

# Decentralizirani sustavi otpadnih voda

---

**Đakulović, Petar**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:231:545802>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-19**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka University Studies, Centers and Services - RICENT Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

**Studij politehnike**

Diplomski sveučilišni studij politehnike i informatike

**Petar Đakulović**

**DECENTRALIZIRANI SUSTAVI OTPADNIH**

**VODA**

Diplomski rad

**Mentor:** Prof. dr. sc. Lidija Runko Luttenberger

**Rijeka, 2021.**

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svojoj obitelji na podršci koju su mi dali tijekom studiranja.

Petar Đakulović

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
Studij politehnike  
Rijeka, 5.3.2021.

## Zadatak za diplomski rad

Pristupnik: Petar Đakulović

Naziv diplomskog rada: Decentralizirani sustavi otpadnih voda

Naziv diplomskog rada na eng. jeziku: Decentralized wastewater systems

Sadržaj zadatka: Analizirati stanje postupanja s otpadnim vodama na otocima i mogućnost primjene decentraliziranih sustava otpadnih voda na otocima. Razmotriti opcije recikliranja vode, korištenje hranjivih tvari iz otpadnih voda i prikupljanje kišnice u cilju očuvanja resursa i implementacije održive kuće na otocima.

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Lidija Runko Luttenberger



---

(potpis mentora)

Komentor: (ime i prezime)

---

Voditelj za diplomske radove



---

Zadatak preuzet:

---

(potpis pristupnika)

**SADRŽAJ**

<b>SAŽETAK</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>2. OTPADNE VODE I NJIHOVA OBRADA</b> .....	<b>9</b>
2.1. Voda i vodni ciklus.....	9
2.2. Vrste otpadnih voda.....	11
2.3. Pročišćavanje otpadnih voda .....	13
2.3.1. Mehaničko pročišćavanje .....	15
2.3.2. Biološko pročišćavanje .....	16
2.3.2.1. Prokapnik .....	18
2.3.2.2. Obrada u septičkim jamama .....	20
2.3.2.3. Obrada u lagunama.....	21
2.3.2.4. Obrada s aktivnim muljem .....	21
2.3.3. Fizikalno-kemijsko pročišćavanje.....	22
<b>3. DECENTRALIZIRANA ODVODNJA OTPADNIH VODA</b> .....	<b>24</b>
3.1. Stanovništvo na hrvatskim otocima .....	24
3.2. Iskustva u svijetu .....	25
3.3. Moguća tehnička rješenja odvodnje za manja naselja.....	27
3.3.1. Klasterski sustavi.....	31
3.3.2. Kondominijalni sustav.....	33
3.4. Ispuštanje u ekosustav i ponovna uporaba .....	35
3.5. Upravljanje decentraliziranim sustavima otpadnih voda .....	35
<b>4. METODIČKI DIO</b> .....	<b>41</b>
4.1. Izvedbeni nastavni plan .....	41
4.2. Priprema za nastavu.....	48
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>54</b>
<b>PRILOZI</b> .....	<b>56</b>
<b>POPIS LITERATURE</b> .....	<b>57</b>
<b>POPIS IZVORA</b> .....	<b>57</b>
<b>POPIS SLIKA</b> .....	<b>58</b>
<b>POPIS TABLICA</b> .....	<b>59</b>



## SAŽETAK

Ključni je uvjet održivoga razvoja održavanje ispravnosti vode u prirodnim spremnicima i vodotokovima. Prikupljanje otpadne vode i ponovno korištenje ili zbrinjavanje neposredno na mjestu nastanka je karakteristika decentraliziranih sustava koji predstavljaju alternativna rješenja tradicionalnim centraliziranim velikim sustavima. Koncept decentraliziranog pristupa je da se otpadna voda obrađuje i ponovno iskoristi tamo gdje je najprimjerenije, čim bliže mjestu gdje je nastala da se izbjegne izgradnja skupih mreža cjevovoda koje samo premještaju onečišćenje s jednog mjesta na drugo. U Hrvatskoj gotovo 40% stanovnika živi u mjestima i gradovima od 1-20000 stanovnika, a na otocima je taj omjer još izraženiji pa se decentralizirani sustavi odvodnje otpadnih voda nameću kao optimalno rješenje za naše otoke. Klusterski sustavi nisu značajno skuplji, a posebno dolaze do izražaja ako je tlo neprikladno za sustave obrade na mjestu nastanka. Gospodarenje vodnim resursima mora biti prioritet za zemlju koja se želi razvijati kao vrhunska turistička destinacija, a sustavi za obradu otpadnih voda moraju biti dizajnirani na način da osim što zadovoljavaju sve ekološke zahtjeve moraju izdržati i vršno opterećenje u turističkoj sezoni kada na otocima boravi mnogostruko više ljudi nego li u zimskim mjesecima.

**Ključne riječi:** decentralizirani sustavi, otpadna voda, održivi razvoj otoka, upravljanje vodama

## **Decentralized wastewater systems**

### **SUMMARY**

A key prerequisite for sustainable development is to maintain water quality in groundwaters and watercourses. Wastewater collection and reuse or disposal directly on site is a characteristic of decentralized systems which provide alternative solutions to traditional centralized large systems. The concept of a decentralised approach is to treat and reuse wastewater where it is most appropriate, as close as possible to the place where it was generated in order to avoid the construction of expensive pipeline networks that only move pollution from one place to another. In Croatia, almost 40% of the population lives in towns and cities of 1-20000 inhabitants, and on the islands this ratio is even more pronounced, so decentralized sewage systems are in fact optimal solution for our islands. Cluster systems are not significantly more expensive, and in particular come to the fore if the soil is unsuitable for processing systems at the site of origin. Water resource management must be a priority for a country that wants to develop as a top tourist destination and wastewater treatment systems must be designed in such a way that in addition to meeting all environmental requirements, they must withstand a peak burden in the tourist season when people in multifold numbers reside on the islands compared to winter months.

**Keywords:** decentralized systems, wastewater, sustainable development of islands, water management





## 1. UVOD

Otok je po definiciji izolirani sustav okružen morem ili kakvom drugom vodom jezera ili rijeke. Konfiguracija naselja na našim otocima je takva da je česta pojava malih sela s malim brojem domaćinstva i prema tome takve su lokacije idealne za implementaciju decentraliziranog načina odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda. Naime takav sustav predstavlja najprihvatljivije tehničko rješenje zbrinjavanja otpadnih voda u ruralnim područjima. Velika prednost decentraliziranog sustava je u tome da nema potrebe za prikupljanjem i transportom otpadnih voda pomoću pumpnih stanica i skupim sustavom cjevovoda do centraliziranog sustava obrade. Time se znatno smanjuje trošak izgradnje jer su postrojenja manjeg kapaciteta, a i tehnologija je jednostavnija, kvar i anomalija u sustavu se lako detektiraju i relativno lako otklanjaju. Druga velika prednost je i činjenica da je moguća edukacija mještana za održavanje pogona. Zbog jednostavnosti izvedbe sustava i male količine otpadnih voda zbrinjavanje je daleko jednostavnije nego kod golemih postrojenja potrebnih za zbrinjavanje otpadnih voda u urbanim aglomeracijama. Benefit decentraliziranog sustava je i taj da se obrađena voda zapravo može koristiti za navodnjavanje, a uz sakupljanje kišnice može djelovati poticajno za poljoprivredne djelatnosti.

U ovom radu se analizira voda, vodni ciklus te vrste voda. Opisuju se razni postupci i vrste obrade otpadne vode te analizira koji su izvori onečišćenja vode. Dalje u radu se analiziraju specifičnosti otoka kao izoliranog sustava i problematika vezana za obradu otpadnih voda te prednosti implementacije decentraliziranog sustava, razmatraju se načini upravljanja takvim sustavima i uspoređuju troškove izgradnje malih decentraliziranih sustava i velikih centraliziranih sustava. Objasniti će se koje prednosti za male otočke gradiće donosi izgradnja malih autonomnih sustava za obradu otpadnih voda ali i do kojih poteškoća u gospodarenju istima može doći.

## 2. OTPADNE VODE I NJIHOVA OBRADA

### 2.1. Voda i vodni ciklus

Jedan od osnovnih uvjeta za život na našem planetu je voda. Voda je najrasprostranjenija kapljevina i najvažnije polarno otapalo koje otapa kapljevine, plinove i mnogobrojne krutnine. Zbog polarnosti posjeduje izvrstan kapacitet da otapa različite vrste tvari. Molekula vode ( $H_2O$ ) sastoji se od dva atoma vodika i jednog atoma kisika. Za žive organizme je najbitniji sastojak (kod kojih je maseni udio vode do 90%) i nužna je za život svih živih organizama.

Kako je Zemlja stalno izložena Sunčevom zračenju, voda koja se nalazi na površini neprekidno isparava u atmosferu (tzv. kruženje vode u prirodi), gdje se kondenzira (stvarajući kišne ili snježne oblake u atmosferi) i u obliku oborina (kiša, snijeg, tuča, rosa, inje i magla) vraća na Zemlju, prenoseći tako velike mase vode na kontinente, i to zovemo globalni hidrološki ciklus, pa u mnogome utječe na klimu (Jendričko, 2015). Životinje koje žive na kopnu i čovjek imaju potrebu unositi vodu u organizam na način da ju piju ili je pribavljaju u dovoljnoj mjeri probavljajući hranu koja sadrži vodu. Vodu gube mokraćom, izmetima, disanjem i znojenjem. Termoregulacija se kod mnogih organizama obavlja putem znojenja. Ključni je uvjet održivoga razvoja održavanje čistoće vode u prirodnim spremištima i vodotokovima. Svjetski dan voda obilježava se svake godine 22. ožujka da bi se podigla svijest o značaju i očuvanju voda i podsjetilo na nedostatak vode za piće u mnogim krajevima svijeta.

Vodni ciklus ili hidrološki ciklus je stalni proces kruženja, obnavljanja i prividnog gubljenja vode na zemlji. Zemlja se smatra zatvorenim hidrološkim sustavom. Najjednostavnije tumačenje hidrološkog ciklusa je da djelovanjem sunčeve toplinske energije voda stalno isparava sa površine oceana, mora i drugih kopnenih i vodenih površina. Te se pare dižu u Zemljinu atmosferu gdje se kondenziraju i padaju na zemlju tvoreći novi ciklus kretanja voda. Pri takvoj cirkulaciji ukupna količina vode na Zemlji ostaje nepromijenjena. Vodna bilanca je rezultat analize hidroloških procesa kao dijelova hidroloških ciklusa na određenom prostoru u određenom vremenu (Wikipedia, 2021).

Vodnom bilancom se kvantitativno (količinski) opisuje hidrološki ciklus i njegove komponente, a zasniva se na općem konceptu održanja mase koji se može izraziti pomoću sljedećeg izraza:

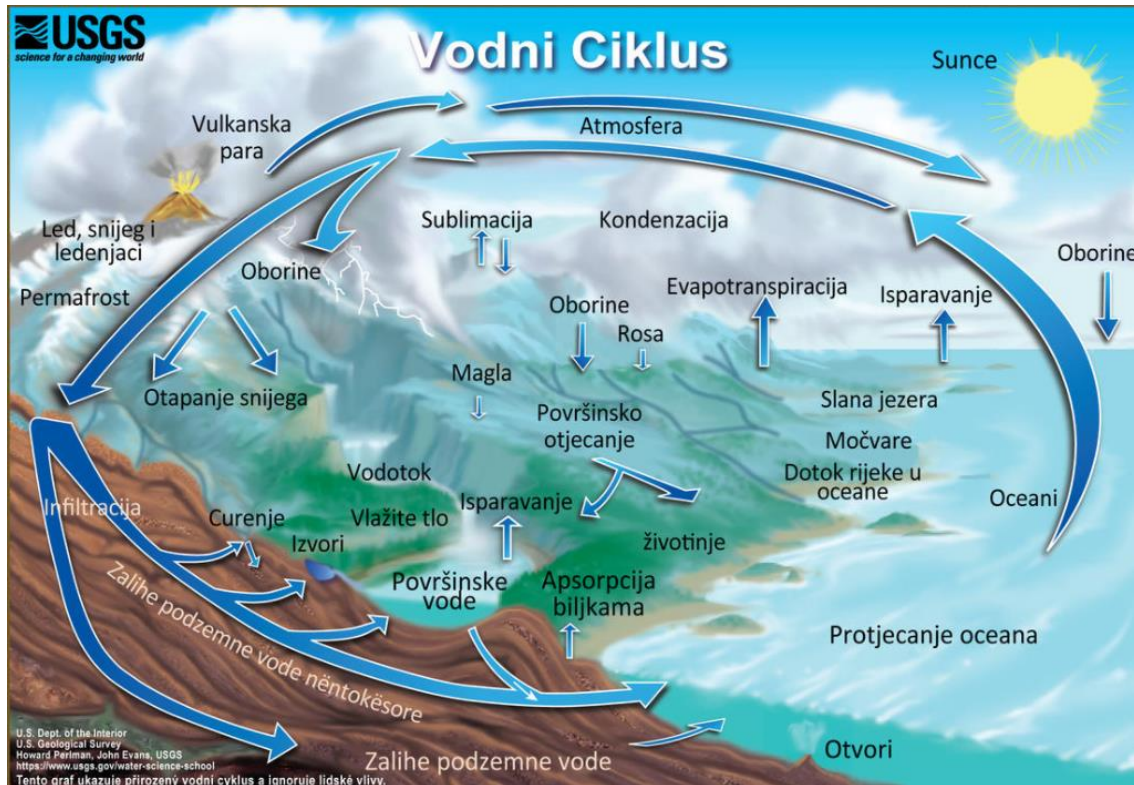
$$dW = U - I.$$

gdje je;

- $dW$  - promjena mase u ograničenom prostoru
- $U$  - masa koja je ušla u taj prostor u određenom vremenu - predstavlja oborine kao ulaznu veličinu
- $I$  - masa koja je izašla iz tog prostora u određenom vremenu - predstavlja isparavanje i otjecanje kao izlaznu veličinu

Pod prostor podrazumijevamo jedan dio zemljine površine, ali gornje postavke mogu vrijediti na svim razinama - od globalne do lokalne, od velikih prirodnih sustava npr. Zemlja do pojedinačnih vodno gospodarskih sustava za transformaciju ili/i korištenje voda.

