

# Projekt biljnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda

---

Človek, Daniel

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:971079>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-04**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**PROJEKT BILJNOG UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE  
OTPADNIH VODA**

Rijeka, lipanj 2024.

Daniel Človek

0069078066

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**PROJEKT BILJNOG UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE  
OTPADNIH VODA**

Mentor: Prof. dr. sc. Tomislav Senčić

Rijeka, lipanj 2024.

Daniel Človek

0069078066

Rijeka, 10. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za termodinamiku i energetiku**  
Predmet: **Goriva, maziva i voda**  
Grana: **2.11.02 procesno energetska strojarstvo**

## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: **Daniel Človek (0069078066)**  
Studij: **Sveučilišni diplomski studij strojarstva**  
Modul: **Termotehnika**

Zadatak: **Projekt biljnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda / Project of the residual water treatment biologic device**

### Opis zadatka:

Opisati razvoj, princip rada i vrste biljnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Potrebno je izraditi tehnički opis i projekt sustava za pročišćavanje otpadnih voda s biljnim uređajem za zbrinjavanje otpadnih voda turističkog naselja kapaciteta 1000 osoba. Dimenzionirati glavne dijelove te izraditi specifikaciju strojarske opreme. Izraditi shemu sustava, tlocrt, i detaljan presjek bazena za filtraciju i bazena za pročišćavanje.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.



Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:



Prof. dr. sc. Tomislav Senčić

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:



Izv. prof. dr. sc. Igor Bonefačić

## IZJAVA

Izjavljujem da sam ja, Daniel Človek, izradio ovaj diplomski rad „Projekt biljnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda/ Project of the residual wather treatment biologic device“ koristeći se vlastitim zanjem i navedenom literaturom.

## Sadržaj

1.	UVOD .....	1
2.	VODA .....	2
2.1	Molekula vode.....	2
2.2	Fizikalna i kemijska kvaliteta vode.....	4
2.3	Anorganski kemijski sadržaj .....	5
2.4	Organski kemijski spojevi.....	6
3.	FITOREMEDIJACIJA .....	8
3.1	Fitoremedijacija.....	8
3.2	Mehanizmi fitoremedijacije .....	9
3.3	Uklanjanje teških metala .....	10
4.	BILJNI UREĐAJI .....	11
4.1.	Primjena biljnih uređaja .....	11
4.2	Biljni uređaji sa slobodnim vodenim licem- BUSV.....	11
4.3	Biljni uređaji sa podpovršinskim tokom-BUTP.....	12
4.3.1.	Biljni uređaji s vertikalnim podpovršinskim tokom- BUVPT .....	13
4.3.2.	Biljni uređaji s horizontalnom podpovršinskim tokom- BUHPT .....	14
4.4	Brtvljenje biljnih uređaja.....	16
4.5	Biljke .....	16
4.6	Pogon i održavanje .....	17
4.7	Opterećenje BU .....	18
5.	Dimenzioniranje BU .....	19
5.1.	Hidraulički i tehnološki parametri.....	19
5.2	Objekti prethodnog pročišćavanja.....	22
5.3	Objekti biološkog pročišćavanja otpadnih voda .....	26
5.3	Dimenzioniranje cjevovoda.....	30
5.3.1.	Proračun crpke dionice 1 .....	33
5.3.2.	Proračun crpke dionice 2 .....	37
5.3.3.	Proračun crpke dionice 3 .....	40
6.	POPIS I TROŠKOVNIK STROJARSKE OPREME.....	45
7.	ZAKLJUČAK .....	47
8.	LITERATURA .....	48
9.	POPIS SLIKA .....	50
10.	POPIS TABLICA .....	51
	Sažetak i ključne riječi na hrvatskom.....	52

Abstract and key words .....	53
Popis priloga.....	54

## 1. UVOD

U suvremenom društvu, pitanje očuvanja životne sredine postaje jedan od vodećih ciljeva, a jedan od ključnih izazova s kojima se suočavamo je pitanje otpadnih voda. Otpadne vode predstavljaju kompleksan i ozbiljan ekološki problem koji ima direktan utjecaj na kvalitetu života ljudi, životinja, biljaka i eko sustava. Različiti izvori zagađenja, industrijske i poljoprivredne aktivnosti, urbani razvoj i sam moderan način života doprinose povećanju zagađujućih čestica u vodama, čime se narušava njihova prirodna čistoća. Obrada otpadnih voda može se definirati kao proces povećanja kvalitete vode u svrhu korištenja ili njezinog povratka u prirodu bez utjecaja na okolinu.

Fitoremedijacija je tehnologija koja koristi biljke i rizosferu za transformaciju i stabilizaciju organskih i anorganskih spojeva u tlu, sedimentima, podzemnim vodama i atmosferi. Rizosfera je usko područje tla ili supstrata koje izravno utječu korijenje i pridruženi mikroorganizmi. Termin fitoremedijacija potječe od grčke riječi "phyto", što znači biljka, i latinskog sufiksa "remedium", što znači sposobnost liječenja ili obnove. Fitoremedijacija vode provodi se primjenom biljnih uređaja (BU), koji predstavljaju alternativno tehnološko rješenje za pročišćavanje sanitarnih otpadnih voda. BU su umjetno oblikovane močvare dizajnirane za stvaranje povoljnih uvjeta za pročišćavanje otpadnih voda koje kroz njih protječu. Ovaj proces, koji se odvija u prirodnim vodenim sustavima, uključuje složenu interakciju vode, biljaka, životinja, mikroorganizama i okolišnih faktora, što rezultira poboljšanjem kvalitete vode.

