

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Урбано инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Предмет: Технологије и постројења за пречишћавање воде и ваздуха

Број индекса: 922/2015

Милица Н. Мусулин

**Примена биљних уређаја за пречишћавање
отпадних вода на примеру Факултета инжењерских наука**

дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Вања Шуштершич,

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру дипломског рада кандидат треба да опише начине третмана отпадних вода помоћу биљака. Кандидат треба да опише начине децентрализованог система третмана отпадних вода, као и принцип рада биљних уређаја, који су основни делови ових уређаја. На крају на примеру Факултета инжењерских наука треба да размотри могућност поновног искоришћења већ употребљених вода помоћу примене биљних уређаја, као и да одреди економске и техничке критеријуме за избор датог постројења.

Препоручена литература:

- 1) *Davor Malus, Dražen Vouk - Priručnik za učinkovitu primjenu biljnih uređaja za pročišćavanje sanitarnih otpadnih voda - Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu (2012);*
- 2) *United Nations Human Settlements Programme - Constructed Wetlands Manual (2008);*
- 3) *Ecosan Services Foundation - Small-Scale Constructed Wetlands for Greywater and Total Domestic Wastewater Treatment (2008);*
- 4) *Jasmina Ibrahimpašić, Merima Toromanović – Prečišćavanje otpadnih voda u biljnim uređajima - Agencija za vodno područje reke Save, Sarajevo*

Крагујевац, април 2021.

Ментор:

Проф. др Вања Шуштершич

РЕЗИМЕ

Отпадне воде представљају потенцијално загађене воде, код којих се мењају физичке, хемијске и микробиолошке карактеристике. Постоји пет врста отпадних вода а то су: комуналне, индустријске, атмосферске, процедне и пољопривредне воде. Постоји више различитих типова загађења воде, а то су: физичко, биолошко, и хемијско. Код физичког загађења најзначајнија је температура која се повећава у отпадној води, боја воде, мирис, укус и замућеност воде. Биолошко загађење се углавном састоји од патогених бактерија, вируса и других микроорганизама коју су опасни по људско здравље. У хемијском загађењу се могу наћи јони којих нема у природним водама, а органско хемијско загађење је узроковано уљем, органским бојама и киселинама.

Биљни уређаји за пречишћавање отпадних вода су вештачки изграђене мочваре које се састоје од неколико међусобно повезаних базена кроз које пролази отпадна вода. Користе се за пречишћавање вода мањих насеља. Биљни уређаји третирају отпадну воду различитим физичким, хемијским и биолошким процесима до те мере да вода није штетна по здравље људи и да не садржи патогене микроорганизме. Биљни уређаји, осим микроорганизама, морају уклонити азот, фосфор, органске и суспендоване материје. Данас у свету постоји више од 1000 биљних уређаја.

Кључне речи: заштита животне средине, биљни уређаји, отпадне воде.

ABSTRACT

Wastewater is potentially polluted water, where physical, chemical and microbiological characteristics change. There are five types of wastewater: communal, industrial, atmospheric, leachate and agricultural. There are several different types of water pollution, and they are: physical, biological, and chemical. In the case of physical pollution, the most significant are the temperature that increases in the wastewater, the color of the water, the smell and taste of the water and the turbidity. Biological pollution mainly consists of pathogenic bacteria, viruses and other microorganisms that are dangerous to human health. Chemical pollution can contain ions that are not present in natural waters, and organic chemical pollution is caused by oil, organic dyes and acids.

Decentralized wastewater treatment plant are artificially constructed wetlands that consist of several interconnected pools through which wastewater passes. They are used to purify the waters of smaller settlements. Constructed wetland treat wastewater with various physical, chemical and biological processes to the extent that water is not harmful to human health and does not contain pathogenic microorganisms. Constructed wetland, except microorganisms, must remove nitrogen, phosphorus, organic and suspended matter. Today, there are more than a 1000 constructed wetlands in the world.

Key words: environmental protection, constructed wetland, wastewater.

Садржај

РЕЗИМЕ	2
ABSTRACT	2
1. Увод.....	6
2. Отпадне воде	7
2.1. Врсте отпадних вода	8
2.2. Пречишћавање отпадне воде.....	9
3. Биљни уређаји	11
3.1. Историјски развој	11
3.2. Типови биљних уређаја	12
3.2.1. Биљни уређаји са слободним водним лицем (БУСВ)	13
3.2.2. Биљни уређаји са потповршинским током (БУПТ)	14
3.2.3. Хибридни биљни уређаји (ХБУ)	16
3.3. Предности и недостаци хоризонталног и вертикалног биљног уређаја	18
4. Опис биљних уређаја.....	19
4.1. Мочварска вегетација	20
4.2. Биљке у процесу пречишћавања отпадних вода	21
4.3. Набавка, достава и садња вегетације.....	22
5. Планирање и пројектовање биљних уређаја	24
5.1. Основне конфигурације биљних уређаја за пречишћавање отпадних вода.....	24
5.2. Основни принципи пројектовања и хидраулички прорачун биљног уређаја	27
5.3. Одржавање биљних уређаја	28
6. Процеси, површина и главни делови биљних уређаја	29
6.1. Главни процеси пречишћавања	29

6.2. Потребна површина	31
6.3. Главни делови.....	31
7. Принцип пречишћавања биљним уређајем.....	32
7.1. Предтретман отпадне воде	32
7.2. Уклањање органских чврстих материја и суспендованих честица	33
7.3. Уклањање фосфора и азота	34
7.4. Уклањање патогена	36
8. Примене биљних уређаја.....	37
9. Примена биљних уређаја за пречишћавање отпадних вода на примеру Факултета инжењерских наука.....	41
9.1. Сиве воде.....	41
9.2. Настајање сивих вода на факултету инжењерских наука у Крагујевцу	42
9.3. Могућност израде биљног уређаја на крову факултета	43
Закључак	46
Литература.....	47

1. Увод

Због превелике потрошње чисте воде и обимног стварања отпадних вода, морамо почети да размишљамо о неконвенционалним ресурсима чисте воде. Велики број еколошких и здравствених проблема може настати услед недовољног броја објеката за санацију и одвођење отпадних вода.

Велике количине чистих вода се користе за наводњавање, и због тога би било идеално увести коришћење биљних уређаја. Сиве воде које настају у градовима се могу прикупљати, пречишћавати у биљним уређајима и након тога поново користити у сврху наводњавања. Такође се сиве воде из домаћинства могу пречишћавати и користити за испирање тоалета или прање веша. Тиме би се такође остварила велика уштеда воде у домаћинствима.

За пречишћавање отпадних вода су веома погодни биљни уређаји због ниских трошкова одржавања и мале потрошње енергије. На ефикасност биљних уређаја у пречишћавању воде највише утиче избор вегетације, супстрата, и тип уређаја.

Примена биљних уређаја налази све већу примену, како би се смањила потрошња воде, као и загађење водених и копнених површина. У првом делу рада су описане врсте отпадних вода, које се могу пречистити биљним уређајима, врсте биљних уређаја и основни делови, као и биљке које се користе. У другом делу рада дате су примене биљних уређаја у свету и код нас. У последњем поглављу рада дат је предлог за израду биљног уређаја на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу.

2. Отпадне воде

Отпадне воде су природне воде које су након употребе постале штетне за животну средину. Та вода не може да се поново користи зато што се њене физичке, хемијске и биолошке карактеристике мењају у тој мери да су штетне за даљу употребу као и за животну средину. Отпадне воде могу бити атмосферске, подземне воде, комуналне тј. градске отпадне воде, и отпадне воде из пољопривреде. Атмосферске отпадне воде су воде које се прикупљају приликом падавина или топљења снега. Подземне отпадне воде су најмање загађене, док су комуналне отпадне воде највише загађене и оне настају мешањем санитарних и индустријских отпадних вода [1]. Постоји више врста отпадних вода, неке су више загађене, а неке мање (слика 1).



Слика 1. Подела отпадних вода

Невезано са местом настајања све врсте отпадних вода се морају пречистити ако њихов квалитет и чистоћа не одговара законским оквирима. Надлежни органи одређују оквири квалитета и количину отпадних вода како би заштитили воде и земљишта од загађења. Држава одређује норму потрошње воде на основу своје развијености и на овој пројекцији потрошње се базирају планови за изградњу постројења за водоснабдевање и за пречишћавање вода. Иако се у Србији троши мање воде него што је нормом предвиђено,

јачко мало воде се пречишћава. Велика количина воде се излива из канализационе мреже, чак и она која заврши у канализационом систему се у већој мери излива непречишћена због недовољног броја постројења за пречишћавање отпадних вода. У Србији се пречишћава свега 10 % отпадних вода, а више од 50 % индустрија не пречишћава своје отпадне воде зато што немају средства за то [1].

2.1. Врсте отпадних вода

Санитарне отпадне воде су загађене фецесом и урином, остацима од кувања, прања и чишћења. Ове воде немају талог већ садрже растворене пливајуће материје и углавном су сличног састава. Санитарне отпадне воде су штетне за околину због присуства патогених микроорганизама и детерџената.

Индустријске воде су веома разноврсне по загађењу и могу бити више стотина пута загађеније од санитарних вода. Највеће загађење међу индустријским отпадним водама има хемијска индустрија која укључује и фармацију. Ове воде се морају обавезно пречистити пре мешања са санитарним водама у канализацији зато што садрже материје које се у постројењима за пречишћавање комуналних вода не могу уклонити. Тај поступак се назива предтретман индустријских отпадних вода и врши се у кругу фабрике.

Отпадне воде из пољопривреде садрже пестициде и ђубрива који се директно из земљишта сливају у подземне воде или површинске воде у близини. Вубрива су богата солима азота и фосфора који одговарају биљкама и микроорганизмима и због тога често долази до њиховог премножавања. Пренамножене цијанобактерије могу да ослободе отрове који делују на нервни систем људи и животиња, и због тога се ове воде не смеју пити. Осим тога, пренамножени микроорганизми троше превише кисеоника, и због тога рибе и друге водене животиње умиру [2].

2.2. Пречишћавање отпадне воде

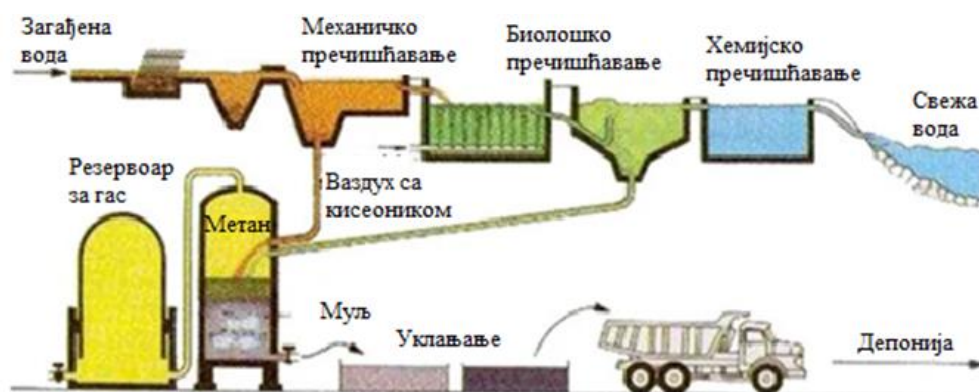
Примарно (механичко) пречишћавање уклања растворене и пливајуће честице или талог коришћењем решетки, сита, таложника и хватача масти. Да би се побољшало таложење некад се додају хемијска средства. Такође се врши стварање ваздушних мехурова који на површину износе честице загађења, и то се назива флотација. Код примарног пречишћавања отпадних вода, уклони се 100% чврстог материјала, и преко 50% растворених честица и 10% фосфора.