Na slici 1 vidi se način na koji voda kruži na Zemlji, od isparavanja iz oceana zbog topline koju dobavlja Sunce, do kruženja u troposferi u obliku oblaka i povratka na zemlju u obliku kiše i magle sve do ponovnog utjecanja u mora putem rijeka po površini ili nekim drugim podzemnim putem ili se voda jednostavno zadržava na tlu u vječnom ledu ili nekoj podzemnoj nakupini vode.



Slika 1. Vodni ciklus (Wikipedija, 2021)

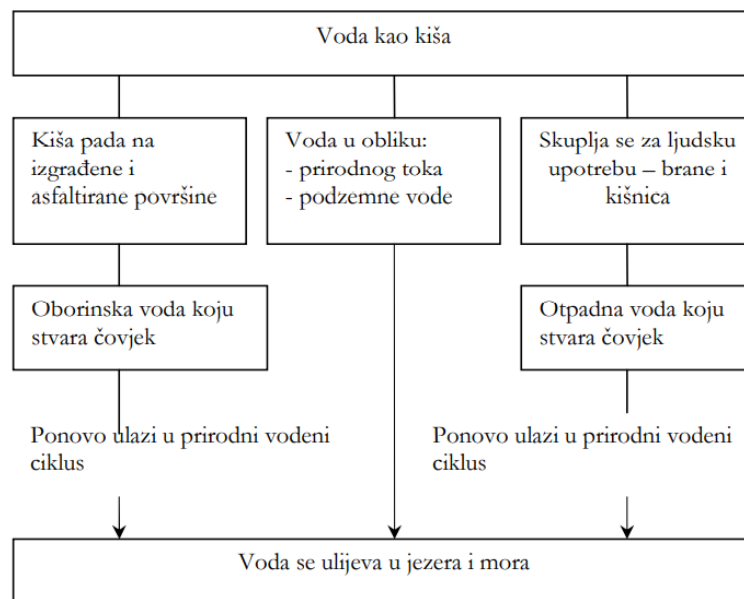
## 2.2. Vrste otpadnih voda

Općenito može se reći da postoje tri vrste vode: voda (površinska, podzemna), oborinska voda i otpadna voda. Jasno otpadna voda se javlja zbog ljudskog djelovanja. U sustavu kućanstva vode dalje možemo podijeliti na četiri vrste (Runko Luttenberger, 2011):

- voda: za piće, pranje, kuhanje (pitka); za prijenos otpada (nije pitka); i za ostale potrebe kao što je polijevanje vrtova i pranje automobila
- siva voda: iz kada, strojeva za pranje rublja, tuševa i sudopera
- crna voda: ljudski i životinjski otpad (mokraća-žuta voda, fekalije-smeđa voda i krv)
- oborinska voda.

Od navedenih voda moguće je ponovo koristiti sivu vodu i oborinsku te na taj način smanjiti količinu vode kojoj je potrebna obrada. Voda koja u obliku kiše iz atmosfere pada na zemlju te postaje dostupna čovjeku za korištenje u prirodi se nalazi u podzemnim

vodama i prirodnim tokovima se ulijeva u mora i jezera, ali voda koja pada na asfaltirane i betonirane ljudske tvorevine se smatra oborinskom vodom koju stvara čovjek. Dakle zajedno s otpadnom vodom koju stvara čovjek sve ove tri vode se zapravo pretaču i po površini ili utrobom Zemlje i ponovno ulaze u prirodni vodni ciklus. Taj put vode shematski je pokazan na slici 3. Osim prirodnih voda ovdje je obuhvaćena i voda koju stvara čovjek.



Slika 2. Tri vode (Runko Luttenberger, 2011)

Onečišćenje vode je svaka fizikalna, kemijska ili biološka promjena kakvoća vode koja štetno djeluje na žive organizme ili vodu čini neupotrebljivom za određenu namjenu. Prirodne vode mogu biti onečišćene na različite načine i zbog toga imati različit utjecaj na biološko-ekološke značajke vodnog sustava. Tvari koje se ispuštaju u prirodne vodotoke su potencijalni izvor onečišćenja. Mogu potjecati od više različitih izvora, a u vodi se pojavljuju kao:

- Netopive tvari:

Netopive tvari (suspenzije, taloživa tvar, koloidno raspršena i plivajuća tvar) nisu podložne daljnjoj razgradnji, ali nisu ni otrovne. Njihov je utjecaj indirektno negativan jer onemogućuje prodor svjetla. To smanjuje proizvodnju u ekosustavu a time i količinu kisika. Drugi bitan utjecaj je ugrožavanje dišnog sustava viših organizama jer se talože na ribljim škrgama, što smanjuje respiracijske mogućnosti i izaziva uginuće riba.

Plivajuće tvari na vodenoj površini stvaraju opnu te onemogućuju prirodni pristup kisiku iz atmosfere u vodu.

- Topive tvari:

Najčešće su anorganske tvari. One se rijetko zastupljene u visokim koncentracijama jer ni organizmi ni ekosustavi nisu prilagođeni na njih, odnosno topive tvari uništavaju život. Određeni broj organizama priviknuo se na četiri anorganske tvari pa one mogu biti zastupljene u većim koncentracijama. To su soli (kalcijev klorid), željezo, sumpor (sumporna voda) i karbonati (karakteriziraju tvrdoću vode).

- Organske tvari: Visoko molekularni organski spojevi koji potječu od ljudi, biljaka i životinja. To su ugljikohidrati, bjelančevine i masti. Izvori onečišćenja tim tvarima su u gradskoj otpadnoj vodi, u industrijskim otpadnim vodama i iz prirodnog okoliša.

- Toplinsko onečišćenje: Fizikalno onečišćenje toplinom. Posljedica je ispuštanja toplih voda, najčešće rashladnih voda iz industrijskih ili energetske objekata. Slično kao i svjetlo, temperatura utječe na sve značajke ekosustava i to tako što ubrzava sve ekološke procese.

- Otrovne tvari: Teške kovine Hg, Cu, Pb, Cd, Zn u prirodne vode dospijevaju zbog ispiranja zemljišta i otapanja minerala, ali najviše iz industrijskih otpadnih voda. Otrovne tvari su sve tvari koje i u malim količinama znače opasnost za ljudsko zdravlje.

- Radioaktivne tvari: U vodu dolaze zbog kemijskih i biokemijskih procesa, ugrađuju se u biomasu hranidbenog lanca, a posljedica toga jesu mutageni i genetska oštećenja.

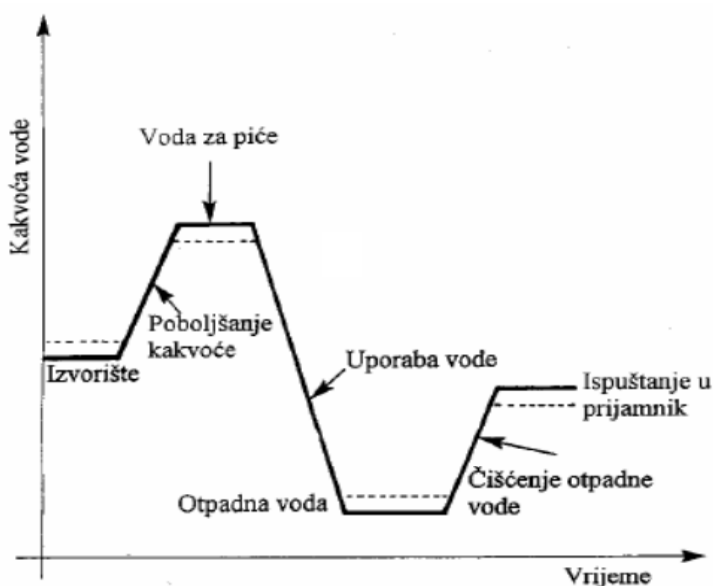
- Mikroorganizmi: U prirodnim vodama nalaze se mikroorganizmi koji dolaze u otpadnim vodama i hrane se organskim tvarima iz njih. Otpadne vode sadrže brojne organske i anorganske tvari koje su u mnogim heterotrofnim mikroorganizmima izvor ugljika i energije (Jendričko, 2015).

Otpadne vode su sve vode koje su upotrebom promijenile svoj prvobitni sastav tj. svoje fizikalne, kemijske i biološke karakteristike. Otpadne vode su sve potencijalno onečišćene tehnološke i kućanske, oborinske i druge vode. One također sudjeluju u hidrološkom ciklusu, odnosno, voda se nakon upotrebe kanalizacijskim sistemom odvodi na tretman, to jest pročišćavanje i vraća u prirodni okoliš.

### 2.3. Pročišćavanje otpadnih voda

Kod ovog se procesa razina onečišćenja smanjuje do koncentracija koje su bezopasne za život životinja i ljudsko zdravlje i ne uzrokuju potencijalno loše i neželjene promjene u okolišu kada se otpadne vode, prethodno pročišćene ispuštaju u prijemnike. Otpadne vode prije ispuštanja u prijemnike uvijek je neophodno pročititi, kako bi se iz njih do određenog stupnja uklonile plivajuće, lebdeće i otopljene tvari, dakle onečišćenja koja su prisutna i koja bitno karakteriziraju svojstva otpadnih voda.

Na slici 3 prikazana je promjena kakvoće vode u vremenu, kakvoća pripreme vode ovisi o svrsi za koju će se voda upotrebljavati. Voda za piće najčešće zahtjeva poboljšanje kakvoće prije uporabe, u ovisnosti o uporabi vode zapravo njena kvaliteta pada s vremenom.



Slika 3. Promjena kakvoće vode uporabom (Jendričko, 2015)

Ovisno o svojstvima otpadnih voda i potrebnog stupnja njihovog pročišćavanja, vrste pročišćavanja otpadnih voda su sljedeće:

- mehaničko ili prethodno (primarno) pročišćavanje,
- biološko ili naknadno (sekundarno) pročišćavanje,
- fizikalno – kemijsko (tercijarno) pročišćavanje.



Mehaničko i biološko pročišćavanje se ponekad naziva konvencionalno pročišćavanje.

### 2.3.1. Mehaničko pročišćavanje

1. Gruba rešetka: na rešetki se odvaja krupni materijal a maksimalna širina otvora rešetke je 16 mm. Materijal koji rešetka zadržava može biti mineralnog porijekla kao staklo ili krupnije kamenje ili organskog porijekla kao lišće, granje itd. Takva primarna separacija se vrši prije svega radi mehaničke zaštite uređaja koji se koriste u sustavima za pročišćavanje. Čišćenje separiranih krutih čestica odvija se automatski pomoću grabilice rešetke. Čišćenje se aktivira mjerenjem razine napunjenosti ispred i iza rešetke (mjerenje razlike)

2. Prije nego što voda prijeđe prag biološke razine pogona, moraju se iz nje ukloniti tvari koje nisu biološki razgradive i koje bi mogle uzrokovati kvar na uređajima. U to prvenstveno spadaju tipični proizvodi za dnevnu uporabu i iz kućanstva (papir, tekstil, grubi kuhinjski otpadi, higijenski proizvodi, kozmetički štapići, filtri cigareta). Također se iz otpadne vode mora ukloniti pijesak i trunje, kako bi se spriječila njihova sedimentacija u biološkim reaktorima.

Mehanička obrada otpadne vode vrši se u automatiziranom, kompaktnom uređaju koji se sastoji od fine rešetke, pjeskolova i mastolova. Kompaktni uređaj za pročišćavanje sastoji se samo od jednog kućišta koji u sebi sadrži sve funkcijske jedinice.

Prolaskom kroz finu rešetku izdvajaju se sitniji otpaci. Uzduž valjkastog pjeskolova nalaze se otvori za aeraciju kroz koje se upuhuje zrak i koji izazivaju turbulencije kojima se odvajaju organske od anorganskih tvari. Na taj način separiraju se mineralni sastojci (pijesak, zemlja, strugotine). Istaloženi sastojci povremeno se putem pužnog transportera odvođe iz pjeskolova u pravcu izlaznog pužnog transportera.

Separator za masnoće služi za separiranje lakih čestica koje su neizbježno sadržane u svim otpadnim vodama. U njih se ubrajaju masnoće iz hrane, mineralne masnoće, ulje, benzin, dizel, plivajuće mikro čestice (Koprivničke vode, 2021).