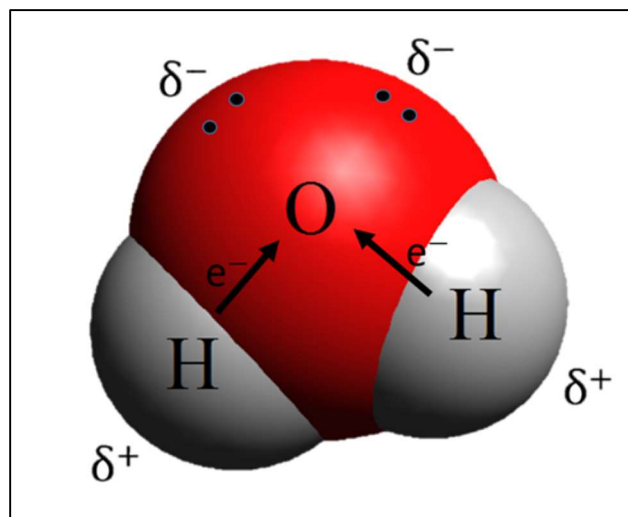
Ovaj rad ima za cilj istraživanje i analizu obrade otpadnih voda pomoću fitoremedijacije te njezinu primjenu i projekt za naselje od 1000 stanovnika. Projektiranje BU je multidisciplinarni projekt koji objedinjuje područja kemijskog inženjerstva, građevine, strojarstva, elektrotehnike i hortikulture, a od kojih će sve navedeno biti obrađeno u nastavku, s naglaskom na strojarско područje.



## 2. VODA

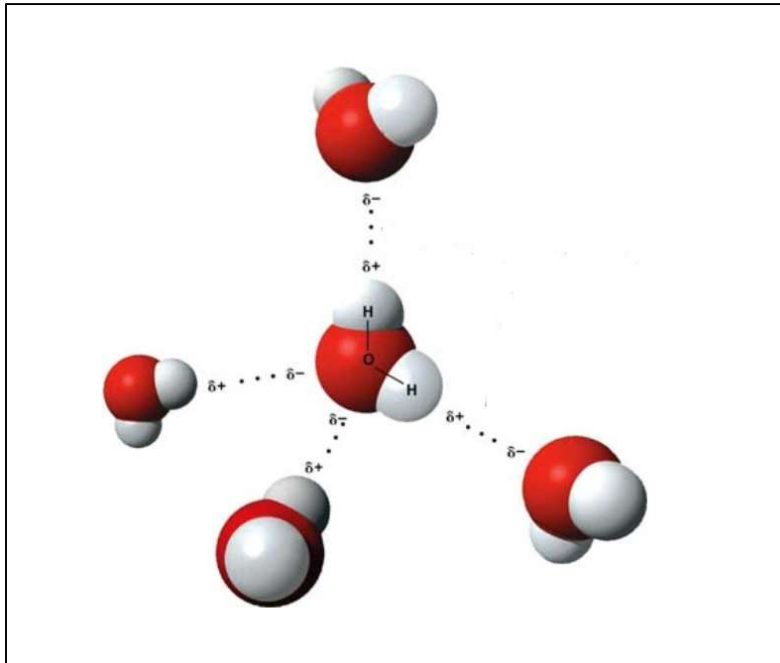
### 2.1 Molekula vode

Molekula vode se sastoji od jednog atoma kisika i dva atoma vodika koji su međusobno povezani kovalentnim vezama. Specifična je po svojoj asimetričnoj raspodijeli atoma vodika iz čega poprima svoja specifična svojstva. Jedno od osnovnih svojstava molekule vode je njezin polaritet. Zbog raspodijele vodika u molekuli voda poprima djelomično pozitivan naboj na strani vodika i djelomično negativan naboj na strani kisika (Slika 1.).



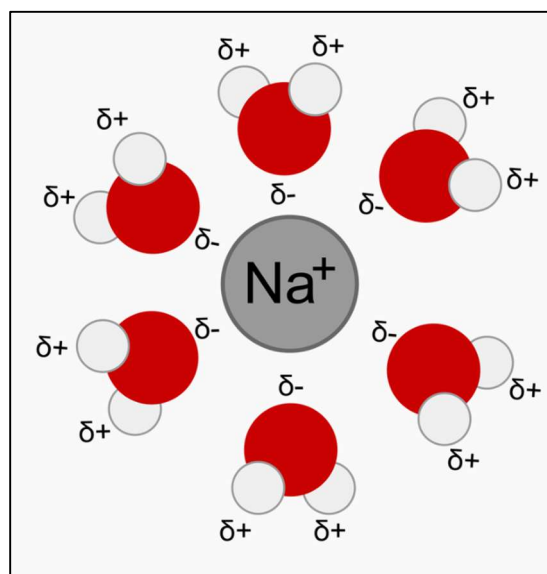
*Slika 2.1. Molekula vode [13]*

Privlačna interakcija dvaju molekula između atoma vodika jedne molekule i slobodnog elektrona kisika druge molekule stvara vodikovu vezu (Slika 2.). Vodikove veze stvaraju jaku privlačnu silu između molekula vode iz kojih proizlazi mnogo jedinstvenih svojstva vode. Zbog vodikovih veza, voda se razlikuje od molekula sličnih molekularnih masa, voda ima višu granicu taljenja i granicu isparavanja. Iz istog razloga mogu se objasniti specifična svojstva vode koja su: gustoća, veliki toplinski kapacitet, površinska napetost, viskoznost i druge.