Код секундарног пречишћавања се врши гајење одређених врста бактерија које уклањају биоразградива загађења. Те бактерије усвајају та загађења за сопствени раст. Могу се користити и аеробне бактерије које користе кисеоник и анаеробне бактерије које не користе кисеоник. Аеробне лагуне или језера са активним муљем у коме су бактерије, протозое или алге, користе се на просторима умерене климе. На овај начин се пречишћавају санитарне воде. За пречишћавање индустријских вода се примењују анаеробни процеси као што је метанско врење. Анаеробни процеси су ефикаснији у пречишћавању индустријских вода.

Биолошки третман има успешност од око 85%, али у води остају микроорганизми, метали и органска једињења која се не могу разградити биолошким путем. Такође муљ који преостаје се такође мора обрадити на одређен начин у зависности од остатака у њему. Најчешћи и најједноставнији начин обраде муља је компостирање, али уз то се мора вршити и механичка и термичка обрада. Механичка обрада подразумева уклањање папира, металних и пластичних делова.

Код терцијалног пречишћавања отпадних вода се врши уклањање азота и фосфора. Биолошким путем се не могу уклонити велике количине фосфора зато што је за то неопходна подједнака количина угљеника, азота и фосфора. Због тога се врши таложење хемикалијама.

На крају се врши квартално пречишћавање за финално уклањање преосталог загађења филтрацијом или апсорпцијом, некад праћено дезинфекцијом воде. На слици 2 су приказане фазе пречишћавања отпадних вода. Видимо да је прво механичко, па биолошко, па хемијско пречишћавање. Муљ који остаје после прве и друге фазе се исто обрађује, а потом превози на депонију [3].



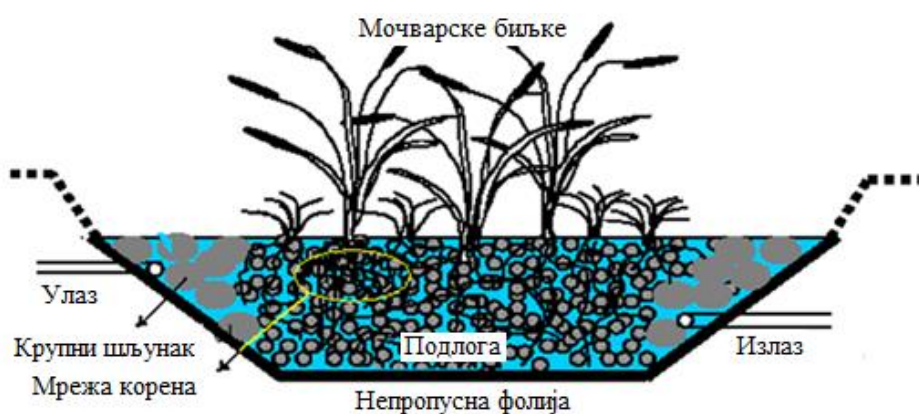
Слика 2. Фазе пречишћавања отпадних вода

3. Биљни уређаји

Сваким даном наша планета је све више и више загађена и због тога је неопходно подизање свести о чувању животне околине. Обрада отпадних вода укључује могућност поновне употребе те воде у индустрији или у пољопривреди за наводњавање пољопривредних површина. Биљни уређаји за пречишћавање отпадних вода су природна алтернатива стандардним техничким методама за пречишћавање отпадних вода. Природни процеси пречишћавања воде са биљкама су се одувек одвијали у рекама, језерима, водотоцима и мочварама, а најефикаснији су екосистеми у којима доминирају водене биљке. Висока ефикасност је резултат великих активности микроорганизама, што показује величину капацитета тих система за разградњу органских чврстих материја.

3.1. Историјски развој

На немачком институту *Max Planck* су 1952. године започета истраживања о употреби мочварских биљака за пречишћавање отпадних вода. Изградња вештачке мочваре, која је названа биљни пречишћивач, а имитира процес природне мочваре, би омогућила пречишћавање воде (слика 3).



Слика 3. Приказ биљног уређаја

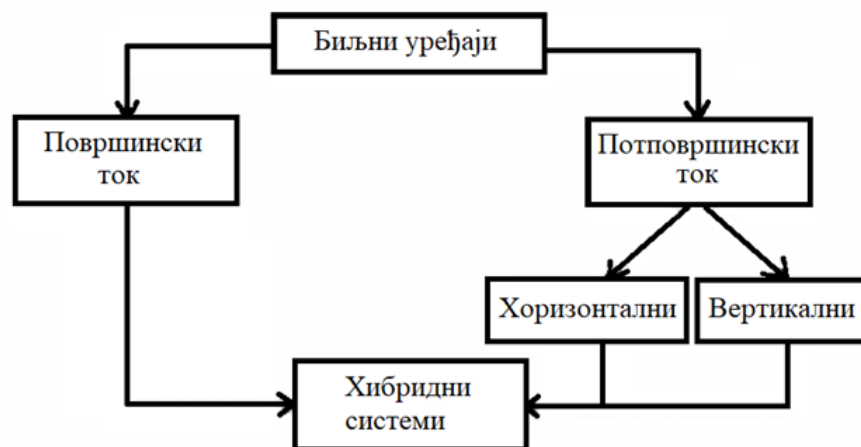
Након тога већи број земаља је наставило истраживања и експериментисање на биљним пречишћивачима све до данашњег дана. Приликом изградње биљних уређаја веома је битан избор подлоге, врста вегетације која се користи, врста протока воде кроз систем, и

такође је битно да се води рачуна да се процес пречишћавања одвија биолошким, физичким и хемијским процесима, као што су таложење, адсорпција, асимилација кроз биљна ткива и трансформација микроорганизмима.

Данас се све више и више у свету користе биљни уређаји за пречишћавање воде. Данска, Немачка и Велика Британија имају преко 200 биљних уређаја за обраду санитарних отпадних вода. Северна Америка има више од 400 биљних уређаја за обраду санитарних, индустријских, пољопривредних и постројења за пречишћавање кишнице. Чешка има више од 100 биљних уређаја за пречишћавање отпадних вода. Биљни уређаји се могу користити за третирање свих врста отпадних вода, али се углавном користе за пречишћавање отпадних вода из домаћинства у малим насељима, фармама, туристичким насељима, третман процедурних вода са депонија, пречишћавање отпадних вода малих фабрика [4].

3.2. Типови биљних уређаја

Биљни уређаји могу бити различитих облика, конструкција као и карактеристика. Могу се поделити на више начина: према врсти биљака, режиму течења (слободно водно лице, потповршински ток – хоризонтални и вертикални), типовима конфигурације биљних уређаја, врсти обрађиване отпадне воде, нивоу обраде отпадне воде (1. ниво, 2. ниво, 3. ниво, дезинфекција), типу претходног пречишћавања, врсти супстрата (шљунак, песак и слично), начину дистрибуције отпадне воде (континуирана или испрекидана дистрибуција воде) (слика 4).

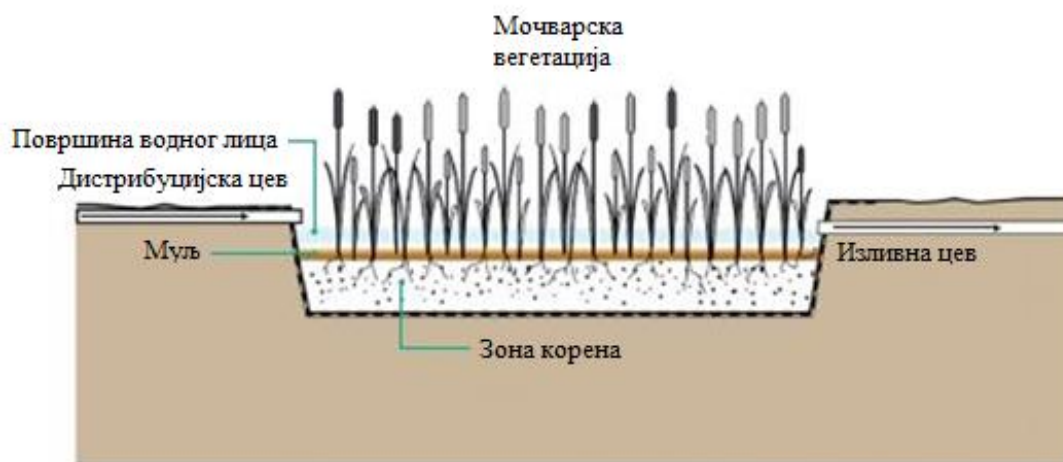


Слика 4. Типови биљних уређаја

Најосновнија подела је режим течења. Према томе се биљни уређаји деле на два основна типа а то су биљни уређаји са слободним водним лицем и биљни уређаји са потповршинским током. У Европи се углавном примењују биљни уређаји са потповршинским током, а у зависности од смера у ком тече вода разликују се вертикални и хоризонтални ток [5].

3.2.1. Биљни уређаји са слободним водним лицем (БУСВ)

Биљни уређаји са слободним водним лицем се састоје од релативно плитких мочварских базена или канала кроз које отпадна вода слободним током тече према испусту док је површина воде директно изложена утицају атмосфере. Део површине уређаја је прекривен мочварском вегетацијом, и она игра веома важну улогу у процесу пречишћавања и функционисању уређаја, и изгледа попут природних мочвара и станиште је за бројне биљне и животињске врсте (слика 5).



Слика 5. Биљни уређај са слободним водним лицем

Аеробни процеси се одвијају у близини површинског слоја воде, док се анаеробни процеси одвијају у дубљој води и супстрату. Да би се спречило проницање непрочишћене воде у земљу потребно је да дно и падине базена или канала буду обложени водоотпорним материјалом. На непропусну површину се мора сипати додатни слој земље како би се омогућио раст мочварске вегетације.

Одређени део површине БУСВ прекривен је мочварском вегетацијом (слика 6), која игра важну улогу у процесима пречишћавања и раду уређаја.



Слика 6. Приказ изграђеног биљног уређаја

Веома је битно обезбедити равномерни доток отпадних вода кроз цео пресек како би се избегло стварање такозване мртве зоне. Мртва зона не учествује у пречишћавању, или учествује са смањеним деловањем, и то резултира смањеном ефикасношћу пречишћавања целог уређаја [5].