3. U prirodne vodne sustave je dopušteno ispuštanje vode s pH vrijednošću od 6 do 9, a kada su vrijednosti drugačije od dopuštenih potrebno je neutralizirati vodu. Neutralizacijom se mijenja koncentracija vodikovih iona u industrijskim otpadnim

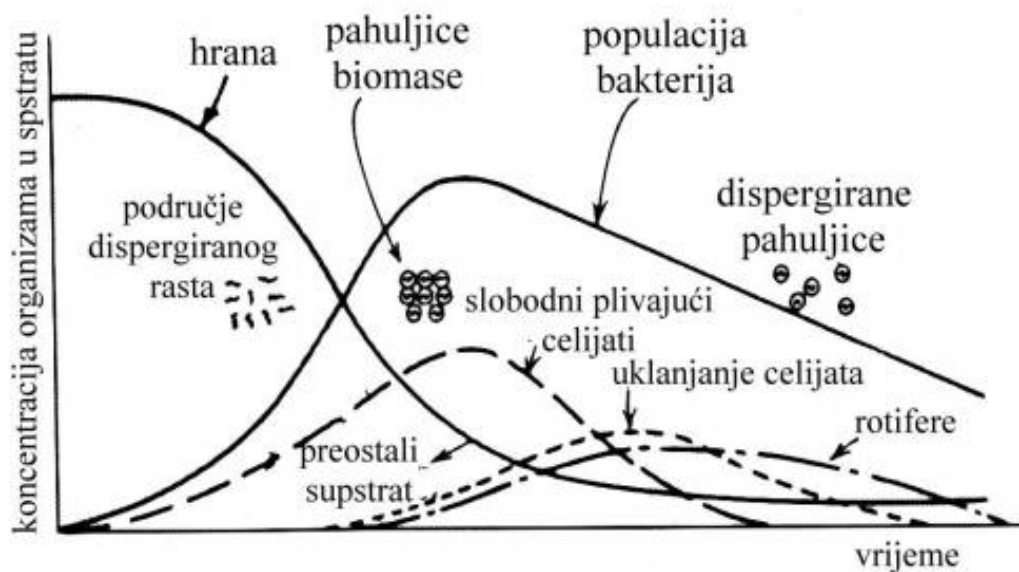
vodama. Najjednostavniji postupak neutralizacije je da se miješaju otpadne vode iz različitih pogona, miješanjem bazičnih s kiselim otpadnim vodama ili dodavanjem reagensa.

### **2.3.2. Biološko pročišćavanje**

Biokemijska (biološka) razgradnja je jedini način da se uklone otopljene organske tvari iz otpadnih voda. Ipak treba napomenuti da su biološki procesi primjenjivi jedino u slučaju ako su sadržaji otrovnih tvari u dopuštenim količinama i ako su biološki razgradive. Kod primjene bioloških procesa se uklanja organski ugljik te se smanjuje količina dušika i fosfora (denitrifikacija i nitrifikacija). U biološkim bazenima se razvijaju mikroorganizmi, to su prije svega bakterije koje koriste organska onečišćenja i hranjive soli koje se nalaze dispergirane u otpadnim vodama za svoj rast. Proces koji se odvija na ovakav način je zapravo istovjetan procesima koji se odvijaju u prirodi.

Kako je riječ o artifično stvorenim uvjetima i živim mikroorganizmima poseban je naglasak na faktorima koji imaju utjecaj na rast i razvoj mikroorganizama. Potrebno je konstantno osiguravati da je količina hranjivih tvari na optimalnoj razini, te osigurati da nema velike fluktuacije temperature i pH vrijednosti. Nutrijenti za populaciju bakterija moraju sadržavati dovoljne količine dušika, fosfora i ugljika. Poželjan omjer dušika i fosfora je 5:1. Vode iz komunalne odvodnje obično obiluju potrebnim dušikom dok je kod industrijskih otpadnih voda potrebno dodavati isti. Kako bi se postigao željeni eksponencijalni rast razmnožavanja bakterija potrebno je posebnu pažnju pridavati stalnoj kontroli udjela hranjivih tvari.

Koncentraciju organizama u supstratu u ovisnosti o vremenu, hrani, veličini populacije bakterija i faze razvoja mikroorganizama možemo vidjeti na slici 4.



Slika 4. Faze razvoja mokoorganizama (Jendričko, 2015)

Promjene pH vrijednosti također utječu na biološku razgradnju otpadne vode. Bakterijama najbolje odgovara pH od 5 do 9. Njihova aktivnost se znatno poremeti u slučajevima kada pH padne ispod 5 ili naraste iznad 10.

Ovdje treba spomenuti i važnost temperature obrađivane vode kod biološkog pročišćavanja. Kako su tijekom procesa pročišćavanja prisutni psihofilni, mezofilni, termofilni i fakultativni mikroorganizmi a svaki od tih mikroorganizama ima optimalnu temperaturu za razvoj, utjecaj temperature je od velike važnosti jer s povećanjem temperature za 11 °C kod svake skupine ovih mikroorganizama brzina metabolizma se udvostruči. Dolazimo do zaključka da su temperaturna kolebanja zbog izmjene godišnjih doba te razlika između dnevne i noćne temperature zapravo kritične stavke za biološku razgradnju. Osim spomenutih problema oko održavanja konstantne temperature u optimalnom rasponu i pH vrijednost se mora održavati u poželjnom intervalu od 5 do 9, jer ukoliko pH vrijednost padne ispod 5 ili naraste iznad 10 dolazi do poremećaja u aktivnostima mikroorganizama.

Rast mikroorganizama se može podijeliti u šest faza:

- lag faza,
- faza ubrzanog rasta,
- log faza,

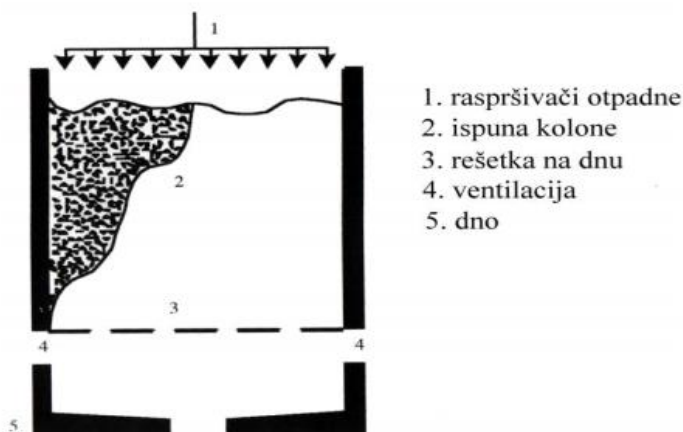
- faza usporenog rasta,
- stacionarna faza
- faza odumiranja

Najčešće upotrebljeni biološki postupci pročišćavanja svrstani su u tri skupine:

- pročišćavanje pomoću bioloških filtara ili prokapnika,
- pročišćavanje u lagunama i
- pročišćavanje sa aktivnim muljem.

### **2.3.2.1. Prokapnik**

Među najstarije tehnike pročišćavanja otpadnih voda spada prokapnik. Konstrukcija prokapnika je najčešće kružnog oblika a obično je izrađen od betona. Na dnu spremnika se nalazi rešetka te su ispod nje otvori koji omogućavaju cirkulaciju zraka. Prokapnik je u središnjem dijelu ispunjen volumnom ili plošnom ispunom. Volumne su ispune materijali zrnatog oblika veličine zrna od 4 do 10 *cm*. Izvedbe plošnih ispuna mogu biti tvrde i meke ali mogu biti i od materijala kao što je folija ili tkanina. Raspršivačima se otpadne vode dovode do prokapnika, odnosno do ispune. Stanište mikroorganizama je zapravo čvrsta površina ispune. Na ispuni nakon određenog vremena se nakupi kultura različitih mikroorganizama (alge, gljive, bakterije, pljesni, crvi itd.). Kako je u prokapniku povišena temperatura zraka zbog procesa koji se u njemu odvijaju, postiže se prirodna cirkulacija zraka zbog razlike temperature okoliša i prokapnika. Organska tvar koja se nakuplja u prokapniku se putem aerobnih i anaerobnih procesa razgrađuje u prokapniku. Mikroorganizmi u gornjem sloju od cca 3 *mm* su dobro opskrbljeni kisikom te se razgradnja u tom sloju odvija aerobno dok u nižim slojevima zbog nedostatka kisika nastupa anaerobna razgradnja. Gornji sloj je i najbogatiji organskim tvarima pa je i prirast mikroorganizama najveći. Kako je u gornjem sloju veći broj mikroorganizama otežana je difuzija kisika prema nižim slojevima te se zbog nedostatka kisika od polovice do dna prokapnika organske tvari razgrađuju putem anaerobne razgradnje. Presjek prokapnika s pripadajućim elementima je vidljiv na slici 5.



Slika 5. Shema prokapnika (Jendričko, 2015)

### 2.3.2.2. Obrada u septičkim jamama

U septičkim jamama i višekratnim taložnicama se kao i u anaerobnim reaktorima pročišćavanje otpadne vode se provodi bez prisutnosti zraka. Kako je konstrukcija septičke jame relativno jednostavna i jeftina upravo je takav oblik zbrinjavanja otpadnih sanitarnih voda i najčešći. Proces pročišćavanja se odvija na način da se kruta frakcija taloži pri čemu dolazi do izdvajanja suspendirane tvari a nataloženi mulj truli jer se dešava anaerobna razgradnja. Velika je prednost što kod izgradnje septičkih jama na otocima možemo koristiti i gotove polietilenske septičke jame koje su dostupne na tržištu. Takvi rezervoari su nepropusni i vrlo lagani pa je na nedostupnim i skučenim terenima olakšana manipulacija s rezervoarom. Rezervoari se ukopavaju u teren i vrlo je jednostavna ugradnja. Prilikom izbora veličine rezervoara je preporučena veličina 150 litara na dan.

Konstrukcija septičke jame je takva da se sastoji od više komora, najčešće dvije ili tri. Najveća je prva komora i u njoj se odvija taloženje. U sljedećim komorama dolazi do prelijevanja prema zakonu spojenih posuda. U prvoj komori se odvija taloženje a otpadna voda koja dolazi u nju se uslijed povećanja volumena prelijeva u sljedeće komore septičke jame. Između svake komore se postavlja cijev u obliku slova T koja sprečava da papiri ili druga onečišćenja koja plutaju po površini prijeđu u drugu komoru. Važno je osigurati da dotok otpadne vode u komorama bude takav da se otpadna voda dovoljno dugo zadržava u pojedinim komorama kako bi se omogućilo da se proces razgradnje tvari organskog porijekla uspješno završi. Na dno komore organska tvar pada te se taloži gdje započinje proces truljenja radi djelovanja anaerobnih bakterija. U septičkim jamama voda

se uobičajeno zadržava 24 sata. Upravo je to glavna razlika između dvokatnog taložnika i septičke jame. Naime, vrijeme zadržavanja otpadne vode u taložniku je puno kraće te se voda u njemu zadržava svega jedan sat. Pri tome se suspendirane tvari istalože te voda odlazi na biološko pročišćavanje. Istaložene suspendirane tvari prolaze proces anaerobne razgradnje. Aerobni procesi se primjenjuju za razgradnju komunalnih otpadnih voda. Vrijeme u kojemu su mikroorganizmi u kontaktu s organskim tvarima određuje dinamiku biološke razgradnje organske tvari ali proces ovisi i o količini dostupnog kisika, veličini populacije mikroorganizama te o koncentraciji organske tvari. Kada nastupe povoljni uvjeti mikroorganizmi se razmnožavaju te rastu tako da se stanice dijele. Kada nastupe idealni uvjeti rast mikroorganizama je eksponencijalan međutim u stvarnosti ipak dolazi do odstupanja zbog raznih čimbenika kao što su smanjenje količine organskih tvari, nastanak toksičnih produkata ili nekih drugih čimbenika.

#### **2.3.2.3. Obrada u lagunama**

U lagunama se pročišćavanje vode odvija u prirodnim uvjetima, one su u svojoj naravi zemljani bazeni koji su vodonepropusni. Vodonepropusnost je najvažnija stavka koju treba poštovati kod izgradnje laguna, naime kada se ne bi osigurala vodonepropusnost postojala bi opasnost od kontaminacije podzemnih voda zbog prodiranja procjednih voda dublje u tlo.

Nakon određenog vremena eksploatacije lagune stvara se određena količina mulja. Taj mulj je nerazgradivi ostatak procesa te ga je periodično potrebno uklanjati. Takav obrađeni mulj je moguće iskoristiti za fertilizaciju obrađenih polja. Mulj se uklanja svakih pet do deset godina a razlog je i pojava neugodnog mirisa te razmnožavanje komaraca na takvim površinama.

#### **2.3.2.4. Obrada aktivnim muljem**

Postupak pročišćavanja otpadne vode aktivnim muljem je najrasprostranjeniji postupak pročišćavanja. Aktivni mulj razlikuje se od mulja izvađenog iz laguna. Pod aktivnim muljem podrazumijeva se biocenoza sastavljena od aerobnih i fakultativnih anaerobnih mikroorganizama. To su u prvom redu bakterije, ali je osim bakterija prisutna znatna

količina i ostalih mikroorganizama, bičaća, trepeljtikaša, ameba, točkaša i sl. (Jendričko, 2015).

Karakteristični protok vode u ovakvom procesu je da otpadna voda dolazi do taložnika gdje se odvija taloženje krupnih čestica. Takva voda ulazi u biološki reaktor u kojem su suspendirani mikroorganizmi. U reaktor se upuhuje zrak uz miješanje otpadne vode. Na taj način se osigurava dodir mikroorganizama i hranjivih tvari. Smjesa starih i novih mikroorganizama s otpadnom vodom uvodi se u naknadni taložnik. Dio aktivnog mulja vraća se u biološki reaktor, a višak mulja odvozi se na zbrinjavanje.