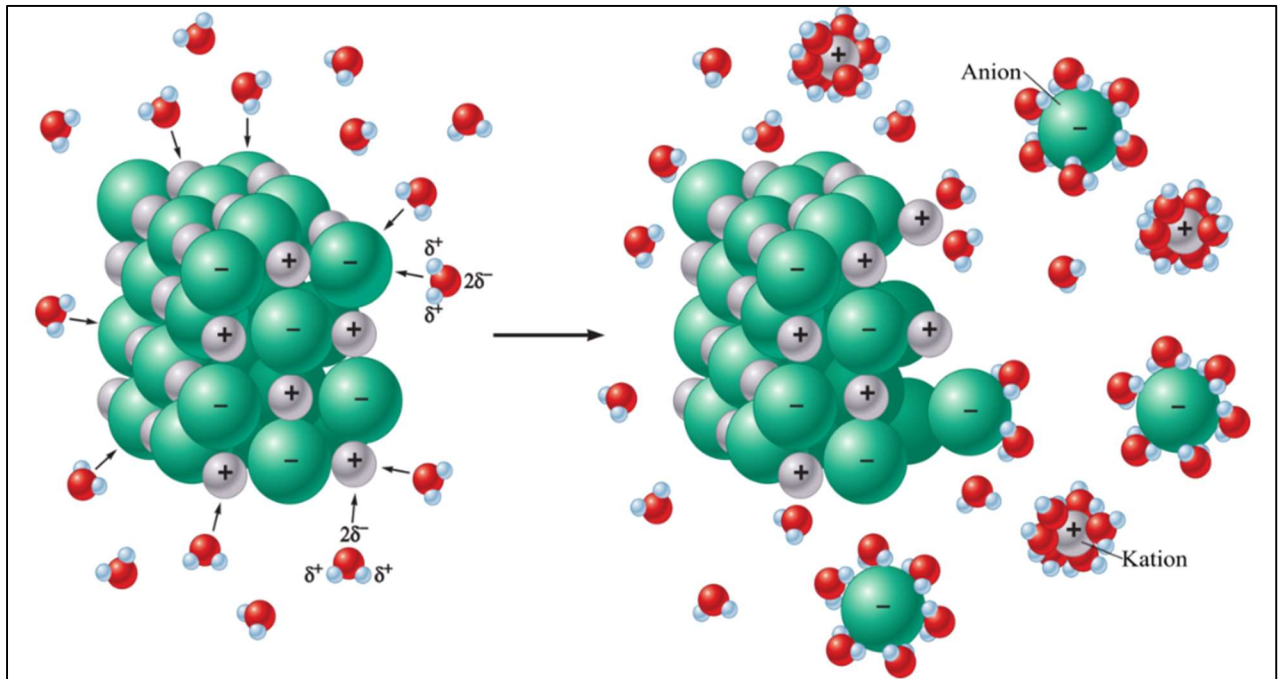
*Slika 1.2. Vodikove veze vode [14]*

Jedno od važnih svojstva koje proizlaze iz njezine bipolarnosti je velika topivost različitih materijala u vodi. Iz tog razloga proizlazi njezina široka uporaba u različitim procesima, industrijskim i kućim. Interakcija vode sa drugim tvarima različitih veličina i svojstava onečišćuju vodu (Slika 3.). Disperzirane i otopljenje tvari u vodi mijenjaju njezina svojstva kao što su boja, miris, okus, električna vodljivost i drugo.



*Slika 2.3. Hidratizacija [15]*

Topljivost je svojstvo tvari da sa drugom tvari tvori homogenu smjesu. Voda kao otapalo može otopiti krutine, kapljevine i plinove. Prvi dio procesa je disocijacija tvari, odnosno razdvajanje tvari na slobodne ione i slobodne molekule nakon čega slijedi hidratacija tvari, odnosno vezivanje sa molekulama vode.



*Slika 2.2. Disocijacija i hidratacija [16]*

## 2.2 Fizikalna i kemijska kvaliteta vode

Prvi dojam kvalitete vode bazira se na fizičkim prije nego na kemijskom ili biološkim karakteristikama. Parametri koji se koriste za ocjenu kvalitete vode su: zamućenost, bistroća, broj i vrsta čestica u vodi, miris, okus, boja i temperatura.

Bistroća vode mjeri se količinom svjetla koja se apsorbira prilikom prolaska kroz vodu pri određenoj valnoj duljini. Prema Beer-Lambertovom zakonu, količina svjetla koje je voda apsorbirala proporcionalna je količini apsorbiranog sadržaja i ovisi o valnoj duljini svjetla koji prolazi kroz vodu. Kao referentna vrijednost uzima se količina apsorbiranog svjetla u destiliranoj vodi.

Čestice otopljene u vodi, definiraju se kao čestice veće od molekule koje nisu vidljive golim okom ali mogu biti nakupljene. Čestice u vodi bitne su iz više razloga, kao što su njihov utjecaj na proces obrade vode tako i na potencijalno ugrožavanje zdravlja preko čestica povezanih sa patogenima. Takve čestice najčešće mogu proizlaziti iz industrijskih i poljoprivrednih aktivnosti. Količina i veličina čestica prisutnih u vodi moguće je mjeriti promjenom električnog otpora vode.

Temperatura vode bitna je iz razloga što ima direktan utjecaj na mnoge parametre koji utječu na projekt pročišćivača vode. Parametri uključuju gustoću, viskoznost, tlak pare, površinsku napetost, topljivost, mogućnost zasićenja sa plinovima u vodi, i stope kemijskih, biokemijskih, i bioloških aktivnosti.

### 2.3 Anorganski kemijski sadržaj

Voda može sadržavati različite koloidne i suspendirane anorganske i organske čestice, otopljenog sadržaja i plinova. Anorganski sadržaj koji se najčešće nalazi u vodi sadrži kalciji, magneziji, natriji, kaliji, bikarbonat, kloride, sulfate i nitrate, dok su rjeđi sadržaji željeza, olovo, bakar, arsen i mangan. Različite kemijske veličine mogu se uzeti u obzir za ocjenu otopljenih anorganskih čestica u vodi, kao što su pH vrijednost, tvrdoća vode, ukupne otopljene čiste tvari i električna vodljivost.