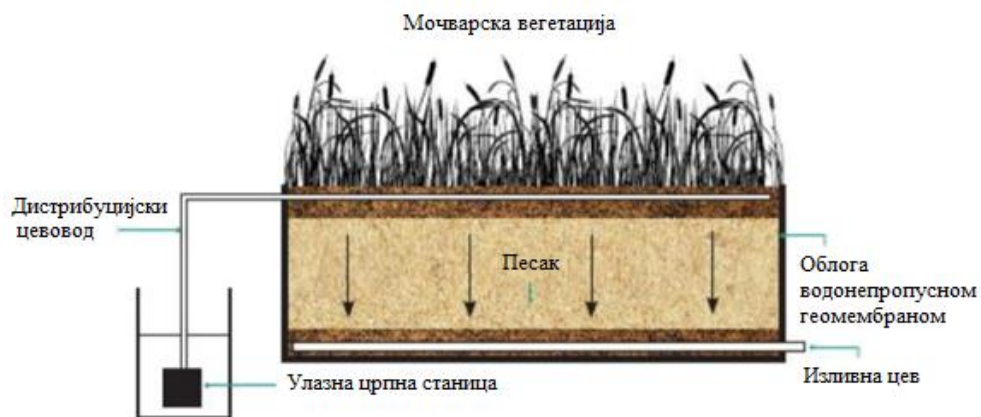
Данас се биљни уређаји са слободним водним лицем све ређе користе као самостални уређаји за пречишћавање воде, већ се користе као последњи базен приликом извођења хибридних биљних уређаја и преузима функцију базена за полирање.

3.2.2. Биљни уређаји са потповршинским током (БУПТ)

Биљни уређаји са потповршинским током се изводе као плитки канали или међусобно повезани базени, обложени водонепропусним материјалом и испуњени порозном подлогом, и такав уређај није изложен атмосфери. Као подлога за овај уређај се користе песак, шљунак и камен одговарајуће гранулације. Када отпадна вода пролази кроз подлогу долази до уклањања отпадних материја процесима филтрације, апсорпције и биоразградње органске материје. Смер протока отпадних вода може бити хоризонтални и вертикални. Предност овог типа је независност од климатских услова, одсуство непријатних мириса и инсеката и врло лепо се уклапа у животну средину као одвојено формиран екосистем.

3.2.2.1. Биљни уређај са вертикалним потповршинским током (БУВПТ)

Биљни уређај са вертикалним потповршинским током се састоји од три карактеристична слоја одговарајуће дебљине и подлоге (слика 7). Садржи површински слој са подлогом од грубог шљунка, средњи слој филтера са подлогом од песка средње до грубе гранулације и одводни слој дна са подлогом од грубог шљунка.

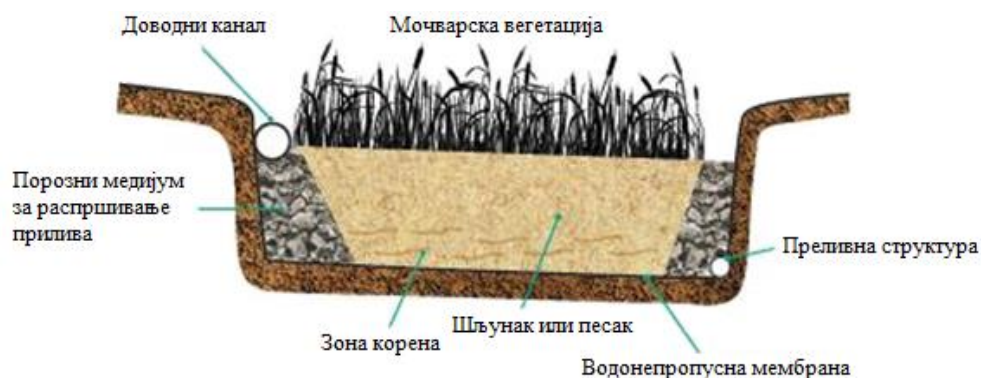


Слика 7. Биљни уређај са вертикалним потповршинским током

Отпадне воде након пречишћења се дистрибуирају по целој површини уређаја кроз мрежу дистрибутивних цеви, што обезбеђује равномерну расподелу отпадних вода унутар уређаја, што је неопходно за успешан рад. Мали отвори који се буше у одговарајућим интервалима омогућавају пропуштање отпадних вода из разводних цеви. Након тога отпадне воде под дејством гравитације вертикално се филтрирају кроз цело тело биљног уређаја и успут се одвија њихово пречишћавање. У процесу пречишћавања отпадних вода је најактивнији централни слој филтера и он је најдебљи. Функцију одвода пречишћене и филтриране воде има доњи дренажни слој, а унутар њега су положене дренажне цеви кроз које пречишћена вода тече од уређаја до управљачког окна. Веома је важно осигурати повремену доток отпадних вода. За време периода одмора између два дотока отпадних вода на површину уређаја, омогућена је вентилација централног слоја филтера јер ваздух продире у поре пунила што је важно за одржавање аеробних услова разградње органске материје и постизање потпуне нитрификације [5].

3.2.2.2. Постројење са хоризонталним потповршинским током (БУХПТ)

Код постројења са хоризонталним потповршинским током вода тече хоризонтално кроз порозну подлогу (слика 8). Подлога се састоји од три зоне карактеристичне дебљине и састава. Уливни део садржи подлогу веће гранулације (груби шљунак, камен), главни централни филтерски део има подлогу шљунка или песка и одводни део има подлогу веће гранулације.



Слика 8. Биљни уређај са хоризонталним потповршинским током

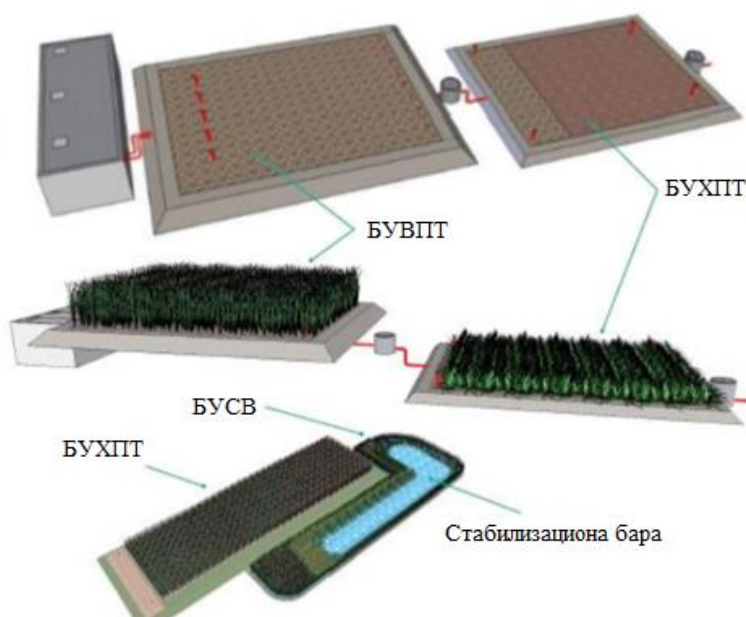
Прилив отпадних вода код уређаја са хоризонталним потповршинским током може бити и непрекидан и повремен. Доток воде зависи од терена и конфигурација целог уређаја. Невезано са начином дотока, веома је важно обезбедити равномерну расподелу отпадних вода из разводних цеви по целој ширини уређаја. Равномерна расподела отпадне воде омогућава успешан рад уређаја. Хоризонтални ток подржан је малим уздужним падом дна уређаја. Најактивнији део у процесу пречишћавања воде је централни део, и самим тим је највећи [5].

3.2.3. Хибридни биљни уређаји (ХБУ)

Хибридни биљни уређаји представљају системе који садрже два или више серијски повезаних базена са различитим врстама биљних уређаја (слика 9). Комбинација различитих врста биљних уређаја постиже већу ефикасност пречишћавања отпадних вода

зато што користи предности од сваке врсте биљних уређаја који се користе. Ови уређаји су посебно ефикасни у уклањању азота и патогених микроорганизама.

Због одржавања аеробних услова, биљни уређај са вертикалним потповршинским током (БУВПТ) су се показали поузданима у постизању потпуне нитрификације и најчешће се користе код хибридних биљних уређаја као први у низу (на почетку система). Због сталног потапања, анаеробни услови (без присуства кисеоника) преовладавају у уређају са хоризонталним потповршинским током (БУХПТ), док се аеробни услови јављају делимично дуж корена мочварске вегетације кроз коју је обезбеђен пренос кисеоника. Анаеробни услови омогућавају спровођење процеса денитрификације ако му је претходила нитрификација. Будући да је за поступак денитрификације потребан извор нитрата, уређаји са хоризонталним потповршинским током се најчешће уграђују у хибридне биљне уређаје након биљних уређаја са вертикалним потповршинским током (БУВПТ).



Слика 9. Хибридни биљни уређај

Комбинација биљних уређаја са слободним водним лицем (БУСВ) и биљних уређаја са потповршинским током (БУПТ), такође је честа у хибридних биљних уређајима. Када се користи комбинација БУСВ и БУПТ, онда је БУСВ последњи у низу и они имају функцију завршног полирања пречишћене воде.

Хибридни уређаји показали су се успешним у пречишћавању канализације, процедурних вода из депонија, воде од компоста, отпада из кланица, винарија и аквакултуре. Применом различитог дизајна и димензија хибридних биљних уређаја, могу да се направе системи са доста већим степеном уклањања отпада, чак и за примену биљних уређаја у осетљивим областима. Коришћење хибридних биљних уређаја такође омогућава изградњу система из којих нема цурења [6].

3.3. Предности и недостаци хоризонталног и вертикалног биљног уређаја

Постоји више различитих типова биљних уређаја, и сви имају своје предности и мане. Код неких уређаја предности су и мане. Као на пример код уређаја са вертикалним протком где је предност мала површина, али зато је недостатак кратак пут проласка отпадне воде.

У табели 1 и 2 су приказани предности и недостаци хоризонталног и вертикалног биљног уређаја [7].

Табела 1 - Предности и мане уређаја са вертикалним протоком [7]

Предности	Недостаци
Мања површина	Кратак пут проласка отпадне воде
Добро снабдевање кисеоником	Слабо уклањање фосфора
Високе карактеристике пречишћавања од почетка рада	Технички захтеви су високи
Једноставна хидраулика	

Табела 2 - Предности и мане уређаја са хоризонталним протоком [7]

Предности	Недостаци
Дужи пут отпадних вода	Већа површина
Могућа денитрификација и нитрификација	За оптималан унос кисеоника потребан је детаљнији хидраулички прорачун
Хуминска киселина потребна за уклањање азота и фосфора	Теже је постићи снабдевање отпадном водом
Дужи рок трајања	

4. Опис биљних уређаја

Ефикасност биљних уређаја зависи од протока, од номиналног времена задржавања и микроклиматских карактеристика. Изградња биљних уређаја захтева више слободног простора у поређењу са конвенционалним постројењима за пречишћавање отпадних вода.