Razlikuje se nekoliko vrsta mulja, i to:

- Primarni mulj iz primarnog ili prethodnog taložnika, koji sadrži anorganske tvari (pijesak, glinu, karbonate i okside metala), organske tvari, i to lako razgradive (proteine, masti, ugljikohidrate) i teško razgradive (različita vlakna, gumu i dr.). Također sadrži i žive organizme (bakterije, viruse, parazite i dr.).
- Biološki mulj iz biološkog reaktora, sadrži uglavnom živu masu bakterija i njihove ostatke, a količina ovisi o vrsti uređaja (tj. o postupku pročišćavanja vode), starosti mulja, unosu zraka i dr.
- Tercijarni mulj, koji nastaje kada je u postupcima obradbe otpadne vode odvojena tercijarna faza. On sadrži ostatke reakcija kemikalija s otpadnom vodom i s njezinim sadržajem, adsorbense s adsorbiranim sastojcima iz otpadne vode, alge i dr.
- Kombinacije muljeva različita podrijetla. Mulj je potrebno prije odlaganja ili upotrebe adekvatno preraditi.

Prerada mulja može se provesti smanjivanjem volumena, stabilizacijom i kondicioniranjem. Smanjivanje volumena postiže se zgušnjavanjem, koje se može obaviti prije, ali i nakon obradbe i to statičkim ili mehaničkim postupcima. Smanjivanje volumena može se provesti i ocjeđivanjem vode, što se postiže prirodnim postupcima, najčešće na poljima za sušenje mulja ili umjetnim postupcima (vakuum filtri, filtarske preše, trakaste preše, centrifuge). Sušenje je također jedan od adekvatnih postupaka za smanjivanje volumena mulja. Najčešće se provodi tretiranjem s vrućim zrakom (Jendričko, 2015).

### 2.3.3. Fizikalno-kemijsko pročišćavanje

Fizikalno-kemijsko pročišćavanje se obično primjenjuje kod tehnoloških otpadnih voda koje su opterećene teškim metalima, masnoćama, suspendiranim opterećenjem itd. kao što su npr. otpadne vode od pranja brodica, iz praonica rublja, galvanske otpadne vode itd. Dodavanjem kemijskih aditiva, poput koagulanta, flokulanta i organskih polimera, možemo ukloniti suspendirane i koloidne čestice te dobiti bistru pročišćenu otpadnu vodu.

Proces fizikalno-kemijske obrade se odvija uz optimalne uvjete pH i miješanja. Nakon obrade i pročišćavanja otpadnih voda dobiva se otpadni mulj koji se dehidrira u filter vrećama i zbrinjava.

Tijekom filtracije, pri korištenju ovih metoda, iz tekućih otpadaka se uklanjaju otopljene neorganske i fino raspršene nečistoće, uništavaju se organski spojevi i slabo oksidirajuće tvari. Najpopularnije fizikalne i kemijske metode obrade otpadnih voda su koagulacija, ekstrakcija, apsorpcija, oksidacija i tako dalje. Elektroliza se široko koristi. On i druge slične metode čišćenja otpadnih voda od teških metala koriste se u bakrenim, bojnim i lakiranim, olovnim i drugim poduzećima. Tijekom elektrolize uništavaju se organske nečistoće i iz njih se izdvajaju anorganski spojevi.

Kod primjene kemijskih metoda pročišćavanja otpadnih voda, tijekom filtriranja se tekućem otpadu dodaju različiti reagensi. Oni su u interakciji s zagađivačima. Kao posljedica toga, potonje se taloži u obliku anorganskih tvari. Kemijski postupci pročišćavanja otpadnih voda mogu smanjiti sadržaj netopivih spojeva na 95%, a topive nečistoće - do 25%.

Ionska izmjena je proces u kojem neke tvari (najčešće ionske smole) imaju sposobnost zamjene svojih iona s ionima iz otpadne vode. Ionske smole su krute tvari koje mogu biti u obliku kuglica, vlakana cijevi ili membrana. Ionske smole su obično smještene u cilindrične posude preko kojih se propušta otpadna voda. Ionski izmjenjivači se više primjenjuju za pripremu i deionizaciju sirove vode nego za pročišćavanje otpadne vode.

Ultrafiltracija je proces filtriranja vode kroz filter (membranu) veličine otvora svega 2 – 104 nm. Ovim postupkom se iz vode uklanjaju mikroorganizmi, ali i proteini i pigmenti.



Membrana može biti napravljena i od prirodnih (celuloza) i od umjetnih materijala (PVC). Kako bi ultrafiltracija bila što efikasnija provodi se uz razliku tlakova, obično vakuumom. Postupak ultrafiltracije odvija se uz tlak veći od 0,14 MPa.

### 3. DECENTRALIZIRANA ODVODNJA OTPADNIH VODA

#### 3.1. Stanovništvo na hrvatskim otocima

Otočka populacija u Hrvatskoj čini oko 3.1% ukupnog stanovništva tj. 132756 stanovnika prema popisu stanovništva iz 2011 (Wikipedia, 2021). s blagom tendencijom rasta. U Republici Hrvatskoj na snazi je Zakon o otocima koji je donesen 1999 a njime se regulira između ostaloga vodoopskrba i odvodnja koja je subvencionirana. U Hrvatskoj gotovo 40% stanovnika živi u mjestima i gradovima od 1-2000 stanovnika, a na otocima je taj omjer još izraženiji pa se decentralizirani sustavi odvodnje otpadnih voda nameću kao optimalno rješenje za naše otoke. U jadranskom slivu je priključenost domaćinstava na kanalizacijski sustav oko 49% međutim na otocima, slika 6, je ta brojka ipak znatno manja. Primjerice na otoku Cresu sjeverno od grada Cresa gotovo niti jedno domaćinstvo nije spojeno na kanalizacijski sustav. U tom dijelu naše zemlje sve otpadne vode zapravo se ispuštaju u tlo bez ikakve obrade.



Slika 6. Otoki republike Hrvatske (Wikipedia, 2021)

### 3.2. Iskustva u svijetu

Dobar primjer međunarodne suradnje u osmišljanju načina za optimizaciju potrošnje vode je C2C (Cradle to Cradle) island projekt, prema kojima su rađeni projekti za danske gradove Samso 4300 (2009) stanovnika, Aalborg 197426 (2010) i Anholt 165 (2010). U projektu je sudjelovalo 6 zemalja sjevera Europe i glavne teme su bile: voda, energija i materijali. Broj stanovnika dva manja otoka odgovara situaciji naseljenosti na našim otocima. Problem tih otoka je nedostatak resursa (voda, energija i materijali), problemi s odlaganjem otpada, veliki broj turista koji borave na otoku u kratkom vremenu i pritisak na vodoopskrbni sustav koji stvara toliki broj potrošača (koji se najčešće ne obaziru na činjenicu da se nalaze u jednom izoliranom sustavu koji ne raspolaže s neograničenim količinama vode i nemilice troše vodu). U projektu je osmišljena, dizajnirana i izgrađena kuća za odmor u kojoj je testiran decentralizirani vodni sustav. Sustav je temeljen na ideji smanjenja potrošnje vode, energije i uporabi hranjivih tvari iz otpadnih voda kroz odvajanje na izvoru. Crna voda je zajedno s organskim kuhinjskim otpadom bogata organskom tvari, te dušikom (N) i fosforom (P). Organska tvar se može pretvoriti u bioplin, a dušik i fosfor se mogu uporabiti. Siva voda je podobna za ponovno korištenje kao voda za navodnjavanje ili se istu nakon obrade može ponovno upotrijebiti unutar kuće. U kući su ugrađeni vakuum zahod, kuhinjski usitnjivač i reciklažni tuš. Bežična mjerna oprema mjeri stvarno smanjenje potrošnje vode. Dobiveni bioplin se koristi za vanjsko osvjetljenje (C2C, 2013). Moguća je ušteda od 50% vode i smanjenje od 85% ispuštanja u kanalizaciju (Sombekke, Hansen 2012). Vidimo da je u ovom slučaju postignuta značajna ušteda vode i također veliko smanjenje ispusta u kanalizaciju, a u isto vrijeme se nije spustila razina komfora u stambenoj jedinici.

Još od doba kada je mudri Tales upao u bunar, tradicionalni načini sakupljanja kišnice se koristi na grčkim Egejskim otocima. Međutim, ovisnost o turizmu kao izvoru prihoda kojim se može osigurati egzistencija u škrtoj resursima otočkoj realnosti i ovdje je promijenio potrebe za količinom potrebne vode. To jasno vrijedi posebno u ljetnim mjesecima pa se raspravlja o sljedećim problemima (Gikas i Tchobanoglous, 2009):

a. Očuvanje vode, kod čega javnost mora razumjeti razmjere problema, a lokalne vlasti moraju obrazovati javnost o pitanjima očuvanja vode. Nažalost, povećane cijene vode i

slične mjere često imaju vrlo mali učinak u turističkim područjima jer turisti tijekom svog kratkog boravka obično troše velike količine vode ne obraćajući pažnju na troškove

b. Daljnji razvoj lokalnih vodnih resursa, kod čega treba imati u vidu da će pretjerano iskorištavanje imati za posljedicu prodor morske vode (korištenje podzemne vode pored obale)

c. Dovoženje vode s kopna podrazumijeva potrošnju goriva, energiju, ugljične stope

d. Desalinizacija vode povlači za sobom visok unos energije po jedinici obujma proizvedene slatke vode, a zabilježene su brojne ekološke posljedice zbog ispuštanja rasoli u more

e. Pročišćavanje i ponovno korištenje vode - zbog lokalnih propisa se na nekoliko uređaja za obradu vode ista obrađuje do standarda koji je viši od standarda kojega nalažu EU direktive. Stoga dodatni trošak obrade za dobivanje pročišćene vode koja nije voda za piće može biti bitno manji u usporedbi s koštanjem primjerice desalinizacije mora. Pored toga, korištenje pročišćene vode može otočanima pružiti pouzdan alternativan izvor vode, čime se potiče osjećaj samodostatnosti. Jedan od bitnih čimbenika za učinkovitu ponovnu uporabu vode je blizina uređaja za recikliranje vode mjestu ponovnog korištenja vode. Treba imati na umu da se crpljenje reciklirane vode na velike udaljenosti općenito nije pokazalo održivim niti troškovno učinkovitim. Isto tako, potreban je odvojeni sustav cjevovoda za distribuciju pročišćene vode, a mjesta pročišćavanja i potrošnje vode trebaju biti relativno blizu.

Vidimo da se i kod postupka desalinizacije kompliciraju stvari ponajviše zbog ispuštanja rasola u morske ekosustave. Sveobuhvatno proučavanje ljudskog djelovanja na okoliš svakako provodi i američka EPA (Environmental Protection Agency) koja se ujedno bavi i zakonodavno-pravnim pitanjima. Zanimljivo je da se prema podacima agencije čak 13 milijuna američkih kućanstava snabdijeva vodom iz vlastitog izvora. Dok oko 50% populacije SAD-a ovisi o podzemnim vodama kao izvoru pitke vode. Nažalost takva voda je podložna onečišćenju (Groundwater Foundation, 2021) koje može uzrokovati hepatitis, dezinteriju i kod dugoročne upotrebe neke vrste raka.

Održivost jasno vrijedi i za ostale otočne resurse. Tako se primjerice na irskom otoku Sherkin organizacijom visokoškolske ustanove osiguralo da studenti čine protok ljudi te stvaraju promet na trajektnim linijama, koriste ugostiteljske usluge te iznajmljuju objekte

za stanovanje. I kao važna stavka se navodi njihovo socijaliziranje s otočanima (Acosta i dr., 2010).

Zanimljiva su i opažanja da bi se u Republici Hrvatskoj prijevoz na otoke u maloj obalnoj plovidbi trebao temeljiti na električnom pogonu iz obnovljivih izvora (Runko Luttenberger et al, 2013) ali valjalo bi dodati da se u projekte temeljene na električnom pogonu rijetko uključuje i vjetar kao izvor energije a oprema i znanje potrebno za takvu vrstu eksploatacije već odavno postoji i dostupni su. U svakom slučaju u ovih osam godina nismo vidjeli neki značajniji pomak iz teorijskih premisa u konkretizaciji tog plana u praksi. Još se može spomenuti i otok Krk za koji je izrađena strategija održivog razvoja (igr-ifaS, 2012). Postignut je značajan napredak u zbrinjavanju komunalnog otpada ali se strategija nedovoljno bavi razvojem održive vodoopskrbe.

### **3.3. Moguća tehnička rješenja odvodnje za manja naselja**

Kod malih naselja je uglavnom problem da se lokalna zajednica uglavnom ne uspijeva usuglasiti kakav sustav je potreban, na koji ga način financirati i tko će biti odgovoran za njegovo održavanje. U svakom slučaju manja naselja uglavnom imaju jedan od sljedećih scenarija pružanja usluge (Ministry for the Environment, 2003):

- manje naselje sa septičkim sustavima koje želi zadržati male sustave i osigurati njihovo stalno održavanje,
- manje naselje s malim sustavima od kojih svi ne zadovoljavaju u potpunosti, koje bi popravilo neispravne sustave i podvrglo sve sustave programima održavanja tako da ne moraju prijeći na dislocirano rješenje komunalne odvodnje,
- manje naselje s malim sustavima od kojih značajan broj ne funkcionira na zadovoljavajući način, a gdje područna i/ili regionalna uprava započinje iznalaziti moguća rješenja prelaska na komunalnu odvodnju,
- investitor u seoski ili hotelski turistički smještaj koji dijeli seosko-rezidencijalne čestice za javnu prodaju, a koje čestice trebaju opsluživati bilo mali sustavi otpadnih voda ili mali/dislocirani klasteri ili dislocirani komunalni sustavi odvodnje,
- mala naselja koja uslijed neprihvatljivog rizika za zdravlje ljudi moraju poboljšati ili izgraditi sustav odvodnje.