Anorganske tvari mogu dospjeti u sanitarne vode putem različitih izvora i procesa, a neki od njih jesu:

- Industrijski ispušni tokovi koji koriste anorganske tvari u svojim procesima kao što su proces proizvodnje, hlađenje, pranje opreme i drugih aktivnosti
- Komunalni otpad iz kućanstava, komercijalnih objekata i institucija mogu sadržavati anorganske tvari iz deterdženata, čišćenja i drugih kućanskih proizvoda.
- Anorganske tvari poput dušičnih gnojiva, fosfatnih gnojiva i pesticida mogu dospjeti u sanitarne vode kao rezultat ispiranja poljoprivrednih polja kišnicom ili navodnjavanjem
- Otpadne vode koje dolaze sa deponija otpada mogu sadržavati anorganske tvari
- Izlivanjem nafte i goriva, anorganske tvari poput teških metala i drugih spojeva mogu dospjeti u vode sa cesta ili iz industrijskih postrojenja
- Iz sanitarnih sustava

Najčešći organski spojevi koji se mogu pronaći u sanitarnim vodama jesu različite vrste metala, soli i drugi kemijski spojevi poput:

- Nitrati- uglavnom iz poljoprivrednih područja koja koriste dušična gnojiva
- Fosfati- iz deterdženata, industrije i poljoprivrede
- Kloridi- zbog uporabe soli i iz industrijskih procesa
- Sulfati- iz industrijskih postrojenja i poljoprivrednih aktivnosti
- Teški metali- zbog industrijske aktivnosti, rudarstva ili izlivanja otpada

## 2.4 Organski kemijski spojevi

Sanitarna voda može sadržavati različite organske spojeve koji su otopljeni ili suspendirani u vodi. Organski sadržaj koji se najčešće nalazi u vodi sadrži ugljikohidrate, masti, ulja, bjelančevine, pesticide, herbicide fenole i različita organska otapala. Različite metode mogu se koristiti za mjerenje koncentracije otopljenih organskih tvari u vodi kao što su spektrofotometrija, biosenzori, oksidacijski testovi i kromatografske tehnike.

Organske tvari mogu dospjeti u otpadne vode prirodnim putem ili zbog ljudskih aktivnosti, a neki od njih jesu:

- Industrijski ispušni tokovi koji mogu proizlaziti iz procesa proizvodnje, pranja opreme ili drugih industrijskih aktivnosti
- Komunalni otpad koji kućanstva ili komercijalni objekti ispuštaju, ovo može uključivati kuhinju, kupaonicu ili pranje rublja
- Iz poljoprivrede uporabom pesticida, herbicida i gnojiva
- Otpadne vode iz prometa, ceste i prometne infrastrukture koje se mogu zagaditi uljima i gorivom iz vozila
- Otpadne vode koje se generiraju na deponijima
- Atmosferski unos u obliku prašine ili aerosola

Najčešći organski spojevi koji se mogu naći u otpadnim vodama jesu:

- Ugljikohidrati- uglavnom iz kućanskih otpadnih voda
- Masti, ulja i voskovi- iz kućanstva i prehrambene industrije
- Bjelančevine- podrijetlom iz fecesa i urina, hrane, deterdženata i drugih izvora

- Fenoli- iz industrijskih postrojenja koje koriste kemikalije
- Organski spojevi sa dušikom- koji dolaze iz otpadnih voda u poljoprivredi i industriji
- Organska otapala- iz industrijskih procesa
- Teški metali- iz industrijskih otpadnih voda
- Pesticidi i herbicidi- korištena u poljoprivredi

## 3. FITOREMEDIJACIJA

### 3.1 Fitoremedijacija

Pojam fitoremedijacije označava skup postupaka u kojima biljke koriste svoje enzime i mikroorganizme prisutne u zoni korijena za izolaciju, transport, detoksikaciju i mineralizaciju ksenobiotika u tlu, smanjujući njihovu koncentraciju, pokretljivost ili toksičnost. Ova metoda se primjenjuje za uklanjanje nepoželjnih tvari poput teških metala, radionuklida (radioaktivnih izotopa) i organskih ksenobiotika. Ksenobiotici u sanitarnim vodama su tvari strane prirodnim ekosistemima i nisu prisutne u prirodi.

Fitoremedijacija se u literaturi navodi kao tehnologija koja se počela istraživati i koristiti 1980-ih godina, iako su njezini tehnički koncepti dugo prisutni u melioraciji tla, agronomiji i očuvanju okoliša. Biljke su se stoljećima koristile za sprječavanje erozije tla, obradu otpada i očuvanje kvalitete vode. Od početka istraživanja ove tehnologije postignuti su veliki napreci u razumijevanju mehanizama i mogućnosti primjene fitoremedijacije, što je dovelo do mnogih implementacija i priznavanja kao inovativne metode.

Prednosti primjene ove tehnologije uključuju visoku učinkovitost pri niskim koncentracijama zagađujućih tvari, ekološku prihvatljivost, ekonomičnost, estetsku prihvatljivost te prihvaćenost od strane javnosti. Izvanredna ekološka prihvatljivost proizlazi iz sposobnosti biljaka da uklone zagađujuće tvari bez negativnih utjecaja na okolno tlo. Troškovi projektiranja, izvedbe i održavanja su daleko niži u usporedbi s drugim metodama remedijacije vode i tla. Estetska prihvatljivost je važna u urbanim i turističkim područjima, a zajedno s neinvazivnošću postupaka doprinosi prihvaćenosti od strane javnosti.