Економске анализе биљних уређаја укључују:

1. Трошкове планирања, дизајнирања и добијања дозвола;
2. Вредност земљишта намењеног за изградњу уређаја;
3. Трошкове рада и одржавања;
4. Надгледање рада постројења;

У трошковима експлоатације, одржавања и изградње можемо издвојити неколико фактора који на њих утичу, а најважнији су топографске карактеристике, земљиште и клима.

1. Топографске карактеристике: равни терени без вертикалних прелома погодни су за изградњу биљних уређаја. Такође су дозвољене веће падине. Препоручује се избегавање примене биљног уређаја на подручју са нагибом већим од 5%.

2. Земљиште: код сваког биљног уређаја неопходно је спречити цурење необрађене воде у земљиште. Због тога је неопходно обложити базен водонепропусним материјалом карактеристика као што су дебљина и састав отпоран на отпадне материје из отпадних вода. Коришћење биљног уређаја за пречишћавање отпадних вода треба избегавати у пределима где постоји ризик од поплава.

3. Клима: биљни уређаји се могу примењивати у хладнијим климатским условима, али тамо где превладавају врло ниске температуре треба бити опрезан, јер се одлагање отпада заснива на биолошким процесима пречишћавања, а њихова динамика зависи од температуре воде.

Отпадне воде се у биљним уређајима задржавају између три и десет дана. У предности биљних уређаја се убраја то што нема инсеката или непријатних мириса,

управљање је једноставно и постоји висок степен пречишћавања. Њихова велика предност је прилагодљивост различитим спољним условима, док су недостаци то што су еколошки и хидролошки врло сложени и захтевају велике површине земљишта.

У процесу пречишћавања отпадних вода биљним уређајем користе се посебне биљке које су намењене за ову намену. Најчешће се користе следеће биљке: шаш, жути ирис, блиставица, обични ирис и трска. Углавном се користе оне биљке које расту у приобалним подручјима језера и мочвара. Њихово заједничко име је хелофит. Хелофити укључују врсте биљака попут *Phragmites australis*, *Carex*, *Scirpus* и *Typha*.

Најчешћа подлога у биљним уређајима су песак или шљунак. Избор подлоге у великој мери утиче на ефикасност уређаја у уклањању отпадних материјала. У првих месец дана се врши одржавање и надгледање и на почетку се користи слабо задрљана отпадна вода. Након тога се полако повећава концентрација загађене воде. Уређај је спреман да ради у пуном капацитету тек за три до четири месеца. У првој години рада уређај се мора проверавати најмање једном недељно, и то се прво надгледа ниво воде у систему, рад пумпе, проток воде и систем довода и одвода цеви. Током рада уређаја морају се пратити влажност, температура и падавине [7].

4.1. Мочварска вегетација

Важну улогу у раду свих биљних уређаја има мочварска вегетација, а посебно код уређаја са потповршинским током. Код потповршинског тока уређај је прекривен микрофитима чије стабљике и ризоми расту кроз супстрат, а део стабљике са лишћем расте изнад површине. Биљке које се користе у биљним уређајима морају да буду толерантне на веће концентрације органске материје и храњивих састојака, да имају развијену мрежу ризома, да омогуће што већу површину доступну за колонизацију микроорганизмима и да имају велику надземну биомасу за топлотну изолацију током зиме у хладнијим областима. Најчешће коришћена врста у системима за пречишћавање мочварских отпадних вода је *Phragmites australis* (обична трска).

Улога мочварске вегетације је да омогући пренос кисеоника кроз лишће и стабљике до ризома, односно преношење кисеоника у зону корена. Мртва вегетација пружа додатне

хранљиве састојке за раст и развој микроорганизама који учествују у пречишћавању отпадних вода. Током зимских месеци мочварска вегетација делује као топлотни изолатор који спречава значајно смањење температуре воде унутар испуне и њено смрзавање, што позитивно утиче на биолошке процесе разградње органске материје [6].

4.2. Биљке у процесу пречишћавања отпадних вода

Рад биљних уређаја заснован је на природној способности биљака да апсорбују штетне материје и користе их као храну (табела 3). У заједничком активном деловању микроорганизама и мочварских биљака, унапред пројектованој улози физичких и хемијских процеса, вода се пречишћава према потребним стандардима. Отровне супстанце се распадају у процесу пречишћавања, делимично се уграђују у биљке, а делимично остају у супстрату [8].

Табела 3 - Биљке које се користе у процесу пречишћавања отпадних вода [8]

МАКРОФИТЕ	МАКРОФИТЕ ПЛУТАЈУЋЕ	МАКРОФИТЕ ПОДВОДНЕ
Carex elata	Lemna spp.	Potamogeton spp.
Phragmites australis	Nymphaea alba	Ceratophyllum spp.
Typha latifolia	Nuphar lutea	Myriophyllum spicatum
Alisma plantago aquatica	Hydrocharis morsus-ranae	Myriophyllum verticillatum
Bolboschoenus maritimus	Salvinia natans (Erba pesce)	
Lythrum salicaria	Spirodela polyrrhiza (Erba pulla)	
Calla palustris	Trapa natans (водени кестен)	
Mentha vodana		
Caltha palustris		
Cladium mariscus		
Cyperus spp.		
Holoschoenus spp.		
Iris pseudacorus		
Juncus effusus		
Sagittaria spp.		
Scirpus spp.		
Schoenoplectus lacustris		
Sparganium erectum		
Dryopteris felix-mas		
Nerium oleander (Oleander)		
Salix sp. (врбе)		

4.3. Набавка, достава и садња вегетације

Током изградње биљних уређаја мочварска вегетација може се успоставити на неколико начина:

- пресађивањем корена биљке,
- пресађивање матичњака биљке,
- пресађивање младих биљака из расадника,
- пресађивање одраслих биљака из околине,
- сетвом.

Најефикаснији, као и најчешћи случај је директна садња садница из расадника. Када се пресађује корен, матичњак биљке, или већ израсла биљка постоји ризик да се биљке не навикну на ново окружење и да изумру. Најјефтинија је сетва вегетације, али је такође најнеквалитетније решење које захтева пуно времена да се вегетација у потпуности успостави. Потребна густина садње за пресађивање је 4-8 биљака по m^2 површине биљних уређаја, са тиме да се биљке саде равномерно. Препоручује се садња биљака са густином од 6-8 биљака по m^2 површине биљног уређаја.

Препоручује се да се мочварска вегетација узима из што ближег подручја са сличним или истим климатским условима. Пре него што се изабере мочварска вегетација потребно је обићи терен да би се истражило која врста вегетације ће најбоље успети у том подручју. Вегетација која се пресађује мора бити достављена и пресађена у року од 36 сати, а ако се пресађују саднице из расадника то време треба скратити што је више могуће. За биљне уређаје са потповршинским током се најчешће користе биљке: трска (*Phragmites australis*), рогоз (*Typha latifolia*), али то не искључује употребу остале мочварске вегетације.

Веома је битно избегавати употребу егзотичних биљака, које нису карактеристичне за одређену климу. Неке врсте егзотичних мочварских биљака се могу брзо проширити на околно подручје и са тиме изазвати нежељене последице у животној средини, спречавајући развој аутохтоне флоре. Раније изоловани типови мочварске вегетације су такође инвазивни, али су такође познати по својој отпорности на различите штетне утицаје.

Тренутна пракса такође указује на њихову осетљивост током транспорта и у почетним фазама раста након пресађивања. Због тога је неопходно да се приликом изградње биљног уређаја преузму одговарајуће мере за побољшање адаптације пресађене вегетације у нову средину и њихов даљи раст. Након пресађивања вегетације препоручује се да се тело биљног уређаја потпуно напуни чистом водом, до неколико центиметара изнад површине земље.

Никако се не препоручује да се тело биљног уређаја испуни отпадном водом у раној фази. Комплетно пуњење водом тела биљног уређаја спречиће раст и развој корова, док ће се пресађена мочварска вегетација успешно развијати. Ако ова техника не спречи раст корова, неопходно је применити другу технику. Ниво воде у биљном уређају треба да буде висок док се вегетација не прилагоди новом окружењу. Када прође период прилагођавања, ниво воде треба постепено спуштати како би се раст корена усмерио у дубину. У почетној фази адаптације вегетације пожељно је додати течно ђубриво [5].

5. Планирање и пројектовање биљних уређаја

Планирање и пројектовање биљних уређаја је најважнији и најзахтевнији део који се односи на њихову примену. Пре него што се дође до фазе пројектовања и димензионисања биљног уређаја потребно је да се донесе одлука који тип биљног уређаја ће се изградити, као и да се пронађе оптимално технолошко решење за пречишћавање отпадних вода на одређеној локацији. Након тога, потребно је пажљиво размотрити и дефинисати све фазе даље припреме, као што је прикупљање потребне документације и потребних грађевинских дозвола, саме градње и накнадног рада и одржавања биљног уређаја.

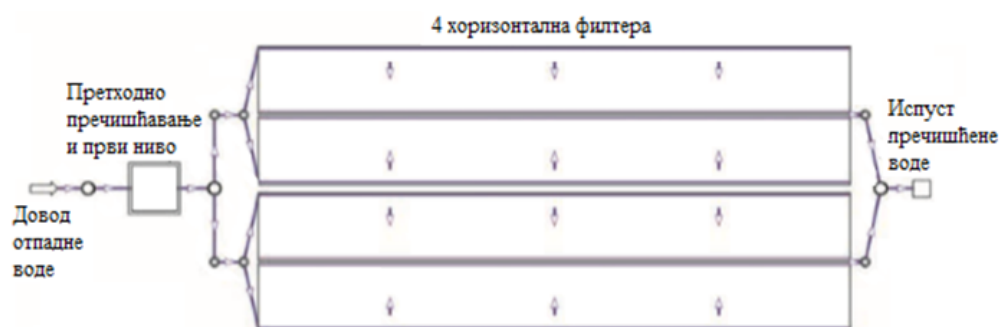
Почетна фаза анализе која се односи на сваку потенцијалну примену биљних уређаја укључује разматрање и дефинисање потребног степена пречишћавања и потребне ефикасности пречишћавања комплетног система. Квалитет пречишћене воде зависи од законских одредби и свих додатних захтева локалне заједнице у складу са одредбама одговарајуће просторно-планске документације. Након што се заврши ова фаза, потребно је да се донесе одлука који тип биљног уређаја је прихватљивији – проточни (долази до испуштања воде из уређаја), или непроточни (количина отпадних вода је нула, тј. отпадна вода се задржава у уређају и губи се испаравањем). Важни фактори за биљне уређаје су теренске карактеристике (клима, топографија, геологија, земљиште, и хидрогеологија). Пре изградње биљног уређаја потребно је анализирати све аспекте који могу утицати престанак, или ограничење рада одређених биљних уређаја. У те аспекте се убрајају економски, институционални, политички, социо-културни, климатски, еколошки, као и многи други аспекти. Такође је веома битно имати довољно простора за изградњу биљног уређаја. У циљу избора најбољег решења, треба да се имају у виду сви важни фактори, и на основу тога да се изврши анализа исплативости појединих решења [5].