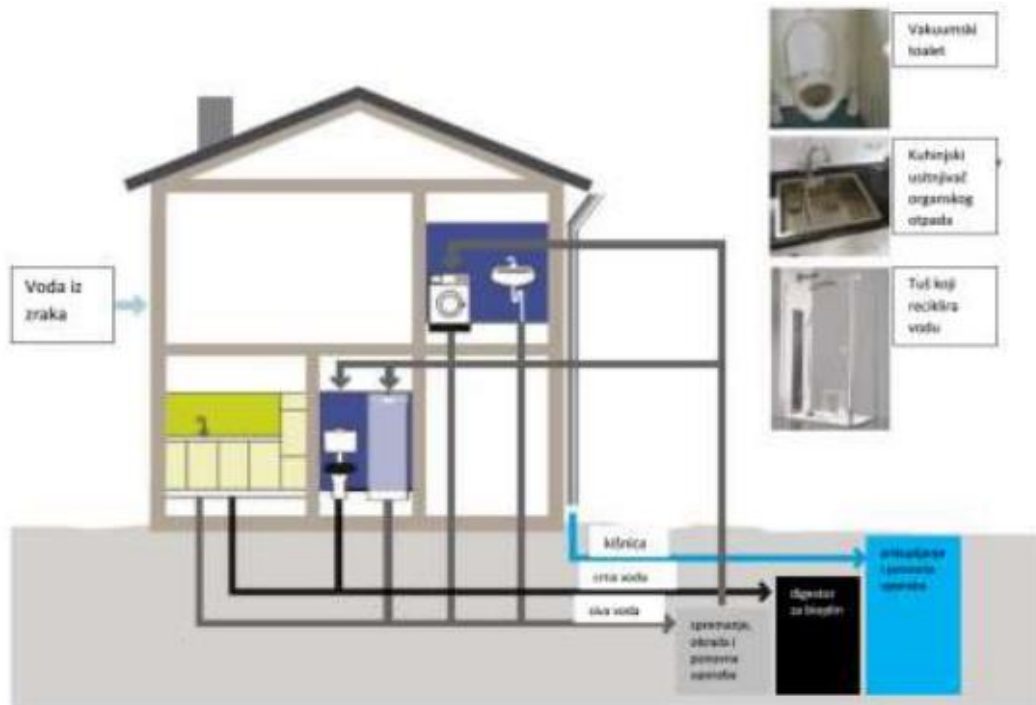
Karakteristika je malih sustava da se kod njih onečišćena uporabljena voda zapravo ispušta u ekosustav unutar granica samog naselja pa je u praksi najbolje sagraditi sustav pročišćavanja koji će proizvesti što prljaviji mulj. Takva obrada bi zapravo značila da je otpadna voda koja se ispušta u okoliš više dekontaminirana te je spremnija bilo za ponovnu uporabu ili za ispuštanje u okolni prostor.

Prikupljanje otpadne vode i ponovno korištenje ili zbrinjavanje neposredno na mjestu nastanka je karakteristika decentraliziranih sustava, oni su alternativna rješenja tradicionalnim centraliziranim velikim sustavima. Decentralizirani sustavi obuhvaćaju sustave obrade na mjestu nastanka (onsite, ili: «mali sustavi») koji obrađuju otpadnu vodu iz pojedinih kuća ili zgrada i klusterske sustave koji obrađuju otpadnu vodu iz skupina od dvije ili više kuća, dijela malog naselja ili cijelog malog naselja, a koji zbrinjavaju efluent otpadne vode u tlo (ispodpovršinska obrada)( Lamont Engineers, 2008).

Decentralizirani pristup obradi otpadne vode osigurava:( US EPA, 2005)

- Zaštitu vrijednosti nekretnine jer dobro vođeni, pravilno projektirani sustavi obrade na mjestu nastanka ili klusterski sustavi mogu osigurati obradu otpadne vode koja je jednakovrijedna centraliziranom uređaju, često uz niže troškove
- Očuvanje vode. Decentralizirani sustavi mogu pomoći prihranjivanju podzemne vode, vodonosnika i održavanju protoka tijekom sušne sezone
- Očuvanje baze za oporezivanje. Decentralizirani sustavi se mogu ugrađivati prema potrebi, čime se izbjegavaju veliki avansni kapitalni izdaci centraliziranih sustava za obradu otpadnih voda
- Uštede u životnom vijeku. Pravilno upravljanje može imati za posljedicu niže troškove zamjene i popravka, veću vrijednost nekretnine, pospješen ekonomski razvoj i veću kvalitetu života
- Djelotvorno planiranje. Decentralizirani sustavi pružaju fleksibilne opcije za otpadnu vodu i pomažu postizanju ciljeva korištenja zemljišta.

Slika 7 prikazuje shemu decentraliziranog vodnog koncepta primijenjenog na kući za odmor na kojoj je vidljivo da se koriste tri spremnika za vodu, sivi spremnik u kojem se sakupljaju vode iz umivaonika, tuša, veš perilice i kuhinje, zatim crnu vodu koja se proizvodi u kućanstvu i na kraju spremnik za sakupljanje kišnice.



Slika 7. Decentralizirani vodni koncept na primjeru kuće za odmor (Runko Luttenberger, 2011).

Kada se otpadna voda obrađuje u malim sustavima onda ta voda zapravo čini sastavni dio vodnog ciklusa jer se voda koja dolazi iz okoliša, ponovno u njega vraća. Na taj način se voda koja je i onako oskudna na otocima i kao takva predstavlja vrijedan vodni resurs ponovno vraća u ciklus dok se kod glomaznih centraliziranih sustava samo ispušta u veće vodne korpuse i prenosi vodu koja dolazi iz slivnih područja.

Koncept decentraliziranog pristupa je da se otpadna voda obrađuje i ponovno iskoristi tamo gdje je najprimjerenije, što bliže mjestu gdje je nastala da se izbjegne izgradnja

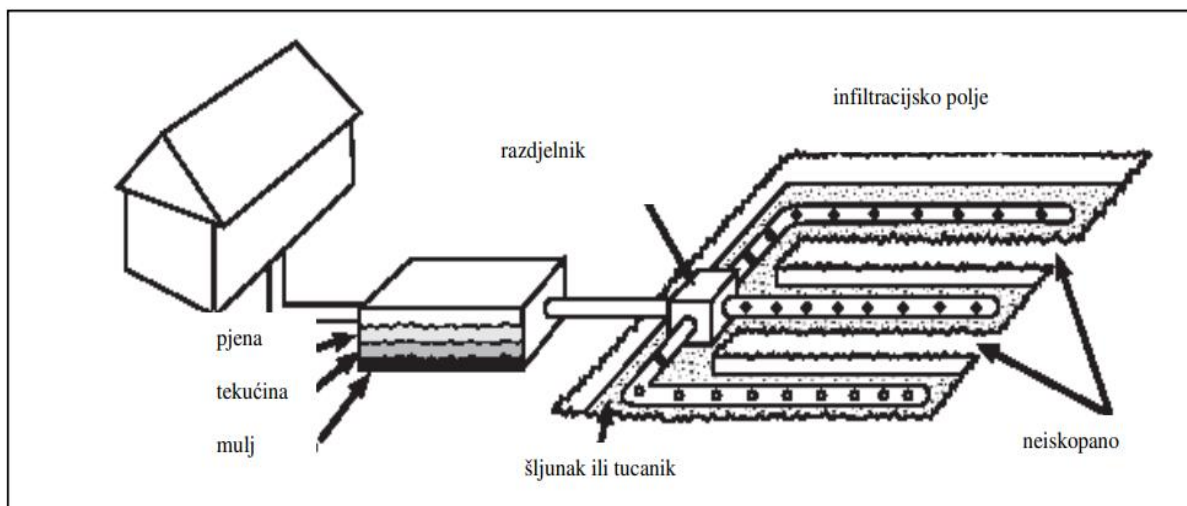
skupih mreža cjevovoda koji samo premještaju onečišćenje s jednog mjesta na drugo. Kada problem promatramo s tradicionalnog gledišta, implementacija taložnice u svaki sustav na svakom izvoru stvaranja otpadnih voda može izgledati besmisleno. Ali ova strategija može pružiti brojne pogodnosti: septičke taložnice zadržavaju nataloženu krutu tvar čime se omogućava korištenje manjih i jeftinijih sustava za prikupljanje efluenta. Septičke taložnice rade pasivno i zahtijevaju samo periodičan nadzor i pražnjenje. S obzirom da je digestija u septičkim taložnicama anaerobna, obujam krute tvari s kojom se postupa se bitno smanjuje u usporedbi sa konvencionalnim aerobnim procesima koji se koriste u centraliziranim sustavima. Kada se ispravno dimenzioniraju, taložnice mogu zadržavati nataloženu krutu tvar godinama prije nego što dođe do potrebe za uklanjanje iste.

Kada stvar promatramo s tehničkog aspekta, mali sustav je onaj u kojem su otpadne vode proizvedene na nekoj lokaciji, obrađuju se na samoj lokaciji te se obrađene ispuštaju u granicama istog lokaliteta. Takvi lokaliteti mogu biti poljoprivredna imanja (na imanju se mogu obrađivati otpadne vode od kućanstva i životinja), proizvodno postrojenje ili jedna kuća. U zadnjem slučaju se mulj ipak ne obrađuje lokalno. Uobičajeno je da se mulj iz malih sustava obrade dislocira i vraća u ekosustav na neki prihvatljiv način, za razliku od centraliziranih sustava gdje nastaju ogromne količine mulja u kojima se nalazi cijeli niz onečišćivala za koji je, bez obzira na samu tehnologiju obrade otpadnih voda, odlagalište jedina sigurna privremena opcija zbrinjavanja dok se ne nađu druga rješenja koja mulj neće ispuštati u zrak (spaljivanje), hranu (gnojivo) ili u vodu (ispusti) (Sludge news, 2008).

Tehnologija malih sustava su se razvile do takve razine koja je barem jednako sigurna, kako za okoliš tako i za zdravlje ljudi, kao i prikupljanje u komunalnu mrežu i obrada otpadnih voda, te istu stoga treba smatrati jednakovrijednim izborom prilikom razmatranja opcija postupanja s otpadnim vodama u različitim uvjetima. Dvije su zajedničke sastavnice svih septičkih sustava, slika 8:

- taložnica
- infiltracijsko polje ili jarak za raspršivanje otpadne vode u tlo





Slika 8. Tipični sustav koji se sastoji od taložnice i infiltracijskog polja (Runko Luttenberger., 2011).

Ipak kod ovakvog tipičnog septičkog sustava ograničenje može biti tlo, primjerice velika količina podzemnih voda ili nepropusnost sloja, u kojem slučaju će se koristiti napredni sustav odvodnje otpadnih voda kao dio malog sustava upravljanja otpadnim vodama. Kod višeg stupnja obrade otpadne, vode će se dodatno obrađivati prije nego li se ispuste na polje za drenažu.

### 3.3.1. Klusterski sustavi

Kada u komunalnom sustavu sudjeluju dva ili više stambenih objekata onda taj sustav nazivamo klusterski sustav. Takvi sustavi su znatno manji od centraliziranih sustava. U svakom klasteru se otpadne vode mogu obrađivati putem zasebnih septičkih taložnica prije transporta efluenta alternativnim sustavom odvodnje do dislociranog lokaliteta na kojem se otpadne vode dalje obrađuju i ispuštaju u ekosustav.

U drugim situacijama puni protok otpadne vode iz svakog klastera se može cjevovodom odvoditi na dislocirano mjesto lokalne obrade i povratka u eko-sustav. Takva vrsta sustava je učinkovita i korisna ako je u području na kojem gradimo sustav tlo promjenjive kvalitete i karakteristika, a posebno kada tlo nije dovoljno upojno za raspršivanje otpadnih voda u tlo. U području gdje je pogodno tlo otpadna voda se transportira pomoću

lokalnog sustava za prikupljanje vode nakon obrade u uređaju za obradu otpadnih voda. Projektanti, planeri i lokalni izvođači zbog ovih karakteristika klasterskog sustava zbrinjavanja otpadnih voda imaju velike mogućnosti prilagođavanja sustava terenu na kojem se sustav gradi, od primjerice velikih seoskih imanja do urbanog gusto naseljenog dijela grada.