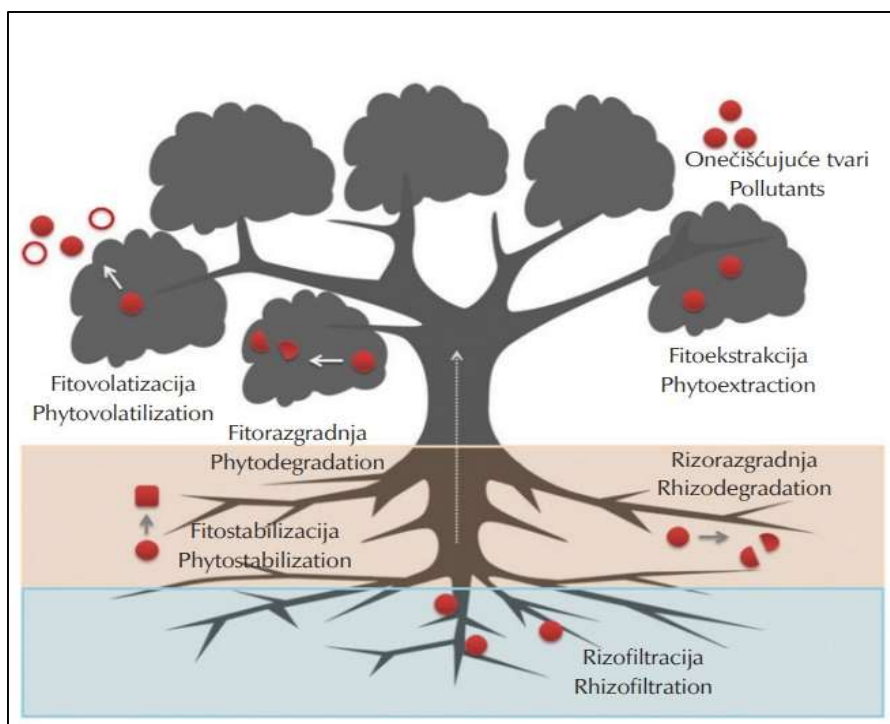
Međutim, fitoremedijacija ima i svoja ograničenja, domena primjene fitoremedijacije je ograničena sa dubinom korijenja biljaka, smanjena učinkovitost kod visokih koncentracija zagađujućih tvari, zahtjeva više vremena obrade u usporedbi s fizikalno-kemijskim procesima, potencijalne toksičnosti i nepredvidivih svojstava nastalih produkata, promjenjivih rezultata, te rizika da zagađujuće tvari i njihovi razgradni produkti uđu u prehrambeni lanac.

### 3.2 Mehanizmi fitoremedijacije

Fitoekstrakcija podrazumijeva apsorpciju zagađujućih tvari iz tla ili vode kroz korijenski sustav biljaka, njihov prijenos kroz vaskularna tkiva i akumulaciju u biljnim izbojcima, čime se čiste tla i vode zagađeni teškim metalima. Fitofiltracija je proces uklanjanja zagađujućih tvari iz vodenih medija, uključujući površinske i otpadne vode. Ovisno o dijelu biljke koji je odgovoran za uklanjanje, fitofiltracija se dijeli na rizofiltraciju (korijen), blastofiltraciju (sadnice) i kaulofiltraciju (izdanci). Tijekom fitofiltracije, zagađujuće tvari se apsorbiraju i adsorbiraju na biljno tkivo. Fitofiltracija u vodenom mediju ekvivalentna je fitostabilizaciji u tlu, koja podrazumijeva postavljanje biljnog pokrova na kontaminirano tlo kako bi se zagađujuće tvari akumulirale u korijenju.

Fitovolatilizacija je proces u kojem biljke unose zagađujuće tvari, pretvaraju ih u hlapljive oblike i oslobađaju ih transpiracijom u atmosferu. Voda koja sadrži otopljene zagađujuće tvari apsorbira se kroz korijenje biljaka i isparava u obliku vodene pare kroz puči, prebacujući zagađujuće tvari iz tla u atmosferu bez njihova uklanjanja.

Fitorazgradnja se odnosi na razgradnju i metaboliziranje organskih ksenobiotika kroz unos tih tvari u biljna tkiva.



Slika 3.1. Mehanizmi Fitoremedijacije [2]



### 3.3 Uklanjanje teških metala

Teški metali obuhvaćaju metale i polumetale čija gustoća prelazi  $5 \text{ g/cm}^3$ , izuzeto arsen, bor i selenij također su uključeni u ovu kategoriju iako je njihova gustoća manja. Teški metali predstavljaju najkompleksniju i najtrajnijiu vrstu zagađivača u prirodi, pogoršavajući kvalitetu zraka, vode i usjeva te ugrožavajući zdravlje biljaka, životinja i ljudi. I esencijalni i neesencijalni teški metali postaju toksični pri visokim koncentracijama.

Za razliku od većine organskih spojeva, metali se ne razgrađuju metaboličkim procesima, zbog čega se nakupljaju u tkivima organizama. Biljke imaju specifične i učinkovite mehanizme za unos esencijalnih metala, uključujući proizvodnju kelatnih spojeva. Kelati su kemijski kompleksi gdje je metalni atom ili ion koordinacijski povezan s dva ili više atoma iste molekule, formirajući prstenaste strukture. Zbog svoje stabilnosti, kelati su učinkovit način uklanjanja metalnih atoma iz okoliša. Kelatna sredstva provode oksidacijsko-redukcijske reakcije i mijenjaju pH vrijednost čime olakšavaju biljnom korijenju otapanje i unos teško topljivih esencijalnih metala čak i u niskim koncentracijama.

Teški metali, iako primarno toksični, ne djeluju jednako na sve biljke. Kada su izložene teškim metalima, biljke mogu manifestirati ili osjetljivost ili rezistentnost. Osjetljivost može dovesti do oštećenja ili čak smrti biljke, dok rezistentnost omogućuje biljkama da prežive u uvjetima visoke koncentracije metala. Rezistentnost uključuje strategije poput izbjegavanja unosa teških metala u nadzemne dijelove biljke, aktivnog izlučivanja iz tijela i razvijanje veće tolerancije na unos metala.

## 4. BILJNI UREĐAJI

### 4.1. Primjena biljnih uređaja

Biljni uređaj (BU) za pročišćavanje otpadnih voda zapravo je oblikovana i izgrađena močvara u kojoj se stvaraju uvjeti kojima se poboljšava pročišćavanje otpadnih voda koje kroz njih protječu. Odražavaju procese koji se odvijaju u prirodnim vodenim sustavima, BU je složeni sustav u kojemu uz interakciju vode, biljaka, životinja, mikroorganizma, gljiva i okolišnih faktora dolazi do poboljšanja kvaliteta vode. Njihovom interakcijom u kontroliranim i pripremljenim uvjetima, dolazi do fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa unutar BU koji za posljedicu imaju poboljšanje kvalitete vode uklanjanjem otpadnih tvari iz sirove otpadne vode. Jednostavan rad, visoka učinkovitost, relativno niski troškovi izgradnje, pogona i održavanja karakteriziraju BU i nameću ga kao jednu od tehnologija koja će se sve više primjenjivati u budućnosti. Njihova atraktivnost, estetske i ekološke vrijednosti te neinvazivnost postupka dodatno pridonose odobravanju od strane javnosti. BU se primarno koriste za obradu kućanskih sanitarnih otpadnih voda manjih naselja a uz to imaju i uspješnu primjenu i na obradu industrijskih otpadnih voda, otpadnih voda sa prometnica i otpadnih voda iz poljoprivrede.