5.1. Основне конфигурације биљних уређаја за пречишћавање отпадних вода

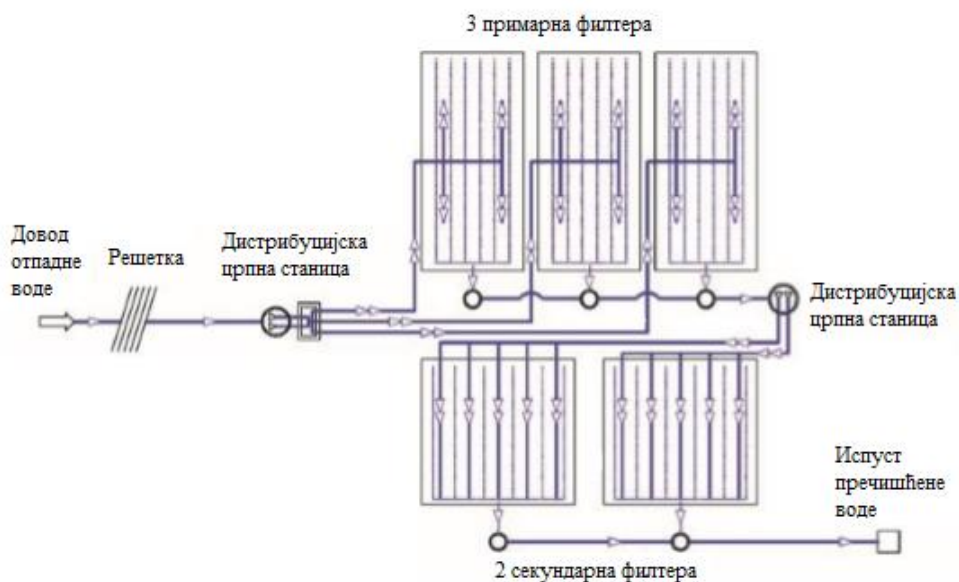
Биљни уређаји се углавном користе у другој фази пречишћавања, и у већини случајева отпадна вода пре него што дође до тела биљног уређаја буде подвргнута

примарном пречишћавању. Отпадна вода прво пролази кроз предтретман и прву фазу пречишћавања, а затим се у биљном уређају врши биолошки третман.

За биолошки третман отпадних вода могу се користити биљни уређаји са хоризонталним потповршинским током или биљни уређаји са вертикалним потповршинским током, или комбинација хоризонталног и вертикалног (хибридни биљни уређај). Комбинација хоризонталног и вертикалног уређаја је посебно погодна када постоје додатни захтеви за квалитет пречишћене воде. Основне конфигурације за хоризонтални филтер су приказане на слици 10, а на слици 11 су приказане конфигурације за вертикални филтер.

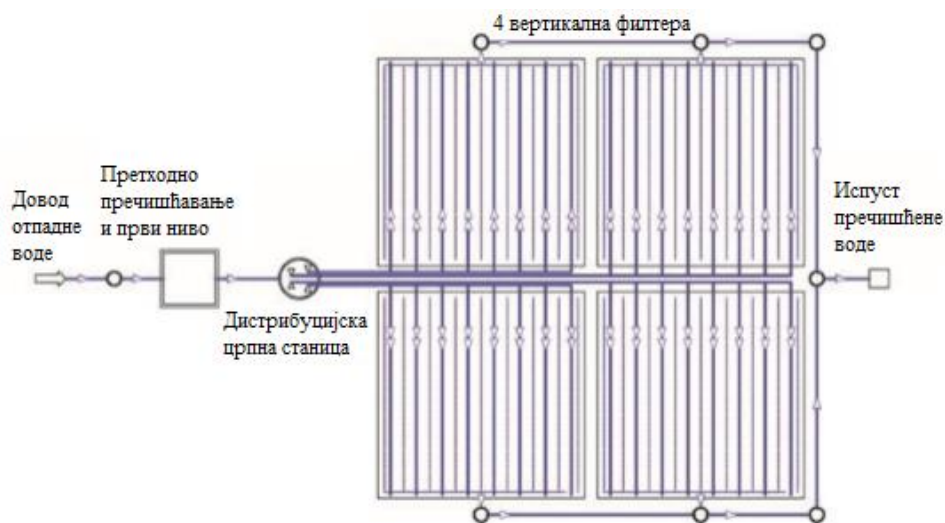


Слика 10. Конфигурација постројења за пречишћавање отпадних вода са хоризонталним филтерима



Слика 11. Конфигурација постројења за пречишћавање отпадних вода са вертикалним филтерима

Осим основних конфигурација, постоји и конфигурација која је развијена деведесетих година у Француској и због тога се назива „француски систем“ (слика 12). Код „француског система“ отпадна вода након проласка кроз решетку се дистрибуира у поља првог степена која су обликована као вертикални филтер и која су испуњена шљунком. Расподела отпадне воде врши се дистрибутивним цевоводима пречника $> 100\text{ mm}$. За разлику од класичних вертикалних филтера, ове разводне цеви немају уздужне рупе, и отпадне воде одлазе на поља на крајевима цевовода. Када се заврши предtretман на пољима прве фазе, отпадне воде се дистрибуирају на поља друге фазе ради даљег пречишћавања. Поља за другу фазу пречишћавања су такође вертикални филтери, али са грубом песковитом подлогом.



Препоручује се да се након прве фазе, отпадне воде поделе на три поља на којима се отпадне воде периодично дистрибуирају. Отпадне воде се дистрибуирају у једно поље три до четири дана, а након тога мирују шест до осам дана, током којих се користе друга поља. Сврха таквог рада је контрола раста биомасе и одржавање аеробних услова на пољима. Друга фаза је подељена у два поља и начин рада је као код класичних вертикалних филтера. Поља или филтери су засађени трском. Муљ се акумулира на површини поља првог степена. Годишње се скупи око $1,5\text{ cm}$ муља, и муљ се уклања када се скупи слој висине 20 cm , углавном између десет до петнаест година [9].

5.2. Основни принципи пројектовања и хидраулички прорачун биљног уређаја

При пројектовању биљних уређаја за пречишћавање отпадних вода потребно је узети у обзир карактеристике отпадних вода које се пречишћавају, као и потребан степен пречишћавања. Главне карактеристике отпадних вода укључују концентрацију растворених супстанци и чврстих органских једињења, односно биохемијску потребу за кисеоником, суспендоване чврсте материје, једињења азота и фосфора, тешке метале, патогене бактерије или вирусе. Биљни уређај треба да буде пројектован тако да уклони ове карактеристике до дозвољених граница. Дизајн уређаја укључује одређивање хидрауличног капацитета, нивоа оптерећења, времена задржавања воде и врсте биљака. Ови параметри су дефинисани прописима и ограничењима за испуштање отпадних вода. Биљни уређаји су динамични системи подложни различитим утицајима: од регионалних климатских услова, геолошких карактеристика до локалне вегетације. Хидраулички капацитет се може дефинисати као способност биљног уређаја да у одређеном тренутку третира одређену количину отпадних вода. Тај период се назива хидраулично време задржавања (*HRT*). *HRT* се може израчунати према следећој формули [10]:

$$HRT = \frac{V}{Q} = \frac{LW(d_m n + d_w)}{Q} = A \frac{(d_m n + d_w)}{q} \text{ (dan)}$$

Где је:

V – запремина воде у уређају (m^3)

Q – средњи проток кроз биљни уређај ($m^3/danu$)

A – површина биљног уређаја (m^2)

L – дужина биљног уређаја (m)

W – ширина уређаја (m)

d_m – дебљина медија кроз који вода пролази (m)

d_w – дубина воде од површине медија (m)

n – порозност

5.3. Одржавање биљних уређаја

Сама изградња биљног уређаја није довољна да се постигне жељена ефикасност. Сваком биљном уређају је потребно време за успостављање биолошке равнотеже биљних и животињских заједница, а да би се одржала та равнотежа потребно је редовно одржавање. Ако се биљни уређај не одржава редовно долази до зачепљења разводних цеви, зачепљења испуне, плављења површине, ширења непријатних мириса, неконтролисаног раста вегетације, интензивног размножавања нежељених инсеката, глодара и слично. Самим тим губи се ефикасност рада биљног уређаја а може доћи и до прекида рада.

Редовне активности одржавања биљног уређаја укључују следеће:

- контрола нивоа воде и таложеног муља у постројењу за пречишћавање,
- редовно испуштање таложених и плутајућих материја у објекту за предтретман,
- контрола протока и дубине воде у мочвари,
- редовна инспекција улазних (дистрибутивних) и одводних (дренажних) објеката и њихово чишћење,
- редовно кошење зелених површина око уређаја и објекта за предтретман, кошење бочних страница биљног уређаја и насипа и, ако је потребно, мочварске вегетације. У случају кошења мочварске вегетације потребно је унапред дефинисати временски план и начин кошења,
- контрола стабилности насипа око тела постројења,
- праћење смањења, стагнације или повећања популације одређених животињских врста,
- праћење ефикасности система [11].

6. Процеси, површина и главни делови биљних уређаја

6.1. Главни процеси пречишћавања

На биљним уређајима са потповршинским током уклањају се следећи загађивачи:

- органска материја изражена као биолошка потреба за кисеоником (БПК) или хемијска потреба за кисеоником (КПК),
- суспендоване чврсте материје - храниве материје (азот и фосфор),
- патогени микроорганизми, тешки метали и органски загађивачи.

Биолошки, физички и хемијски процеси пречишћавања отпадних вода нису ни мало једноставни и одвијају се у различитим зонама главног слоја филтера којем припадају:

- супстрат,
- зона корена и вода у порама,
- отпад (неживи органски материјал, нпр. отпало лишће),
- вода,
- ваздух,
- биљке и корен,
- зоне биомасе, нпр. бактерије везане за супстрат и корење.

Пречишћавање отпадних вода у телу филтера биљног уређаја резултат је сложених интеракција између свих ових зона. У биљном уређају присутно је доста подручја са различитим нивоима кисеоника који подстичу различите процесе разградње и уклањања загађивача. Тело филтера биљног уређаја делује као механички и биолошки филтер. Суспендоване материје из долазне отпадне воде, као и генерисане микробиолошке чврсте материје се задржавају механички, а растворена органска материја се апсорбује биофилмом. Сва органске материје које се пречисте у биљном уређају се разлажу и стабилизују биолошким процесима током дугог временског периода. Биолошко пречишћавање у телу филтера заснива се на активности микроорганизама, посебно аеробних и факултативних бактерија. Ови микроорганизми расту на површини супстрата и корену, и ту формирају

активни биофилм. Преглед процеса уклањања загађивача у биљним уређајима са потповршинским током приказан је у табели 4.