Klasterski sustavi obično opslužuju manje od sto kuća, ali mogu opsluživati i više. Podjela između decentraliziranih i centraliziranih sustava nestaje kod razmatranja klasterskih sustava. Razlike su sljedeće (Rocky Mountain Institute for EPA, 2004):

- Količina - decentralizirani sustavi obrađuju «relativno male količine vode».
- Vrsta kolektora - centralizirani sustavi obično koriste konvencionalne gravitacijske kolektore, dok klasterski sustavi obično koriste alternative kao što su tlačne cijevi malog promjera, gravitacijske cijevi malog promjera i vakuum kolektor, kod čega obično postoje taložnice na parceli i/ili crpke drobilice prije nego otpadna voda oteče sa parcele u sustav odvodnje.
- Vrsta obrade - centralizirani sustavi obično koriste procese sa aktivnim muljem, dok klasterski sustavi obično koriste alternative kao što su pješčani filtri, prokapni filtri, itd.
- Način ispuštanja - centralizirani sustavi obično ispuštaju obrađenu otpadnu vodu u površinsku vodu. Klasterski sustavi obično ispuštaju obrađenu otpadnu vodu infiltriranjem u tlo.
- Vlasništvo - centralizirani sustavi su obično u javnom vlasništvu, dok su klasterski sustavi obično u vlasništvu investitora, udruge vlasnika kuća ili drugog privatnog subjekta.
- Relativan omjer - centralizirani sustavi su namijenjeni opsluživanju cijelog naselja ili značajnih površina velikih naselja. Klasterski sustavi opslužuju samo dio naselja.

Tamo gdje konvencionalna rješenja gradnje velikih centraliziranih sustava nisu dobre niti moguće opcije zbog ograničenja lokacije ili loših karakteristika tla, kao ekološki prihvatljivija i troškovno primjerenija rješenja se nameću klasterski sustavi. Ipak kod ovakvih sustava je potrebno omogućiti da se vlasnici kuća stalno obrazuju po pitanju otpadnih voda a i složenija je organizacija naplate.

### 3.3.2. Kondominijalni sustav

Pojednostavljena ili kondominijalna odvodnja redefinira jedinicu kojoj se pruža usluga. Dok klasični sustavi u suštini pružaju usluge svakoj stambenoj jedinici, kondominijalni sustavi pružaju uslugu svakom kućanskom bloku ili svakoj skupini stanova u susjedstvu, tj. kondominiju. Ovo je slično priključku višekatnice, osim što je u ovom slučaju kondominij fizički horizontalan i institucionalno neformalan. Stoga, javna mreža ne mora više prolaziti kroz svaku česticu ili biti u svakoj ulici. Potrebna dužina mreže je bitno manja od konvencionalnog sustava, a vodovi su plitko postavljeni na najprikladnijem dijelu bloka (ispod pločnika, vrtova ispred ili iza kuće). Ove inovacije smanjuju troškove izgradnje na 20-30% u odnosu na konvencionalni sustav (WHO/UNEP, 1997), ili 65% prema (Melo, 1996) koji ga je i osmislio.

Znamo da se u konvencionalnom promišljanju obrade otpadne vode naglašava sakupljanje fluida u jedinstvenoj geografskoj točki a upravo suprotno vrijedi za integralnu kondominijalnu odvodnju koja podrazumijeva decentraliziranu obradu otpadnih voda da bi se što je više moguće umanjilo troškove transporta na velike udaljenosti. Kod ovakvog pristupa je odnos pružatelja i primatelja mnogo tješnji pa se obje strane moraju puno više angažirati oko dogovaranja kako bi se usluga prilagodila za lokalne potrebe i ograničenja. Tako kondominij postaje ne samo fizička jedinica pružanja usluge već društvena jedinica za omogućavanje kolektivnih odluka i organiziranje komunalnih akcija (Melo, 2006). U ovakvom konceptu se predviđa suradnja u dogovaranju uvjeta i dijeljenje odgovornosti s pružateljima komunalnih usluga.

Što se tiče potencijalne primjenjivosti u industrijaliziranim zemljama, bitno je napomenuti sljedeće (Mara, 1999):

1. Pojednostavljena odvodnja je tehnologija odvodnje s niskom cijenom koja se može primijeniti ne samo u gustim tropskim periferijama, već i u srednje gustim i gustim stambenim naseljima industrijaliziranih zemalja.
2. Promjeri kolektora koji su manji od onih preporučenih u nacionalnim pravilima se mogu sigurno usvojiti pod uvjetom da su ispravno projektirani.

Provedba pojednostavljene odvodnje u siromašnim dijelovima Brazila započela je 1991. godine, a danas pojednostavljenu odvodnju smatra svojim «standardnim rješenjem» za

bogate i siromašne kvartove. U Salvadoru (Brazil) je kondominijalni sustav primjenjivan od povijesnog centra do siromašnijih perifernih naselja i to postupno, zbog iznimno gustih i kaotičnih obrazaca urbanizacije i izazovne topografije grada.

### **3.4. Ispuštanje u ekosustav i ponovna uporaba**

Prije šezdeset ili sedamdeset godina, način na koji je otpadna voda ulazila u okoliš nije bio predmet interesa zajednice ili tehničara. Za male sustave glavna briga je bila osigurati da drenažna polja septičkih taložnica budu sposobna apsorbirati otpad: povremeno bi se taložnica trebala čistiti i otpad spaljivati. Otpad iz centraliziranih sustava obrađen do različitih razina bi se prazio izravno u potoke, rijeke ili more. Neobrađen otpad, posebno otpadna voda, bi se često praznila putem 'kanalizacijskih ispusta' u obalne vode. Obradena otpadna voda se može vratiti u ekosustav putem izravnog točkastog ispusta u vodeni korpus kao što je rijeka, jezero, močvara, ušće ili more. Alternativno, obrađena otpadna voda se može vratiti u tlo raznim metodama navodnjavanja kao što je naplavno navodnjavanje, nadzemni raspršivači ili podzemna drenaža. Manji i veći gradovi blizu obale nastoje vratiti obrađenu otpadnu vodu u obalni ekosustav. Kopneni uređaji za obradu mogu ispuštati svoju obrađenu otpadnu vodu u jezero, rijeku ili tlo putem navodnjavanja. Ostali otpad iz uređaja za obradu je mulj (biotvari) koji se može odlagati na deponij, rasporediti na tlo, kompostirati, peletizirati ili obraditi za korištenje u kondicioniranju tla ili za energetske svrhe. Mogućnosti za vraćanje obrađene otpadne vode u ekosustav unutar granica parcele ovise u velikoj mjeri o obilježjima tla, kao što su vrsta tla, površina i raspoloživ nagib tla, lokacije podzemne vode i lokalna klima. Mogućnosti obuhvaćaju procjeđivanje ispod površine tla, navodnjavanje (površinsko ili podpovršinsko) i evapotranspiraciju (Runko Luttenberger, 2011).

### **3.5. Upravljanje decentraliziranim sustavima otpadnih voda**

Tradicionalno se otpadnim vodama upravljalo na dva načina. Prvi je onaj gdje malim sustavima upravlja vlasnik kuće ili samostalni gospodarski subjekt. Izgradnja, održavanje i rad sustava spada u odgovornost pojedinca. Nasuprot tome postoje sustavi centraliziranog prikupljanja i obrade kojima upravlja središnja agencija, često lokalna vlast, koja upravlja svim aktivnostima u koordiniranom pristupu pružanja usluga otpadnih voda. Ovo je obično praksa regionalnog ili područnog ili klsterskog pristupa upravljanju

komunalnim sustavima otpadnih voda. Vjerojatno će se težiti tome da se mali sustavi za obradu otpadnih voda obuhvate integralnim programima upravljanja, posebno u pogledu njihovog rada, održavanja i nadzora. Centralizirano upravljanje može biti vanjsko upravljanje naručeno od strane zajednice ili lokalna zajednica može uvjetovati da se malim sustavima upravlja na razini dogovorenog standarda. Kako bi se pospješilo Inženjerstvo okoliša u komunalnom gospodarenju otpadom i vodom upravljanje malim sustavima otpadnih voda, državne i lokalne vlasti trebaju razraditi dobro osmišljenu strategiju koja uzima u obzir brojne činitelje, uključujući mogućnosti projekta, lokalne uvjete, zahtjeve za upravljanje i održavanje, periodični pregled, nadzor i financijsku podršku (US EPA, 2005).

Klusterskim sustavima može upravljati lokalna vlast (ukoliko ih je izgradila) ili tvrtka. Potonju mogu osnovati vlasnici zemljišta za upravljanje sustavom u njihovo ime. 'Centralizacija' upravljanja odražava kako potrebu za jasnom linijom odgovornosti tako i složenost sustava kojim se upravlja, te snažniju kontrolu čimbenika koji utječu na kvalitetu okoliša i zdravlja. Decentralizirani sustavi obrade mogu s gospodarskog i ekološkog stanovišta u mnogim područjima biti najbolji izbor. Zbog tehnološkog napretka, danas je na raspolaganju široki spektar inovativnih sustava koji mogu prevazići ograničenja uz osiguravanje više razine pročišćavanja za zaštitu važnih vodnih resursa. Alternativni sustavi, projektirani za obradu i recikliranje otpadne vode blizu izvora se mogu veličinom prilagoditi opsluživanju pojedinačnih parcela, dvije ili tri kuće ili centra naselja. Najvažnije je da su modeli za državno i lokalno upravljanje alternativnim sustavima razvijeni i spremni za provedbu kako bi se osiguralo pravilno održavanje i rukovanje alternativnim tehnologijama (Runko Luttenberger, 2011).

Individualno upravljanje lokalnim sustavima od strane kućanstava je sve više pod povećalom agencija koje se brinu za zdravlje ljudi. Uobičajeno je ustvrditi da su septičke taložnice i drugi lokalni sustavi loše vođeni. Često nastaju posljedični problemi s ispuštanjem u tlo i vodne tokove, te zagađenje vodovoda. Ponekad je uzrok kvara nedostatak informacija o tome kako voditi i održavati sustave, a ponekad sama cijena koštanja. Drugi problem je što neodržavanje malog sustava može značiti da je njegov 'vijek' drastično smanjen. Vlasnik kuće može uštedjeti novac kratkoročno, ali sustav se možda mora zamijeniti ranije nego je uobičajeno. Vrijednost imovine je time izgubljena. Jedan od problema sa kvarovima malih sustava je što može prisiliti zajednicu da izabere

dislocirani klusterski ili centralizirani sustav, a takav fizičko-tehnički sustav možda nije neophodan ukoliko su lokalni sustavi dobro vođeni. Moguće rješenje je kolektivan pristup održavanju sustava, tj. da se vlasnici dogovore i plate treću osobu za nadzor i održavanje ovih sustava za utvrđenu cijenu. Kapitalni troškovi za nadogradnju i popravak određene septičke taložnice još uvijek ostaju u domeni odgovornost pojedinog vlasnika zemljišta. Drugo rješenje može biti kolektivan pristup poboljšanju upravljanja septičkim taložnicama kada većina u zajednici može smatrati potrebnim da se regulira vođenje malih sustava. Između ostalog, zajednica želi time jasno ukazati na očekivani standard za sve novodoseljene u području. Jednostavan način je zahtijevati od svih da postignu određenu razinu uspješnosti. Ovaj dvostrani pristup može umanjiti pritisak za prijelaz na centralizirani tehnički sustav stoga što je upravljanje malim sustavima manjkavo (Runko Luttenberger, 2011).

Ovakva integracija može:

- osigurati uključivanje profesionalnog servisa za rad i održavanje koji otklanja izravnu odgovornost sa vlasnika kuće,
- zaštititi ulaganje u opremu (hardware) za mali sustav i kapacitet obrade kojega pruža tlo osiguravanjem dugotrajnog učinka,
- osigurati kvalitetniju zaštitu okoliša bolje javnozdravstvene rezultate.

Ovaj pristup integriranju upravljanja malim sustavima se naziva 'upravljanje decentraliziranim sustavima otpadnih voda'.

Postoje različite razine upravljanja u vezi sa korištenjem, radom i održavanjem malih sustava uključujući vlasnike kuća, vlasnike korporativne agencije ili agencije lokalnih vlasti. Slijede primjeri prikazane u tablici 1.

*Tablica 1. Razine upravljanja malih sustava (Ministry for the Environment, 2003)*

**Razina 1.** Ostaviti svu odgovornost za upravljanje radom i održavanjem u rukama vlasnika kuće, ali lokalna vlast izrađuje popis sustava i redovito pruža informacije vlasnicima i korisnicima.

**Razina 2.** Odobrenje za nadzor i održavanje u skladu s dogovorenim standardom održavanja, kojega izvodi vanjski operator angažiran od strane vlasnika kuće. To zahtijeva od lokalne vlasti da ustanovi nepromjenjiv standard za sve sustave na nekom području. Svi sustavi mehaničke obrade bi podlijegali ugovorima o održavanju, lokalna vlast bi vodila evidenciju o svim potvrdama o održavanju i ugovornim izvješćima.

**Razina 3.** Pružatelj usluga preuzima nadzor i održavanje. Lokalna vlast može prihvatiti program održavanja i naplaćivati troškove putem tarifa ili izravne naknade. Alternativno, privatna organizacija može upravljati aktivnostima rada i održavanja i povratno izvještavati lokalnu vlast.