Dva su osnovna tipa BU, koji se razlikuju prema tipu protoka otpadne vode kroz njih:

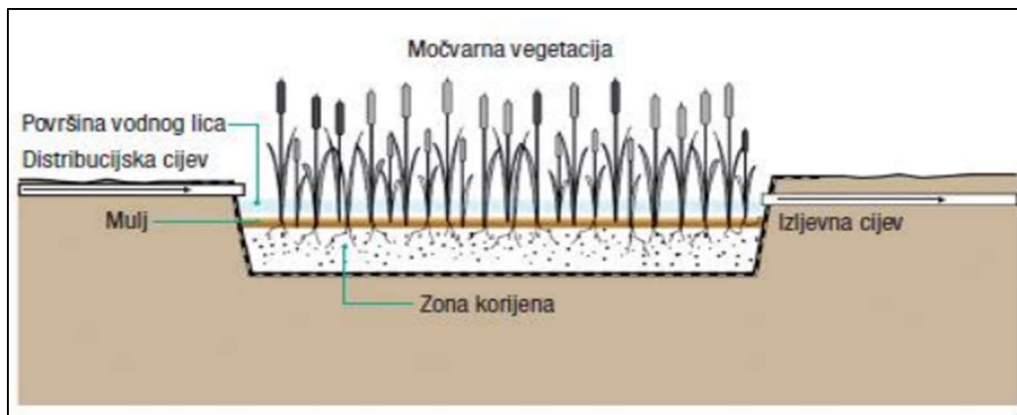
- Biljni uređaji sa slobodnim vodenim licem
- Biljni uređaji sa podpovršinskim tokom

Kod oba tipa uređaja obavezno je osigurati prethodno pročišćavanje sirove otpadne vode. Pri tome je u sklopu predtretmana važno postići učinkovito uklanjanje suspendiranih tvari te ulja i masti primjenom višekomornih septičkih tankova (karakteristično za manje uređaje) ili taložnicima (karakteristično za veće uređaje). Zbog mogućnosti djelomičnog gubitka vode u tlo, dno biljnih uređaja treba biti nepropusno ili slabo propusno. Primjenjuje se slabo propusna glina ili vodonepropusna obloga od sintetskih materijala kojom se obloži uređaji.

### 4.2 Biljni uređaji sa slobodnim vodenim licem- BUSV

Sastoji se od plitkih močvarnih bazena kroz koje otpadne vode relativno sporim slobodnim tokom teku prema ispustu, a površina vode direktno je u doticaju sa atmosferom

(slika 4.1). Određeni dio površine BU prekriven je vegetacijom koja ima esencijalnu ulogu u procesima pročišćavanja i funkcioniranja uređaja.



Slika 4.1. Biljni uređaj sa slobodnim vodenim licem [7]

Dotjecanje prethodno izbistrene vode u BUSV može biti slobodno kada je distribucijski cjevovod položen iznad površine vodenog lica i potopljen kada je distribucijski cjevovod položen unutar vodenog stupca. U oba slučaja potrebno je osigurati ravnomjernu raspodjelu vode po čitavom presjeku kako bi se izbjeglo stvaranje mrtvih zona. U današnjoj se praksi BUSV koristi kao posljednji bazen kod izvedbe tzv. hibridnih BU sa više serijskih povezanih bazena gdje on preuzima funkciju polirajućeg bazena. Uloga polirajućeg bazena je uklanjanje preostalih zagađivača kao što su nitrati i fosfati, metale i organske zagađivače koji nisu uklonjeni u prethodnim fazama. Ovi bazeni pomažu stabilizaciji kvalitete vode kao što je regulacija pH vrijednosti, smanjenje suspendiranih čestica i poboljšanje bistrine vode prije samog ispuštanja u prirodne vodene tokove ili ponovnog korištenja.

#### 4.3 Biljni uređaji sa podpovršinskim tokom-BUTP

BUTP su plitki bazeni, obloženi vodonepropusnim materijalom i ispunjeni poroznim supstratom. Uobičajena je primjena pijesaka, šljunaka i/ili kamena odgovarajuće granulacije za ulogu poroznog supstrata. U ovakvim biljnim uređajima, prolaskom otpadnih voda kroz supstrat dolazi do poboljšanja kvalitete vode putem filtracije, sorpcije, taloženja i biološke razgradnje organskih tvari.

Ovisno o smjeru tečenja otpadne vode kroz bazen (supstrat), BUPT mogu se podijeliti na :

- Biljni uređaji s vertikalnim podpovršinskim tokom (Slika 4.2)

