.
- Marić, M. (2014): Mogućnost korišćenja nekih divljih i kultivisanih biljaka za remedijaciju zemljišta. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Bor.
- Murni, P., Kaercher, D.J., Nancarrow, E.B. (2003): Literature Review of Factors Influencing Public Perceptions of Water Reuse. CSIRO Land and Water, Technical Report 54/03.

- Nelson, S. (1996): Use of Trees for Hydraulic Control of Ground-water Plumes. In: W.W.Kovalick i R.Olexsey. Workshop on Phytoremediation of Organic Wastes, December 17-19, Ft. Worth, Texas.
- Nešić, N. (2011): Fitoremedijacija i biljke pogodne za fitoremedijaciju voda zagađenih teškim metalima. Institut za multidisciplinarna istraživanja, Univerzitet u Beogradu: 1-69.
- Nikolić, N., Borišev, M., Pajević, S., Arsenov, D., Župunski, M., Orlović, S., Pilipović, A. (2015): Photosynthetic response and tolerance of three willow species to cadmium exposure in hydroponic culture. Arch. Biol. Sci. (Belgrade) 67(4): 1411-1420.
- Nikolić, N., Kojić, D., Pilipović, A., Pajević, S., Krstić, B., Borišev, M., Orlović, S. (2008): Responses of hybrid Poplar to cadmium stress: Photosynthetic characteristics, cadmium and proline accumulation, and antioxidant enzyme activity. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica 50/2: 95–103.
- Pergal, M. (2015): Uticaj temperature sagorevanja uglja na nastajanje policikličnih aromatičnih ugljovodonika u termoelektranama i posledice po životnu sredinu. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Hemijski fakultet, Beograd.
- Pilipović, A., Klačnja, B., Orlović, S. (2002): Uloga topola u fitoremedijaciji zemljišta i podzemnih voda. Topola 169/170: 57–66.
- Pilipović, A., Orlović, S., Rončević, S., Nikolić, N., Župunski, M., Spasojević, J. (2015): Results of selection of Poplars and Willows for water and sediment phytoremediation. Agriculture & Forestry 61(4): 205-211.
- Pinto, U., Maheshwari, B.L., Grewal, H.S. (2010): Effects of greywater irrigation on plant growth, water use and soil properties. Resources Conservation Recycling 54(7): 429-435.
- Randhir, B., Ekta, W., Ajay, S., Amit, C., Abhijit, S., Kailash, B. (2017): Treatment Of Grey Water Using Technique Of Phytoremediation. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) 4(3): 2760-2767.
- Salt, D.E., Smith, R.D., Raskin, I. (1998): Phytoremediation. Annual Review Of Plant Physiology And Plant Molecular Biology 49: 643-668.
- Siggins A., Burton V., Ross C., Lowe H., Horswell J. (2016): Effects of long-term greywater disposal on soil: A case study. Science of the Total Environment 557–558: 627-635.
- Sydney Water (2001): Rouse Hill Area: Community Views on Recycled Water, Post Commissioning. Eureka Strategic Research, Sydney.
- U.S. EPA (1999): Phytoremediation Resource Guide. EPA542-B-99-003, United States Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Technology Innovation Office, Washington, DC 20460.
- US EPA (2014): Priority Pollutant List. United States, Environmental Protection Agency.
- Prasad V.M.N., Freitas O.H.M. (2003): Metal hyperaccumulation in plants - Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. Electronic Journal of Biotechnology 6(3): 285-321.

- WHO (2004): Report on the WHO/AFESD regional consultation to review national priorities and action plans for wastewater reuse and management. World Health Organization, Regional Office for the Eastern Mediterranean, Regional Centre for Environmental Health Activities (CEHA), Amman, Jordan. WHO-EM/CEH/106/E: 1-35.
- WHO (2006): Overview of Greywater Management: Health Considerations, World Health Organization, Regional Office for the Eastern Mediterranean, Centre for Environmental Health Activities, Amman, Jordan. WHO-EM/CEH/125/E WHO: 1-49.
- WHO (2006a): WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater – Volume IV: Excreta and greywater use in agriculture. World Health Organization, United Nations Environment Programme.
- World Resources Institute (2015): <http://www.wri.org/blog/2015/08/ranking-world's-most-water-stressed-countries-2040>, World Resources Institute.
- EPA (2001): Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites. Ground Water Issue. United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Office of Solid Waste and Emergency Response, EPA/540/S-01/500.
- European Commission (2018): <https://ec.europa.eu/environment/eco-innovation/projects/en/projects/briter-water>, European Commission.
- Пилиповић, А., Николић, Н., Орловић, С., Петровић, Н., Крстић, Б. (2005): Испитивање способности фиторемедијације нитрата различитих генотипова рода *Populus*. Шумарство 4: 35-44.