**Razina 4.** Imovina se povjerava agenciji koja njome upravlja izravno. To može biti lokalna vlast ili korporacija.

Kod velikih parcela i male izgrađenosti, mali sustavi imaju malu mogućnost uzrokovanja učinaka na okoliš izvan granica parcele. Stoga se učestalost i detaljnost nadzornih pregleda može prilagoditi izgrađenosti i vjerojatnom učinku malih sustava. EPA je utvrdila pet modela upravljanja za povećanje kontrole imajući u vidu složenost sustava obrade i/ili osjetljivosti okoliša. Modele prikazane u tablici 2 mogu usvojiti lokalne vlasti, komunalne tvrtke i drugi subjekti:

*Tablica 2. Modeli za upravljanje decentraliziranim sustavima otpadnih voda (EPA, 2004)*

Razina	Model upravljanja	Opis
1	Svijest vlasnika kuće	Predviđa program i aktivnosti kada je vlasnik i operator sustava jedini vlasnik parcele u područjima niske ekološke osjetljivosti. Ovaj program je primjeren kada su tehnologije obrade ograničene na konvencionalne sustave koji zahtijevaju malu pažnju vlasnika. Da bi se osiguralo pravovremeno održavanje, regulatorna vlast šalje vlasnicima podsjetnike za održavanje u odgovarajućim vremenskim intervalima.
2	Ugovori o održavanju	Predviđaju program i aktivnosti kada se koriste složeniji projekti za povećanje kapaciteta konvencionalnih sustava da prihvate i obrađuju otpadnu vodu. Zbog složenosti obrade, potrebni su ugovori sa kvalificiranim tehničarima kako bi se osiguralo pravilno i pravovremeno održavanje.
3	Dozvole za rad	Predviđaju program i aktivnosti kada je u pitanju održavanje učinkovitog rada sustava obrade za zaštitu zdravlja ljudi i kakvoće vode. Ograničene dozvole za rad se izdaju vlasniku i obnovljive su za sljedeće razdoblje ukoliko vlasnik dokaže da je sustav sukladan uvjetima dozvole.
4	Rad i održavanje od strane odgovornog upravljačkog subjekta	Predviđa program i aktivnosti gdje je potreban čest i jako pouzdan rad i održavanje decentraliziranih sustava kako bi se osigurala zaštita vodnog resursa u osjetljivim okruženjima. Prema ovom modelu dozvola za rad se izdaje spomenutom upravljačkom subjektu umjesto vlasniku parcele kako bi se osiguralo da se izvodi odgovarajuće održavanje.
5	Vlasništvo od strane odgovornog upravljačkog subjekta	Predviđa da program i aktivnosti budu u vlasništvu, da njima upravlja i održava ih subjekti koji skida sa vlasnika parcela odgovornost za sustav. Ovaj program je analogan centralnoj odvodnji i najviše od svih osigurava da sustav radi učinkovito i u najosjetljivijem okolišu.

Moguće je imenovati odgovorni upravljački subjekt ili ostaviti da vlasnik kuće odabere razinu usluge koju želi i razinu rizika koju želi zadržati ili prenijeti. U modelu 3 bi imao dozvolu i bio pod nadzorom, a u modelu 5 ne bi imao nikakvu izravnu kontrolu, ali niti rizik (Clerico, 2006).

Najisplativija opcija su novi mali sustavi obrade na mjestu nastanka. Klusterski sustavi nisu značajno skuplji, a posebno dolaze do izražaja ako je tlo neprikladno za sustave obrade na mjestu nastanka. Povećanjem udaljenosti između kuća u ruralnom području, rastu troškovi prikupljanja u klusterskom sustavu. U usporedbi sa sustavom obrade na mjestu nastanka i klusterskim sustavom, centralizirano prikupljanje i obrada nisu isplativi.

U tablici 3 možemo vidjeti usporedbu troškova za jedno rubno naselje, vidimo i da klusterski sustavi zahtijevaju veće ulaganje od malih sustava ali i da su godišnji troškovi znatno manji.

Tablica 3. Usporedba troškova za centralizirani i decentralizirani sustav (EPA, 1997)

Troškovi tehnologije za rubno naselje			
u USD (1995)			
Tehnološka opcija	Ukupni kapitalni troškovi	Godišnji troškovi rada i održavanja	Ukupni godišnji troškovi (kapital po godinama plus rad i održavanje)
Centralizirani sustav			
- na udaljenosti od 1 milje od postojećeg kolektora	3.322.900	83.800	351.600
- na udaljenosti od 5 milja od postojećeg kolektora	5.377.800	95.900	529.300
Alternativni gravitacijski kolektori malog promjera i mali klusterski sustavi	3.783.700	18.000	322.900
Mali sustavi obrade na mjestu nastanka	2.117.100	59.240	229.900

Napomena: Rubno naselje ima 1.550 stanovnika u 443 kuće.

I kod rubnih naselja je najisplativije graditi male sustave obrade na mjestu nastanka, a izgradnja klusterskih sustava ima prednost kod naselja koja se razvijaju i imaju ograničen prostor. Ukoliko je rubno naselje relativno blizu kolektoru, prihvatljiva je i opcija priključivanja na centralni sustav, ali pod uvjetom da postojeći objekti za centralizirano prikupljanje i obradu mogu prihvatiti dodatna opterećenja otpadnom vodom. Ukoliko je rubno naselje na većoj udaljenosti, centralizirano prikupljanje i obrada nisu isplativi. K tome, prihvatni kapacitet prijemnog okoliša može ograničavati korištenje centraliziranih sustava za ispuštanje u površinske vode. Posebno treba naglasiti i visoke troškove centraliziranih sustava u slučaju kvara.



Iz tablica je vidljivo da se veličina rubnog naselja poklapa s veličinom većih gradića na otocima a kod još manjih naselja još je očitije da centralizirani sustavi nemaju ekonomsku isplativost.

## 4. METODIČKI DIO

Prema nastavnom planu i programu za zanimanje vodoinstalater u trećoj godini u nastavnom predmetu Praktikum novih tehnologija učenici se osposobljavaju za korištenje CAD alata za zamišljanje dijelova i sklopova koji su prikazani tehničkim crtežima i za prikazivanje zamišljenih dijelova i sklopova s pomoću tehničkog crteža. Teme obrađene u ovom diplomskom radu bi prezentirao učenicima prije zadavanja zadatka za projekt koji bi se sastojao od 2D prikaza otopke kuće, izbora i prikaza pojedinih dijelova i sklopova potrebnih za izradu jednog malog sustava za obradu otpadne vode. Smatram da bi budući školovani vodoinstalateri trebali sudjelovati u promociji zelene gradnje na našim otocima. Situacija u otočkim naseljima je takva da je izgrađenost čestica u samom centru vrlo gusta pa je potrebno upotrijebiti kreativna rješenja kod izgradnje malog sustava za pročišćavanje otpadnih voda u takvim prostorom ograničenim građevinskim česticama. Osim toga smatram da je korisno za buduće graditelje vodoinstalateru da se upoznaju s novim trendovima u projektiranju i izgradnji malih sustava za pročišćavanje otpadnih voda jer često su na takvim mjestima izvedbe sustava za obradu vode realizirane bez prethodne izrade tehničke dokumentacije i potrebnih dozvola kao što je slučaj kada se grade veliki komunalni sustavi.

### 4.1. Izvedbeni nastavni plan

**IZVEDBENI NASTAVNI PROGRAM ZA 2020./2021.**

**ŠKOLA:** Strojarsko brodograđevna škola za industrijska i obrtnička zanimanja

**RAZRED:** 3. razred

**BROJ SATI GODIŠNJE:** 64 (32 sata CAD + 32 sata Projekt)

**NASTAVNIK:** Petar Đakulović

**NASTAVNI PREDMET: PRAKTIKUM NOVIH TEHNOLOGIJA**

<b>REDNI BR. SATA/MJESEC</b>	<b>CJELINE</b>	<b>SADRŽAJ/TEME</b>	<b>ISHODI</b>	<b>AKTIVNOST KOJU PROVODE UČENICI I UČITELJ</b>
1./IX		Uvod u nastavu Praktikuma novih tehnologija		- upoznavanje učenika s izvedbenim kurikulumom Praktikuma novih tehnologija, kriterijima praćenja i vrednovanja
2., 3./IX	Crtanje s pomoću računala u dvije dimenzije	Osnove CAD programa Otvaranje i spremanje crteža	Osposobiti učenika za dvosmjerno grafičko komuniciranje u području strojarstva	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
4., 5./IX	Crtanje s pomoću računala u dvije dimenzije	Uporaba naredbi Organiziranje crteža s pomoću slojeva, boja i vrsta crta	Osposobiti učenika za dvosmjerno grafičko komuniciranje u području strojarstva	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
6., 7./IX	Crtanje s pomoću računala u dvije dimenzije	Zadavanje koordinata i postavljanje parametara crteža	Osposobiti učenika za dvosmjerno grafičko komuniciranje u području strojarstva	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
8., 9./IX	Projekt	Uvodno predavanje i zadavanje zadatka	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu

10., 11./X	Crtanje s pomoću računala u dvije dimenzije	Pregledavanje crteža Uređivanje crteža s pomoću osnovnih alata	Osposobiti učenika za dvosmjerno grafičko komuniciranje u području strojarstva	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
12., 13./X	Crtanje s pomoću računala u dvije dimenzije	Crtanje jednostavnih likova Crtanje krivulja	Osposobiti učenika za dvosmjerno grafičko komuniciranje	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
14., 15./X	Projekt Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava	Rad na projektu	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
16., 17./X	Projekt Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava	Rad na projektu	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
18., 19./X	Projekt Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava	Rad na projektu	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
20., 21./XI	Crtanje s pomoću računala u dvije dimenzije	Uređivanje crteža s pomoću naprednih alata	Osposobiti učenika za dvosmjerno grafičko komuniciranje	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
22., 23./XI	Crtanje s pomoću računala u	Dobivanje informacija o crtežu i iz crteža	Osposobiti učenika za dvosmjerno	-frontalni rad -individualni rad

	dvije dimenzije		grafičko komuniciranje	-rad na računalu
24., 25./XI	Projekt Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava	Rad na projektu	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
26., 27./XI	Projekt Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava	Prezentacija učeničkih radova i ocjenjivanje	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
28., 29./XII	Projekt Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava	Prezentacija učeničkih radova i ocjenjivanje	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
30., 31./XII	Crtanje s pomoću računala u dvije dimenzije	Kreiranje teksta	Osposobiti učenika za dvosmjerno grafičko komuniciranje	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
32., 33./I	Crtanje s pomoću računala u dvije dimenzije	Crtanje kota	Osposobiti učenika za dvosmjerno grafičko komuniciranje	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
34., 35./II	Crtanje s pomoću računala u dvije dimenzije	Kreiranje stilova kota i tolerancija	Osposobiti učenika za dvosmjerno grafičko komuniciranje	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
36., 37./II	Crtanje s pomoću računala u	Iscrtavanje i ispis crteža	Osposobiti učenika za dvosmjerno	-frontalni rad -individualni rad

	dvije dimenzije		grafičko komuniciranje	-rad na računalu
38., 39./II	Projekt Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava	Prikaz instalacije i trošila hidrauličkog i toplinskog stajališta	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
40., 41./III	Projekt Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava	Predavanje i zadavanje zadatka	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
42., 43./III	Projekt Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava	Prikaz instalacije i trošila hidrauličkog i toplinskog stajališta (protok)	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
44., 45./III	Projekt Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava	Prikaz instalacije i trošila hidrauličkog i toplinskog stajališta (energija)	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
46., 47./III	Projekt Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava	Prikaz instalacije i trošila hidrauličkog i toplinskog stajališta (izbor trošila)	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu

48., 49./IV	Projekt Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava	Prikaz instalacije i trošila s hidrauličkog i toplinskog stajališta (izbor pumpi)	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
50., 51./IV	Projekt Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava	Prikaz instalacije i trošila s hidrauličkog i toplinskog stajališta (izbor sigurnosnih organa, cjevovoda i mjerila potrošnje medija)	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
52., 53./IV	Projekt Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava	Prikaz instalacije i trošila s hidrauličkog i toplinskog stajališta (izbor sigurnosnih organa, cjevovoda i mjerila potrošnje medija)	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
54., 55./V	Projekt Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava	Rad na projektu	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
56., 57./V	Projekt Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava	Rad na projektu	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
58., 59./V	Projekt Prikaz instalacija i	Rad na projektu	Osposobiti učenika da može	-frontalni rad -individualni rad

	trošila vodovodnog sustava		samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-rad na računalu
60., 61/V	Projekt Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava	Rad na projektu	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
62., 63/VI	Projekt Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava	Prezentacija učeničkih radova i ocjenjivanje	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	-frontalni rad -individualni rad -rad na računalu
64./VI	Projekt Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava	Prezentacija učeničkih radova i ocjenjivanje Zaključivanje ocjena	Osposobiti učenika da može samostalno izraditi jednostavni prikaz instalacija i trošila	

Učenici će slušati predavanje o vodi, vodnom ciklusu i postupcima obrade otpadne vode te o problematici decentraliziranih sustava i prednostima njihove implementacije naspram velikih centraliziranih sustava, učenici zapisuju sadržaj plana ploče. Nakon predavanja učenicima se zadaje projektni zadatak i daju se upute za rješavanje zadatka.