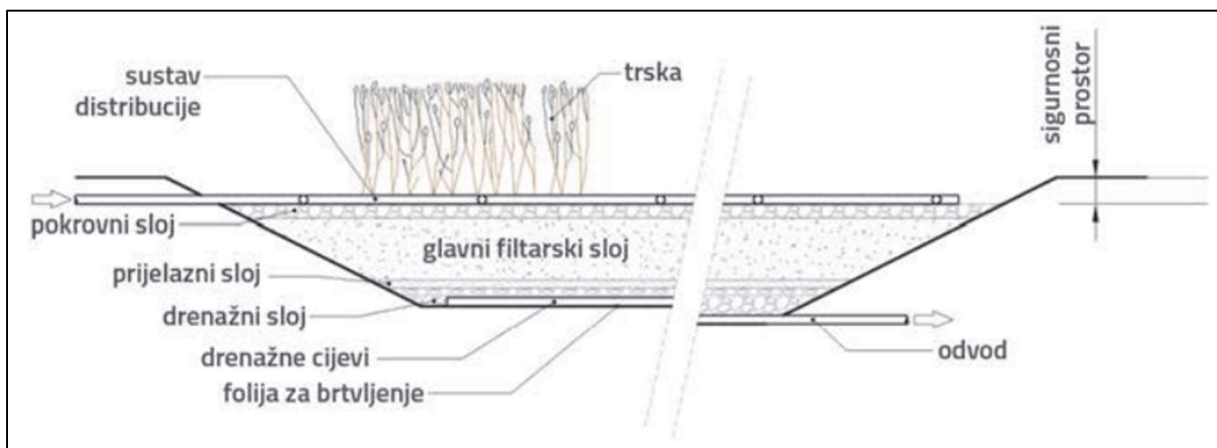
- Biljni uređaji s horizontalnim podpovršinskim tokom (Slika 4.3)

#### 4.3.1. Biljni uređaji s vertikalnim podpovršinskim tokom- BUVPT

Kod BUVPT-a, prethodno izbistrena voda ravnomjerno se raspoređuje po cijeloj površini unutar gornjeg sloja supstrata pomoću distribucijskog cjevovoda. Voda istječe kroz male otvore na cijevi, koji su bušeni na odgovarajućim razmacima. Zatim, pod utjecajem gravitacije, otpadna voda vertikalno se kreće prema ispusnoj cijevi smještenoj na dnu bazena, pri čemu se odvija proces pročišćavanja.

Ovakav tip BU sastoji se od tri karakteristična sloja supstrata odgovarajuće debljine i svojstava (Slika 4.2)

- Površinski sloj sa supstratom od krupnog šljunka
- Središnji sloj sa supstratom od pijeska (srednje do krupne granulacije)
- Pridneni drenažni sloj sa supstratom od krupnog šljunka



*Slika 4.2. Biljni uređaji s vertikalnim podpovršinskim tokom [4]*

Središnji filtarski sloj je najaktivniji u procesu pročišćavanja otpadne vode te zauzima najveći volumen supstrata. Najdublji sloj je drenažni sloj koji ima funkciju skupljanja i odvođenja procijeđene i pročišćene vode kroz drenažni sloj koji se polaže unutar njega. Taj je sloj sa površinske strane obložen geotekstilom čija je funkcija sprječavanje ispiranja supstrata

iz središnjeg sloja. U pogonskim uvjetima potrebno je osigurati konstantnu potopljenost drenažnog sloja u iznosu od 90%-100% njegove visine.

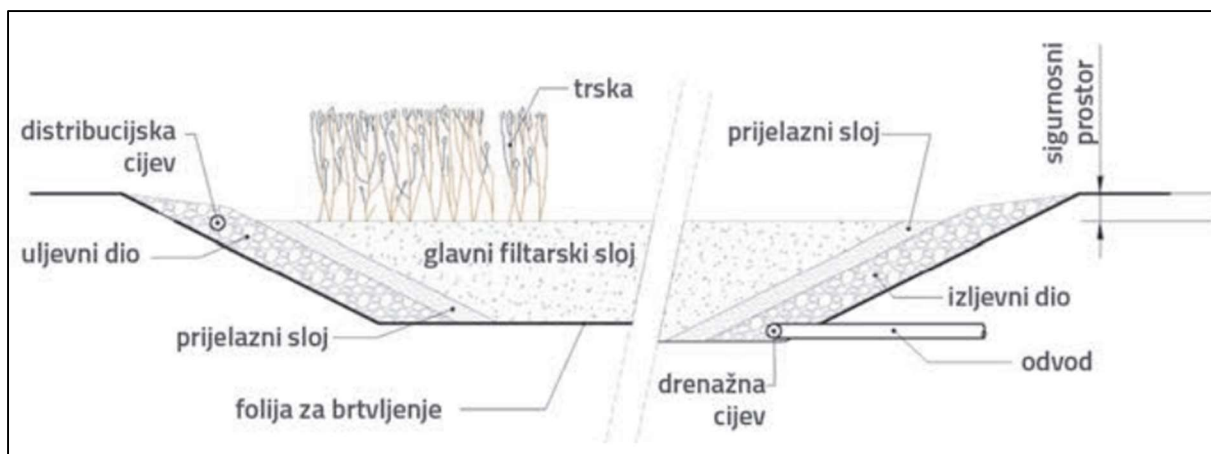
Kod rada BUVPT-a ključno je redovito doziranje otpadne vode, pri čemu se uređaj uranja u vodu nekoliko puta dnevno. U okviru BUVPT-a, u dolazni cjevovod se integrira manja crpka koja ciklički pumpa izbistrenu vodu preko cijele površine u određenim intervalima. Tijekom pauze između dotjecanja vode, omogućuje se prozračivanje središnjeg filtarskog sloja kako bi se održali aerobni uvjeti za razgradnju organske tvari i postigla nitrifikacija, što je od velike važnosti.

#### 4.3.2. Biljni uređaji s horizontalnom podpovršinskim tokom- BUHPT

BUHPT su bazeni kod koji otpadna voda teče u horizontalnom smjeru, ispod površine, od uljevnog dijela koji je položen na gornjem dijelu prema izljevnom koji je položen na donjem dijelu bazena kroz porozni supstrat (slika 4.3). Prethodno izbistrenu vodu moguće je distribuirati u bazen u dva režima rada, kontinuirano ili isprekidano, ovisno o terenskim prilikama i konfiguraciji cjelokupnog uređaja gdje se distribucija događa plitko ispod površine bazena. Neovisno u režimu rada bitno je postići ravnomjernu raspodjelu otpadne vode po presjeku uređaja što je neophodno za njegov optimalni rad.