Ниско органско оптерећење биљних уређаја омогућава разградњу тешко разградивих органских загађивача које разграђују специјализоване природне бактерије у земљишту. Све суспендоване чврсте материје, органске материје и створене микроскопске чврсте супстанце се на крају аеробним процесима редукују на CO_2 , H_2O , NO_3 и N_2 . Примећено је да биљке из биљних уређаја у себи имају чврсте метале. Разлози за ово још увек нису познати и највероватније зависе од врсте биљке [9].

Табела 4 - Преглед процеса уклањања загађивача у биљним уређајима са потповршинским протоком [9]

Загађење	Процес пречишћавања
Органска материја (изражена као БПК или ХПК)	Нерастворена органска материја уклања се таложењем и филтрирањем и претвара у растворени БПК. Биофилм фиксира растворену органску материју коју уклањају повезане бактерије (биофилм на стабљима, коренима, честицама супстрата итд.).
Суспендоване супстанце	Филтрација. Разлагање посебних бактерија у тлу током дугог задржавања.
Азот	Нитрификација и денитрификација у биофилму. Унос у биљке (само ограничени утицај).
Фосфор	Седиментација, филтрација, адсорпција, адсорпција биљкама и микроорганизмима.
Патогени микроорганизми	Филтрација. Адсорпција. Изумирање током дугог периода задржавања.
Тешки метали	Пад и адсорпција. Унос у биљке (само ограничени ефекат)
Органска загађења	Адсорпција на биофилму и честицама глине. Могуће распадање због дугог времена задржавања уз помоћ специјализованих бактерија у земљишту.

6.2. Потребна површина

Најчешће коришћен параметар за димензионисање биљног уређаја је површина у m^2 потребна за једног еквивалентног становника (ES). Овај параметар није довољан, зато што величина биљног уређаја зависи и од климатског подручја, потребног квалитета пречишћених отпадних вода, врсте биљног уређаја. Подела биљних уређаја према клими је:

- хладна клима (средња годишња температура $< 10^\circ C$)
- топла клима (средња годишња температура $> 20^\circ C$)
- умерена клима (средња годишња клима - температура је између поменутих вредности)

Приближне вредности одређених подручја дате су у табели 5 и односе се на уобичајне захтеве за квалитет отпадних вода [9].

Табела 5 - Приближне вредности одређених подручја у односу на климу [9]

Површина по особи [m^2/ES]	Хладна клима Средња годишња температура $< 10^\circ C$		Топла клима Средња годишња температура $> 20^\circ C$	
	Хоризонтални	Вертикални	Хоризонтални	Вертикални
	ток	ток	ток	ток
	8	4	3	1,2

6.3. Главни делови

Главни делови биљних уређаја за пречишћавање отпадних вода су објекти предтретмана (механички степен пречишћавања) и сам биљни уређај (биолошки степен пречишћавања). На изглед уређаја, као и димензије појединих делова утичу карактеристике отпадних вода и жељени ниво пречишћавања, као и локани услови [9].

7. Принцип пречишћавања биљним уређајем

Биљни уређај за пречишћавање отпадне воде се састоји од једног или више базена кроз које пролази отпадна вода и успут се пречишћава различитим биолошким, физичким и хемијским процесима. Базени за биљне уређаје су грађени са благим нагибом и дно им је обложено непропусном фолијом или глином да не би дошло до изливања отпадних вода у земљиште. На ту подлогу са ставља подлога која је погодна за садњу мочварских биљака попут трске, шаше, рогоза и слично. У биљним уређајима се одвијају комбинације физичких, хемијских и биолошких процеса. У табели 6 наведени су најважнији механизми уклањања [10].

Табела 6 - Преглед механизма за уклањање [10]

Супстанце садржане у отпадним водама	Механизми уклањања
Укупне суспендоване чврсте супстанце	Седиментација и филтрација
Органска материја (мерено као БПК)	Биолошка разградња и таложење
Органски загађивачи	Адсорпција, испаравање, фотолиза (биолошка и небиолошка разградња)
Азот	Седиментација, нитрификација / денитрификација, микробиолошка деградација
Фосфор	Седиментација, филтрација, адсорпција од стране биљака и микроорганизама
Метали	Седиментација, адсорпција код биљака, микробиолошка оксидација
Патогени	Седиментација, филтрација, природно изумирање, УВ зрачење, дејство антибиотика из корена биљака

7.1. Предтретман отпадне воде

Пре него што се отпадне воде доведу до биљног уређаја оне морају проћи прву фазу пречишћавања. Суспендоване материје, уља и масти се морају уклонити из отпадних вода.

Ако се отпадна вода без прве фазе чишћења пусти у биљни уређај може доћи до зачепљења уређаја и мање ефикасности у раду. Биљни уређај са потповршинским током је посебно осетљив зато што је базен испуњен порозном подлогом која се може лако зачепити и тако изазвати мању хидрауличку проводљивост. Што је подлога уређаја ситнија, то је предtretман отпадне воде важнији. Ако дође до зачепљења отпадна вода ће изаћи на површину. Предtretман отпадне воде ће уклонити распршену отпадну материју, честице уља и масти. А такође ће обезбедити делимично уклањање других отпадних производа као што су органска материја, фосфор и азот. Предtretман отпадне воде се најчешће изводи у облику таложења у септичким јамама. Такође је могуће користити проточне филтере са смањеним органским оптерећењем воде.

Септичке јаме се састоје од неколико водонепропусних комора у којима се одвијају механички и биолошки процеси. Када отпадна вода буде дистрибуирана у септичку јаму, суспендоване честице и други материјали ће се таложити као муљ на дну комора услед утицаја гравитације, док ће масти, уља и друге суспендоване честице испливати на површину воде и тако ће се лакше акумулирати. Због недостатка кисеоника долази до анаеробног разлагања органских материја под утицајем микроорганизама. Муљ који се спушта на дно се разлаже и са тиме се смањује његова количина два до три пута, и то омогућава већу продуктивност и већи временски период између чишћења резервоара [6].

7.2. Уклањање органских чврстих материја и суспендованих честица

Све врсте биљних уређаја имају високи проценат уклањања органских чврстих материја. Код уређаја са слободним водним лицем и уређаја са вертикалним потповршинским током услови микробног разлагања су аеробни, а код уређаја са хоризонталним потповршинским током преовлађују аноксични и анаеробни процеси. Ефикасност разлагања је у суштини једнака и код уређаја са слободним водним лицем и уређаја са вертикалним потповршинским током, а биљни уређај са вертикалним потповршинским током има већи проценат разлагања већих улазних концентрација и зато се он најчешће користи као први код хибридних уређаја. Биљни уређаји са хоризонталним потповршинским током се најчешће користе код ниских улазних концентрација, на пример

код отпадних вода које су разређене кишницом. Све врсте биљних уређаја су врло успешне у уклањању суспендованих честица из отпадних вода (табела 7) [6].

Табела 7 - Ефикасност биљног уређаја у уклањању органских материја и суспендованих честица [6]

БУ	БПК ₅				ТСС			
	Улаз	Израз	%	Н	Улаз	Израз	%	Н
БУСВ	161	42	74	50	185	43	77	52
	34.6	9.8	72	51	57.8	18.3	68	52
БУХПТ	170	42	75	438	141	35	75	367
БУВПТ	274	28	90	125	163	18	89	98

Где је:

БУ - врста биљног уређаја

БПК₅ - биохемијска потреба за кисеоником

ТСС - укупне суспендоване честице

Улаз – улаз отпадних вода у биљни уређај

Израз – излаз пречишћене воде из постројења

% - проценат пречишћавања на излазу

Н - укупан број уређаја

7.3. Уклањање фосфора и азота

Главни начини пречишћавања отпадних вода од фосфора су таложење на дну и адсорпција фосфора у биљкама. Фосфор се врло тешко адсорбује и због тога се биљни уређаји ретко кад постављају са примарним циљем уклањања фосфора. Сама адсорпција фосфора је врло ниска обзиром на то колико се обично јавља у отпадним водама. Различите

студије о кружењу фосфора у мочварском окружењу су до сад показале да се највише фосфора акумулира у тлу и тресету. Код биљних уређаја до акумулације земље долази само код уређаја са слободним водним лицем (БУСВ), зато што се вегетација не мења и отпадне воде су у контакту са горњим слојем тла. Код уређаја са потповршинским током (БУХПТ и БУВПТ) главни начини уклањања фосфора су таложење и адсорпција, али материјали који су коришћени за базен имају врло слаб капацитет за адсорпцију фосфора. За базен се користе шљунак и песак. Од скоро је почела употреба ЛЕЦА (агрегат глатких глина) и других вештачких материјала веће адсорпцијске моћи. Употребом тих материјала уклањање фосфора је врло успешно, али се ефикасност адсорпције и седиментације са временом смањују (табела 8).

Табела 8 - Ефикасност биљног уређаја у уклањању фосфора, азота и амонијака [6]

БУ	UP				UN				NH ₄ – N			
	Улаз	Излаз	%	Н	Улаз	Излаз	%	Н	Улаз	Излаз	%	Н
БУСВ	14.7	9.7	34	52	42.6	23.5	45	29	30	16	48	40
	4.0	1.8	49	207	11.7	6.2	47	192				
	7.9	5.1	35	282	84	49.5	41	116	75	46	39	118
	3.6	1.8	50	52	10.9	4.6	58	36	5.8	2.7	53	59
БУХПТ	9.6	4.8	50	272	63	36	43	208	36	22	39	305
					54	36	33	123	40	28	30	213
БУВПТ	10.3	4.5	56	118	73	41	43	99	56	14.9	73	129

Где је:

UP – Укупни фосфор

UN – Укупни азот

Улаз – Улазак у биљни уређај

Излаз – Излазак из биљног уређаја

% - Проценат пречишћавања на излазу

Н – Укупан број уређаја

Уклањање азота из система зависи од нитрификације, оксидације амонијака у нитрат преко нитрита, и денитрификације која подразумева редукцију нитрата у гасовити азот. Уклањање укупног азота је углавном слабо због ниске нитрификације у БУХПТ, и готово никакво код БУСВ и БУВПТ. Код уређаја са слободним водним лицем (БУСВ) азот се одстрањује нитрификацијом у аеробном воденом процесу и накнадном денитрификацијом аноксичног слоја на површини подлоге. Отпадне воде су у контакту са атмосфером и због тога је значајно испаравање азота. Током дана алге за време фотосинтезе повећавају pH вредност воде и то повећава испаравање. Нитрификација је врло висока код уређаја са вертикалним потповршинским током (БУВПТ), али због аеробних услова у вертикалном слоју нема денитрификације. Ефикасно уклањање азота код уређаја са вертикалним потповршинским током се постиже комбиновањем тог уређаја са БУХПТ код којег нема нитрификације, већ пружа адекватне услове за редукцију нитрата који се стварају код БУВПТ. Долази и до адсорпције азота у биљкама, и оне би се требале често брати и мењати [6].