## 4.2. Priprema za nastavu

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
STUDIJ POLITEHNIKE  
Izvanredni studij politehničke i informatike

Ime i prezime: Petar Đakulović

### PRIPREMA ZA IZVOĐENJE NASTAVE

Škola: Strojarsko brodograđevna škola za industrijska i obrtnička zanimanja

Mjesto: Rijeka

Zanimanje: Vodoinstalater

Nastavni predmet: Praktikum novih tehnologija

Kompleks: Projekt (Prikaz instalacija i trošila vodovodnog sustava)

Metodička (nastavna) jedinica: Obrada otpadnih voda

#### *Podjela kompleksa na teme (vježbe, operacije)*

Redni broj	Naziv tema u kompleksu	Broj sati	
		teorija	vježbe
1.	Prikaz instalacije i trošila s hidrauličkog i toplinskog stajališta (protok)		2
2.	Prikaz instalacije i trošila s hidrauličkog i toplinskog stajališta (energija)		2
3.	Prikaz instalacije i trošila s hidrauličkog i toplinskog stajališta (izbor trošila)		2
4.	Prikaz instalacije i trošila s hidrauličkog i toplinskog stajališta (izbor pumpi)		2
5.	Prikaz instalacije i trošila s hidrauličkog i		2

	toplinskog stajališta (izbor sigurnosnih organa, cjevovoda i mjerila potrošnje medija)		
--	--	--	--

**Karakter teme (vježbe, operacije) – metodičke jedinice**

Formativni – stjecanje vještine prikaza instalacija i trošila vodovodnog sustava pomoću CAD alata

**PLAN VOĐENJA ORGANIZACIJE NASTAVNOG PROCESA****Cilj (svrha) obrade metodičke jedinice:**

Osposobiti učenika da može izraditi jednostavan projekt prikaza instalacija i trošila.

**Ishodi učenja (postignuća koja učenik treba ostvariti za postizanje cilja):**

(Posebno upišite koja znanja; koje vještine i umijeća, te koju razinu samostalnosti i odgovornosti učenik treba steći nakon obrade nastavne teme. Ishode formulirati jasno i jednoznačno kako bi se mogli nedvojbeno provjeriti evaluacijom.)

**ZNANJE I RAZUMIJEVANJE:**

- definirati pojam obrade otpadne vode
- navesti vrste otpadnih voda
- definirati pojam decentraliziranog sustava obrade otpadnih voda
- navesti prednosti decentraliziranih sustava

**VJEŠTINE I UMIJEĆA:**

- prepoznati i razlikovati vrste otpadnih voda
- izraditi jednostavan projekt prikaza instalacija i trošila
- opisati način obrade otpadnih voda

**SAMOSTALNOST I ODGOVORNOST:**

- slijediti naputke za projektni zadatak
- aktivno slušanje i sudjelovanje u radu s drugim učenicima i učiteljem

## ORGANIZACIJA NASTAVNOG RADA – ARTIKULACIJA METODIČKE

## JEDINICE:

Dio sata	Faze rada i sadržaj	Metodičko oblikovanje	Vrijeme (min)
UVODNI DIO	-pozdrav -evidencija nastavnog sata -motivacija -najava nove nastavne jedinice	- dijalog - frontalni rad	5
GLAVNI DIO		-dijalog, -usmeno izlaganje, -prezentacija na računalu - frontalni rad	25
ZAVRŠNI DIO	-vježba, provjera usvojenosti gradiva -zadavanje domaće zadaće	-dijalog, -prezentacija na računalu	10

**Posebna nastavna sredstva, pomagala i ostali materijalni uvjeti rada:**

Nastavna pomagala: LCD projektor, prijenosno računalo i pisač

Nastavni materijali: projektni zadatak prikaza instalacija i trošila

**Korelativne veze s ostalim predmetima i međupredmetnim temama:**

odr A.5.1. Kritički promišlja o povezanosti vlastitoga načina života s utjecajem na okoliš i ljude.

odr A.5.2. Analizira načela održive proizvodnje i potrošnje.

odr A.5.3. Analizira odnose moći na različitim razinama upravljanja i objašnjava njihov utjecaj na održivi razvoj.

odr B.5.2. Osmišljava i koristi se inovativnim i kreativnim oblicima djelovanja s ciljem održivosti.

odr C.5.1. Objašnjava povezanost potrošnje resursa i pravedne raspodjele za osiguranje opće dobrobiti.

### **Metodički oblici koji se primjenjuju i povezanost s ishodima iz kurikuluma:**

#### UVODNI DIO

– dijalog s učenicima otpadnim vodama i obradi istih

#### GLAVNI DIO

– predavanje o otpadnim vodama, recikliranju vode, energetske učinkovitosti

- istraživački rad učenika vezan za decentralizirane sustave obradnih voda

- individualni rad učenika – popunjavanje nastavnog listića

#### ZAVRŠNI DIO

– pregled radova učenika i evaluacija radova

- sistematizacija sadržaja u dijalogu s učenicima

### **Izvori za pripremanje nastavnika:**

Čargonja: "Vodič za montere vodovoda i klimatizacije" (vlastito izdanje).

Energetika - marketing d.o.o.: Osnove tehnike instalacija vode i plina, EM Zagreb, 2003.

### **Izvori za pripremanje učenika:**

Energetika - marketing d.o.o.: Osnove tehnike instalacija vode i plina, EM Zagreb, 2003.

## TIJEK IZVOĐENJA NASTAVE – NASTAVNI RAD

UVODNI DIO – pokazujem fotografije onečišćenja uzrokovanog lošim gospodarenjem otpadnih voda razgovaram s učenicima o zbrinjavanju otpadnih voda i značaju vode  
Najavljujem današnju temu: Decentralizirani sustavi otpadnih voda

### GLAVNI DIO

- govorim koje vrste voda postoje
- učenici zapisuju bilješke
- pitam učenike: Da li je uvijek ista količina vode na našoj planeti?
- objašnjavam vodni ciklus, učenici zapisuju plan ploče
- objašnjavam koji se sve postupci koriste prilikom pročišćavanja otpadnih voda
- objašnjavam koji su izvori onečišćenja
- objašnjavam razliku između centraliziranih i decentraliziranih sustava za obradu otpadnih voda
- govorim učenicima da će dobiti projektni zadatak
- dajem upute i zadatke s dodatnim informacijama (učenici će dobiti upute za rad, dokumentaciju potrebnu za istraživanje, pribor, materijal)
- zadajem domaću zadaću: projektni zadatak prikaza instalacija i trošila
- učenicima govorim da ću ocijeniti njihov rad

### ZAVRŠNI DIO

–Obrazlažem i dajem ocjenu učenicima na osnovu ovih kriterija.

Sistematizacija gradiva – ukratko ću ponoviti bitne zaključke današnje sata.

Što znači decentralizirana obrada vode? Koje su prednosti malih sustava? Koje su faze pročišćavanja vode?

Ocjenjujem prema sljedećim kriterijima:

0-39% nedovoljan (1)

40-54% dovoljan (2)

55-69% dobar (3)

70-84% vrlo dobar (4)

85-100% odličan (5)

### Izgled ploče

Vrste voda:

- voda za piće
- siva voda
- crna voda
- oborinska voda.

vrste pročišćavanja otpadnih voda su sljedeće:

- a) mehaničko ili prethodno (primarno) pročišćavanje,
- b) biološko ili naknadno (sekundarno) pročišćavanje,
- c) fizikalno – kemijsko (tercijarno) pročišćavanje.

Petar Đakulović  
(potpis studenta)

2 \* Pregledao: \_\_\_\_\_ \* Datum: \_\_\_\_\_

**Osvrt na izvođenje:**

\* Ocjena: \_\_\_\_\_

( Potpis ocjenjivača)

(Datum)

## 5. ZAKLJUČAK

Na našim je otocima struktura naselja takva da se uglavnom poklapa s brojem od 500 do 5000 stanovnika ili manje što je pogodno za razvoj decentraliziranog sustava obrade otpadnih voda I u skladu s preporukama EU komisije. Postojeća infrastruktura u malim naseljima je neprimjerena i neefikasna jer se uglavnom otpadne vode ne obrađuju već se ispuštaju direktno u tlo što nije zadovoljavajuće rješenje s aspekta očuvanja okoliša. Usporedbom velikih centraliziranih sustava obrade i decentraliziranih sustava dolazi se do zaključka da su manji decentralizirani sustavi optimalna rješenja za naša otočka naselja i to iz više razloga. Prije svega takvi sustavi su višestruko jeftiniji ali i tehnološki znatno jednostavniji pa je moguće i obučiti i osposobiti lokalno stanovništvo za održavanje takvih sustava. Decentralizirani sustavi su također primjereniji za otoke iz razloga što pridonose boljem održavanju i obnavljanju ekosustava, štede energiju, proizvode hranjive tvari koje se mogu koristiti za stvaranje zelenih površina ali i poboljšavaju kvalitetu zraka te mogu stvoriti "zeleni" radna mjesta. Danas su na tržištu dostupni proizvodi koji osiguravaju nepropusnost ali su i jednostavni za ugradnju te ne zahtijevaju dodatno učvršćenje i betoniranje. Takve taložnice i septičke jame su uglavnom izrađene od rotacionog lijevanog polietilena rebrastog profila I nisu podložne koroziji a zbog malih težina moguća je i ručna manipulacija prilikom montaže. Visoka standardizacija omogućuje da korisnik prilagodi otvore za kontrolu i pražnjenje odgovarajućim navojima te realizira sustav prema vlastitim potrebama. U kombinaciji s spremnicima za prikupljanje kišnice znatno se poboljšava vodna bilanca pojedinog domaćinstva a sva obrađena voda se lako može iskoristiti za stvaranje reprezentativnih zajedničkih zelenih površina što podiže estetski nivo pojedinog naselja. Glavni problem dakle nije tehničke naravi već je problem u načinu upravljanja sustavima obrade otpadnih voda a fokus je na velikim centraliziranim sustavima dok se zanemaruju periferni mali sustavi. Osim toga veliki je problem i vlasništvo zemljišta i partikularni interesi pojedinih vlasnika koji nisu spremni sudjelovati u zajedničkom rješenju (a često su poljoprivredni tereni godinama neiskorišteni) mada se obrađena voda itekako može iskoristiti u poljoprivredne svrhe. Gospodarenje vodnim resursima mora biti prioritet za zemlju koja se želi razvijati kao vrhunska turistička destinacija a sustavi za obradu otpadnih voda moraju biti dizajnirani na način da osim što zadovoljavaju sve ekološke zahtjeve moraju izdržati i vršno

opterećenje u turističkoj sezoni kada na otocima boravi mnogostruko više ljudi nego li u zimskim mjesecima.



## **PRILOZI**

- I. CD-R disc
- II. PPT prezentacija

## POPIS LITERATURE

- Alternatives for Municipal Wastewater Management Systems for small, rural communities in New York State, Lamont Engineers, 2008
- Clerico, E.A., A Utility Approach to Decentralized Wastewater Management, 1 May 2006, <http://www.nowra.org/rmeutility.pdf>
- Dodatak:Popis naseljenih otoka u Hrvatskoj-Wikipedija, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Dodatak:Popis\\_naseljenih\\_otoka\\_u\\_Hrvatskoj](https://hr.wikipedia.org/wiki/Dodatak:Popis_naseljenih_otoka_u_Hrvatskoj) 07.09.2021
- groundwater contamination-Groundwater Foundation, <https://www.groundwater.org/get-informed/groundwater/contamination.html> 06. 09. 2021
- Handbook for Managing Onsite and Clustered (Decentralized) Wastewater Treatment Systems, US EPA, No. 832-B-05-001, December 2005
- Hidrološki ciklus–Wikipedija, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidrološki\\_ciklus](https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidrološki_ciklus) 07. 09. 2021
- Koprivničke vode d.o.o. | Postrojenje (kcvode.hr), [www.kcvode.hr](http://www.kcvode.hr) 15. 09. 2021
- Mara, D.D., Guimaraes, A.S.P., Simplified sewerage: potential applicability in industrialized countries, Urban Water 1 (1999) 257-259
- Melo, J.C., Condominial Sewerage Systems – Reasons, Theory and Practice, CEF Editions, 1996
- Melo, J.C., The Experience of Condominial Water and Sewerage Systems in Brazil, The World Bank, August 2005
- Pročičavanje otpadnih voda -VUKA, <https://repositorij.vuka.hr/islandora/object/vuka:252/preview> 07.09. 2021
- Runko Luttenberger, Lidija, GOSPODARENJE VODOM I OTPADOM , Rijeka, 2011.
- Runko Luttenberger et al, The Viability of Short-Sea Shipping in Croatia, Zagreb, 2013
- Solving the Sludge Problem, Sludge News, <http://www.sludgenews.org/about/sludgenews.aspx?id=6>, 17.9.2008
- Valuing Decentralized Wastewater Technologies-A Catalog of Benefits, Costs, and Economic Analysis Techniques, Rocky Mountain Institute for EPA, November, 2004
- Water Pollution Control – A Guide to the Use of Water Quality Management Principles, WHO/UNEP, 1997.

.

## **POPIS IZVORA**

Response to Congress on Use of Decentralized Wastewater Treatment Systems, EPA,  
[www.p2pays.org/ref/07/06683.pdf](http://www.p2pays.org/ref/07/06683.pdf), 1997

Sustainable Wastewater Management – A handbook for smaller communities, Ministry for  
the Environment, New Zealand, 2003

Wikipedia – Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/w/index.php>

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Vodni ciklus.....	12
Slika 2.	Tri vode.....	13
Slika 3.	Promjena kakvoće vode uporabom.....	16
Slika 4.	Faze razvoja mikroorganizama.....	19
Slika 5.	Shema prokapnika .....	21
Slika 6.	Otoci republike Hrvatske .....	27
Slika 7.	Decentralizirani vodni koncept na primjeru kuće za odmor.....	32
Slika 8.	Tipični sustav koji se sastoji od taložnice i infiltracijskog polja .....	34

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Razine upravljanja malim sustavima.....	41
Tablica 2. Modeli za upravljanje dec. sus. otpadnih voda.....	41
Tablica 3. Usporedba troškova za centralizirani i decentralizirani sustav .....	43