7.4. Уклањање патогена

Санитарне индикаторске бактерије нормални су састав отпадних вода из домаћинства и треба их уклонити. Уклањање ових бактерија у природним мочварама траје дуго. Код биљних уређаја за пречишћавање воде утичу различити фактори на уклањање патогена. Фактори који утичу на уклањање су ниске температуре, ултраљубичасто зрачење, неповољан pH и састав воде, таложење, а зависи и од гранулације и врсте пуњења базена и дубине базена. Код уређаја са вертикалним потповршинским током проценат уклањања патогена је висок и износи 99,5-99,9%.

Употреба фосфорног филтера који повећава снагу филтрације се препоручује да би ефикасност уређаја била већа. Код уређаја са хоризонталним потповршинским током патогени се најуспешније уклањају филтрацијом, чија снага зависи од дубине базена и врсте пуњења. Плитки базени са фином гранулацијом су се показали као најуспешнији, зато што отпадне воде у плитким базенима имају већу површину у контакту са ризомима макрофита [6].

8. Примене биљних уређаја

Највећи биљни уређај за пречишћавање воде на свету је постројење Нимр које се налази у Султанату Омана (слика 13 и слика 14). Нимр се састоји од низа косих поља са трском и барама за испаравање, и има величину сличну 640 фудбалских терена и прерађује преко $110.000 \text{ m}^3/\text{dan}$ воде произведене са нафтних поља Нимр у јужној Оманској пустињи.



Слика 13. Постојење за пречишћавање воде Нимр

Овај систем се састоји од пасивног сепаратора нафте и воде, 380 хектара мочвара са површинским током и 300 хектара поља за испаравање. Нимр је био кључан у смањењу количине произведене воде загађене угљоводонцима који се одлажу у водоносне слојеве дубоких бунара. Овај систем користи минималне количине фосилног горива за свој рад и због тога резултира огромном уштедом у потрошњи енергије [12].

За пречишћавање се користе биљке *Typha*, *Cyperus*, and *Juncus* (рогоз, шаш, трска). Биљни уређај је почео са радом 2010. године и имао је три проширења до сада. Третман отпадних вода на датој локацији је веома ефикасан, са 99% мањом потрошњом енергије у поређењу са конвенционалним постројењима за пречишћавање отпадних вода.

Пречишћена отпадна вода из мочвара се користи за наводњавање локалних усева, укључујући памук и кукуруз. Биљни отпад из мочвара се такође скупља и претвара у биогориво [13].



Слика 14. Постројење за пречишћавање воде Нимр

Још један пројекат пречишћавања воде биљним уређајем је ревитализација језера на локалитету Трешња, Србија постављањем система плутајућих острва (слика 15). Овај пројекат је реализован од 2018. до 2020. године. Основа пројекта је да се вода пречишћава биљним системима без примене хемијских материјала, и без стварања нус продукта, и без негативних утицаја на животну средину. Ова иновативна технологија се базира на решењима заснованих на природи (*Nature based solutions*). Језеро које је пречишћавано има умерене концентрације загађења, има уређену обалу и представља битну локацију за град и његове становнике.

Плутајућа острва су на локацији постављена средином маја 2019. године и средином јуна 2020. године, а на језеру су се налазила до краја вегетационе сезоне (средина септембра 2019. и средина октобра 2020. године).

На крају истраживања показано је да плутајућа острва додатно обогаћују воду језера са кисеоником, и да имају одличан потенцијал за смањење хемијске потрошње кисеоника,

азота, концентрације нитрита, нитрата, и суспендованих материја. Плутајућа острва су такође из воде уклањала алуминијум, арсен, бор, баријум, калцијум, кобалт, хром, гвожђе, магнезијум, олово, сумпор и цинк. Постигнута је ефикасност уклањања полутаната између 30 и 100% у зависности од врсте полутаната. Такође је анализом санитарно-микробиолошких параметара за оцену еколошког квалитета вода закључено да су плутајућа острва редуковала количину фекалног порекла у распону од 97 до 100% [14].



Слика 15. Плутајућа острва на језеру на локалитету Трешња

Један од неконвенционалних решења за пречишћавање отпадне воде биљним уређајима би била примена мочварских кровова (слика 16). Основна разлика између класичног зеленог крова и мочварског крова је то што се мочварски кров сваки дан вештачки наводњава. То се ради сакупљањем кишнице са кровних површина. Кишница се складишти у цистернама, а затим испумпава на мочварски кров у одређеним количинама.

Ови кровови се могу користити и за пречишћавање сивих вода. Третирана вода би се могла користити за испирање тоалета или наводњавање баште. Са овим би се створила значајна уштеда воде у зградама. Постоје различите цветне мочварске биљке које се могу користити (*Caltha palustris*, *Lythrum salicaria*) [15].



Слика 16. Приказ мочварског крова

Мочварски биљни уређаји за третирање отпадне воде су брзо нашли примену као природно решење за децентрализовани третман отпадних вода, док се мочварски кровови и данас донекле сматрају неконвенционалним решењем. Услед светског пораста броја становника, и повећање густине становника у зградама у урбаним областима, мочварски кровови могу да послуже као иновативни алати за осигурање одрживости урбаних водопривредних структура [16].

9. Примена биљних уређаја за пречишћавање отпадних вода на примеру Факултета инжењерских наука

9.1. Сиве воде

У просечном домаћинству, 50-80% отпадних вода је сива вода. Сива вода укључује искоришћену воду из тушева, каде, судопере, кухиње, машине за судове и машине за веш. Око 30% отпадне воде из домаћинства долази из машине за прање веша. У сивој отпадној води се могу наћи сапуни, шампони, детерџенти, масти, паста за зубе, остаци хране, коса, итд.

Сива вода не би требало да се испушта директно у реке, језера и друге водене површине зато што може проузроковати загађење које може негативно утицати на морски и речни живот, здравље људи, и екологију. Након одговарајућег третмана, сива вода се може поново користити за наводњавање баште или травњака, испирање тоалета и прање веша.

Ако се сива вода користи у те сврхе смањиће се потрошња пијаће воде. У државама у којима постоји дефицит водених резерви, коришћење пречишћене сиве воде може бити од значаја за повећање националних водених резерви.

Предности коришћења пречишћене сиве воду су:

- Мање узимање свеже воде из река,
- Нитрификација горњег слоја земљишта,
- Смањена потрошња енергије и хемијског загађења од третмана,
- Допуњавање подземних водених резерви,
- Повећана пољопривредна продуктивност,
- Побољшани квалитет површинске и подземне воде [17].

Сива вода је другачија од чисте и свеже воде и она има другачије захтеве да би се поново користила. Она не би требала да се складишти дуже од 24 сата. Ако се складишти

дуже од 24 сата, хранљиви састојци из воде ће почети да се распадају и може доћи до стварања непријатних мириса. Контакт са сивом водом се мора смањити на минимум зато што она може садржати патогене [18].

9.2. Настајање сивих вода на факултету инжењерских наука у Крагујевцу

Комплекс зграда Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу чине 4 објекта (А, Б, Ц и Д). Отпадне воде које се јављају на Факултету настају у тоалетима и кабинетима у чијем саставу се налазе лавабои и wc шоље. Потрошња воде је евидентирана на основу обрачуна који је добијен од обрачунске службе Факултета. Укупна количина сивих вода која настаје на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу је приказана на графику 1. Период потрошње који је анализиран је од децембра 2019. године до јула 2020. године. Од марта 2020. до јуна 2020. године је приметно мања потрошња него што је била у истом периоду претходних година. Разлог за то је светска пандемија која је проузроковала да се сва настава одвија *online*, па је и посећеност факултету била минимална у том периоду. Потрошња воде је приказана у m^3 .

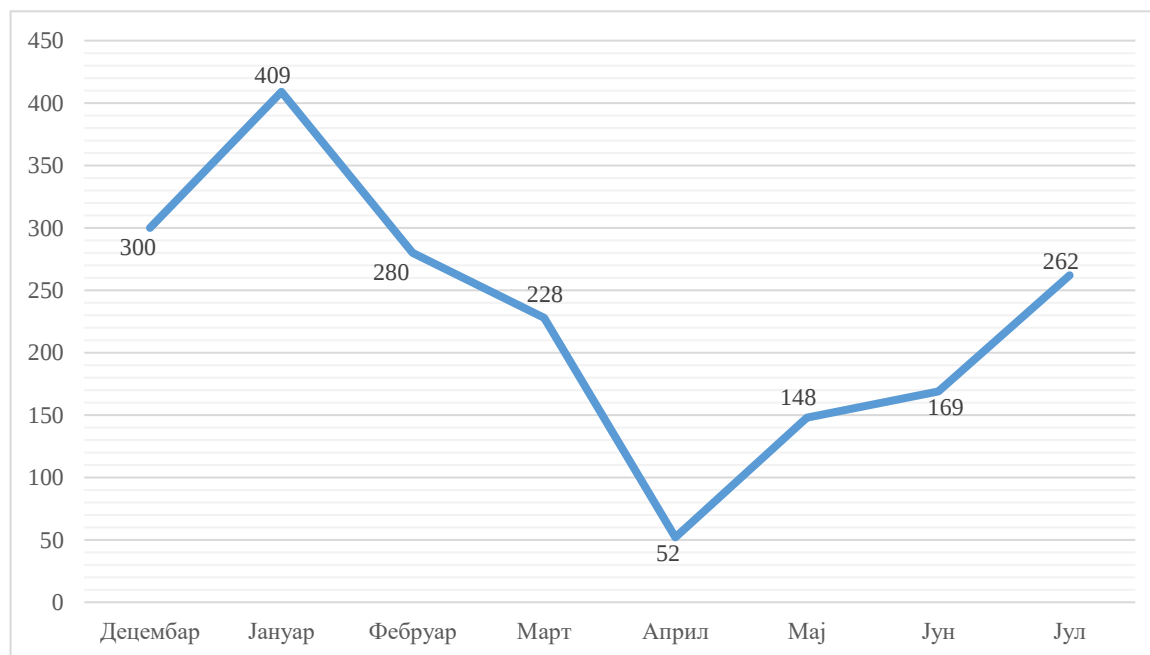


График 1. Приказ укупне потрошње воде на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу

У сврху израде биљног уређаја анализирана је потрошња воде за објекат Д. Потрошња воде у m^3 у објекту Д приказана је на графику 2.

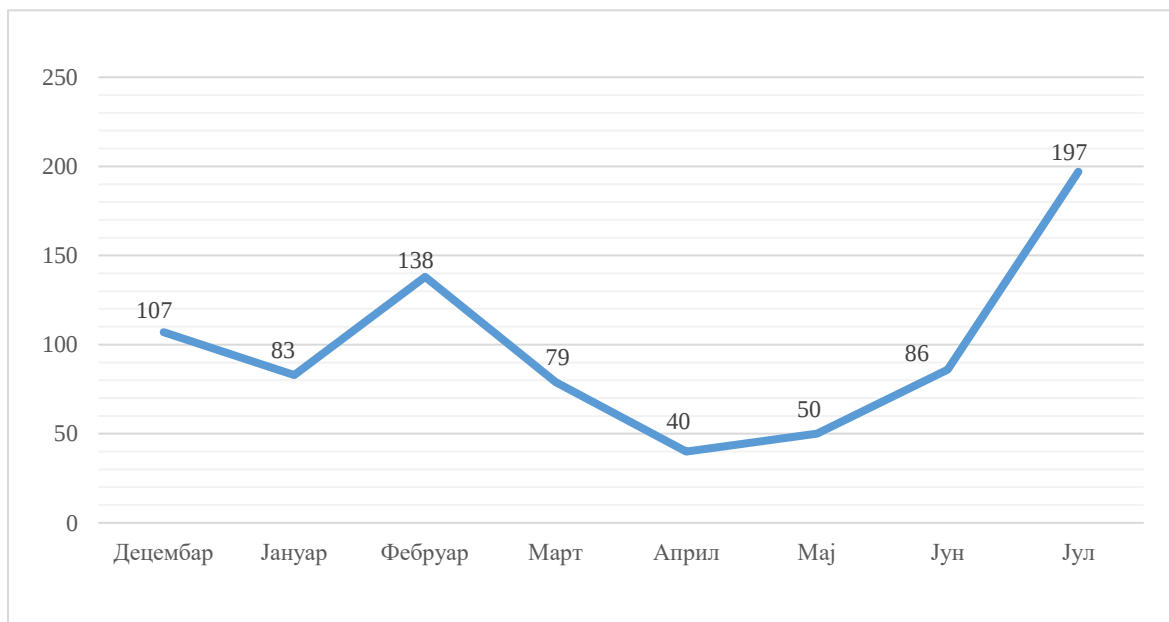


График 2. Приказ укупне потрошње воде у објекту Д

Просечна потрошња на месечном нивоу у посматраном периоду у објекту Д је $97,5 m^3$. Због пандемије ова вредност је доста нижа него што је то у нормалним условима. Да би рачуница била што ближе реалним цифрама усваја се просечна потрошња на месечном нивоу за објекат Д од $130 m^3$. Ако претпоставимо да факултет ради 25 дана, можемо закључити да се на дневном нивоу потроши $5,2 m^3$ воде. Просечна потрошња од $130 m^3$ на месечном нивоу се односи и на отпадну воду из умиваоника и из водокотлића. Ако усвојимо да се 30% те воде искористи за умиваоник, онда добијамо $39 m^3$ воде која се може пречистити биљним уређајем и користити поново за водокотлић или за наводњавање травњака. То значи да се на дневном нивоу потроши $1,56 m^3$ за прање руку.

9.3. Могућност израде биљног уређаја на крову факултета

Како би се смањила потрошња воде на Факултету инжењерских наука идеја је била да се испита могућност употребе биљног уређаја за пречишћавање отпадне воде из умиваоника. Са овим би се на месечном нивоу уштедела значајна количина воде. Биљни уређај би био изграђен на крову објекта Д (слика 17).

Укупна површина крова износи 648 m^2 , али површина која би се могла искористити за израду биљног уређаја износи 495 m^2 (површина крова је извучена приближно из апликације *Google Earth*).



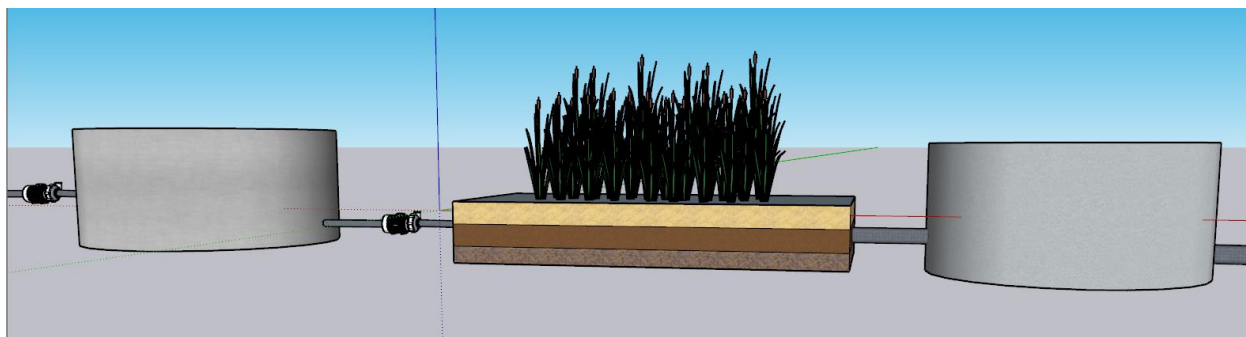
Слика 17. Приказ објеката Факултета инжењерских наука у Крагујевцу

Уређај за пречишћавање воде би се састојао од две пумпе, таложника, вертикалног биљног уређаја и резервоара за пречишћену воду (слика 18). Уколико би било потребно, може се додати још један хоризонтални биљни уређај, са функцијом полирања воде. Та вода би онда могла да се користи за наводњавање травњака. Подлога у уређају би се састојала из три слоја, од чега би први слој био крупан шљунак, у средини шљунак средње гранулације и на крају песак. Биљке које се могу користити су трска или шаш.

Као што је већ поменуто количина воде за пречишћавање износи 39 m^3 и на основу тога се одређује величина уређаја. Таложник би имао запремину од 10 m^3 , и исте величине би био и резервоар за пречишћену воду. Величина вертикалног биљног уређаја је око 8 m^3 . Вода би се у таложнику задржавала између два и четири дана, а у уређају за пречишћавање између седам и осам дана.

$$HRT = \frac{V}{Q} = \frac{10 \text{ m}^3}{39 \text{ m}^3 / \text{mesec}} = 0,25 = 7,5 \text{ dana}$$

Биљни уређај би могао да се користи за пречишћавање воде месец дана након постављања, а пре тога би требало да се напуни чистом водом, док се вегетација навикне на ново окружење. Таложник и резервоар за чисту воду би требало да буду затворени. Такође би било корисно прекрити цео уређај. У случају временских непогода може доћи до плављења па је из тог разлога пожељно да се уређај или наткрије или постави у затвореном простору. Такође је неопходно да се дода посебан одвод који би водио воду до таложника.



Слика 18. Приказ изгледа биљног уређаја за Факултет инжењерских наука у Крагујевцу

Цене биљних уређаја варирају од државе до државе и углавном је између 30-60 € по m^2 . Одржавање биљног уређаја је мање захтевно и самим тим је цена доста мања.

Закључак

Биљни уређаји су веома корисни са више аспеката. Прво и најважније је што на глобалном нивоу утичу на смањење загађења планете, а доприносе и уштеди чисте воде, што представља изузетну предност нарочито у мање развијеним деловима света. Такође, њиховом применом потрошња воде у домаћинствима може бити доста мања, што доприноси мањим трошковима на месечном нивоу. Уједно, биљни уређаји се могу примењивати у различитим установама, као што су факултети, школе, болнице и лабораторије. Једна од предности биљних уређаја је то што се уз помоћ њих може направити самоодржива зграда, ако се биљни уређај изведе као мочварски кров за сакупљање кишнице.

У оквиру овог дипломског рада разматрана је идеја да се на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу у објекту Д, изгради биљни уређај који би пречишћавао сиве воде из лавабоа. На овај начин би се уштедела знатна количина воде, а још веће количине воде би се уштеделе када би се направио систем који би сакупљао кишницу. Пречишћена кишница би се користила за прање руку и наводњавање травњака, а пречишћена вода из лавабоа би се користила за испирање тоалета.

Литература

- [1] AGM - eco solutions / tretman otpadnih voda – <https://www.ag-metal.net/otp-vode>, приступљено 10.03.2021;
- [2] Милица Илић - Отпадне воде – где, шта, како?, Еко-блог, <http://ekoblog.info/otpadne-vode/>, приступљено 10.03.2021.;
- [3] Мирјана Јокановић, Јована Пајкић - Процес пречишћавања отпадних вода, СОМЕТА, Јахорина, (2016);
- [4] Бранко Надило - Биљни уређај за пречишћавање отпадних вода у Врлици, Грађевинар, (10/2013);
- [5] Давор Малус, Дражен Воук - Приручник за учинковиту примјену биљних уређаја за пречишћавање санитарних отпадних вода, Грађевински факултет, Свеучилиште у Загребу, (2012);
- [6] Лаура Ана Јурман - Биљни уређаји за пречишћавање отпадних вода, Свеучилиште у Загребу, природословно - математички факултет (2017);
- [7] Симона Кржина - Обрада отпадних вода биљним уређајима, Међимурско велеучилиште у Чаковцу, стручни студиј одрживи развој (2017);
- [8] Снежана Дидановић, Горан Секулић - Изградња биљних система за пречишћавање отпадних вода у Црној Гори са аспекта ефикасности и економске исплативости, Заштита материјала, вол. 52, бр. 4, стр. 285-290 (2011);
- [9] Давор Станковић - Биљни уређаји за пречишћавање отпадних вода, Грађевинар, вол.69, но. 8, (2017);
- [10] Марија Шперац, Јелена Калуђер, Жељко Шренг - Биљни уређаји за пречишћавање отпадних вода, Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS, Vol. 4 No. 7, (2013);

- [11] *Иван Баришић, Тин Кулић – Биљни уређаји за почињавање отпадних вода, Енергетска учинковитост (2017);*
- [12] *Petroleum Development Oman - Nimr Reed Beds - <https://www.pdo.co.om/en/technical-expertise/nimr-reed-beds/Pages/default.aspx#>, приступљено 17.04.2021.;*
- [13] *IEES - Nimr water treatment plant - <https://iees.ch/lighthouse-projects/nimr-water-treatment-plant/>, приступљено 17.04.2021.;*
- [14] *Јелена Јовановић - Како плутајућа острва пречишћавају загађено језеро подно Авале, (2020);*
- [15] *Michael Blumberg - Wetland roofs - a multifunctional green roof type - Basics and perspectives from engineering practice, (2020);*
- [16] *Andreas Zehnsdorf, Keani C. U. Willebrand, Ralf Trabitzsch, Sarah Knechtel, Michael Blumberg, and Roland A. Müller - Wetland Roofs as an Attractive Option for Decentralized Water Management and Air Conditioning Enhancement in Growing Cities—A Review, (2019);*
- [17] *Economy – Шта је сива вода и зашто је важно да је поново користите? / (2020), <https://www.economy.rs/zivot-i-stil/zdravlje/sta-je-siva-voda-i-zasto-je-vazno-da-je-ponovo-koristite>, приступљено 17.04.2021.;*
- [18] *Grey water action - <https://greywateraction.org/greywater-reuse/>, приступљено 17.04.2021;*