Tijelo BUHPT-a podijeljeno je u tri karakteristične zone odgovarajuće debljine i karakteristike supstrata (promatrano od uljevnog prema izljevnom dijelu):

- Uljevni dio- supstrat krupne granulacije (krupni šljunak i kamen)
- Glavni središnji filteski dio- supstrat od sitnijeg šljunka
- Izljevni drenažni dio- supstrat krupnije granulacije (krupni šljunak i kamen)



Slika 4.3. Biljni uređaji s horizontalnim podpovršinskim tokom [4]

Istjecanje otpadne vode je osigurano kroz male otvore koji se buše na cijevi, u odgovarajućim razmacima, smještenim u uljevnom dijelu bazena gdje se procjeđuje kroz supstrat krupnije granulacije. Tečenje se nastavlja kroz glavni središnji filtarski dio gdje je tečenje potpomognuto malim uzdužnim padom dna uređaja. Središnji filtarski dio zauzima najveći volumen uređaja te je najaktivniji u procesu pročišćavanja otpadnih voda. Obradena voda u središnjem dijelu prikuplja se u izljevnom drenažnom dijelu supstrata krupne granulacije. Drenažni se cjevovod, položen na dno bazena, pomoću oblikovanih t-komada spaja na izljevne cijevi koje izlaze izvan tijela uređaja i završavaju na kontrolnim oknima ugrađenim uz samo tijelo BUHPT-a. Isplivavanje vode na samu površinu BUHPT-a potrebno je izbjeći.

Hibridni biljni uređaji (HBU) sustav je od dva ili više serijski povezanih bazena s različitim tipovima biljnih uređaja. Primjenom različitih tipova uređaja u seriji, svaki doprinosi svojim prednostima čime se postiže veća učinkovitost sustava u pročišćavanju otpadnih voda, posebno u uklanjanju dušika i patogenih mikroorganizama (bakterija i virusa).

BUVPT se zbog aerobnih uvjeta rada koriste za nitrifikaciju te se iz tog razloga kod HBU smještaju kao prvi u nizu. Zbog stalne potopljenosti BUHPT-a većim dijelom vladaju aerobni uvjeti razgradnje, dok se anaerobni uvjeti javljaju djelomično uz samo korijenje močvarne vegetacije. U anaerobnim uvjetima omogućen je proces denitrifikacije, ako je tomu prethodila nitrifikacija. Iz tog se razloga BUHPT smješta nakon BUVPT-a.

#### 4.4 Brtvljenje biljnih uređaja

BU potrebno je brtviti na dnu i bočnim stranicama kako bi se osiguralo kontinuirano protjecanje otpadne vode kroz uređaj, spriječilo nekontrolirano procjeđivanje otpadne vode u podzemlje i po potrebi osigurao kontrolni uspon. Brtvljenje uređaja može se osigurati prirodnim putem u slučaju da je temeljno tlo od gline dovoljne debljine (50 do 60 cm) i nepropusnosti manje od  $k_f < 10^{-7}$  m/s ili umjetno. U tom slučaju moguće je koristiti slijedeće postupke brtvljenja:

- Mineralnim tvarima
- Plastičnim folijama
- Betonom

U praksi se brtvljenje proteže i na sigurnosni prostor kako bi se, prema potrebi, omogućilo plansko potapanje (da se spriječi rast korova pri puštanju u pogon). U slučaju primjene plastične folije, na području sigurnog prostora folija štiti odgovarajućim pokrovom. Najčešće se koriste folije od polietilena (otporna na UV zrake), ali se mogu koristiti folije od sintetičkog kaučuka ili PVC folije. Spajanje pojedinih folija provodi se zavarivanjem. Debljina folije mora biti veća od 1 mm (preporuka 2,0 mm). Prodori cijevi kritične su točke u brtvljenju te im se treba posvetiti dodatna pažnja. Folije je potrebno zaštititi od oštećenja (npr. oštih rubova kamena) primjenom pješčanog sloja ili geotekstilom.

#### 4.5 Biljke

Iako biljke u procesu pročišćavanja imaju tek podređenu ulogu (jer biološko pročišćavanje provode mikroorganizmi), ipak su bitni sastavi BU. Njihova je glavna uloga održavanje propusnosti filtarskog tijela, jer rastom korijenja i rizoma sprječavaju začepljenje filtra, osim toga područje uz korijenje biljke povoljno je za rast i razvoj mikroorganizma. Biljke koje se najčešće odabiru su autohtone močvarne biljke u koje spadaju trska, rogoz, uspravni ježinac, obični oblič, žuta purenika, šaš, bještac i dr. Glavne karakteristike vegetacije za BU je njihova široka rasprostranjenost i prilagođenost uvjetima, uključujući i primjena kod niskih temperatura. Glavne uloge močvarne vegetacije :

- Povećanje površine za razvoj mikroorganizama u sustavu korijenja

- Prijenos kisika u zonu korijenja
- Pridonosi pročišćavanju otpadnih voda vezujući dio otpadnih tvari na sebe
- Osiguravaju rahljenje supstrata održavajući hidrauličku provodljivost i osiguravaju prijenos kisika
- Uginula vegetacija osigurava hranu za rast mikroorganizma
- Tijekom razdoblja niskih temperatura djeluje kao toplinski izolator i sprječava smrzavanje vode
- Doprinosi estetskoj vrijednosti

Najčešći odabir je trska, koja je jedina močvarna biljka čije korijenje prodire dublje od 50 cm, a neosjetljiva je na promju razine vode i opterećenje hranjivim tvarima. Trska se širi horizontalno dok je za njezino korijenje potrebno stvoriti takve uvjete da raste vertikalno u dubinu. Ona ne zahtjeva redovitu košnju, jer njezine mladice mogu izrasti kroz stelju. Njezino održavanje i košnju preporučeno je odraditi u proljeće prije izbijanja mladica. Ukoliko je BU projektiran za sezonsko korištenje, potrebno je osigurati dovod vode biljci kroz cijelu godinu. To se može osigurati recirkulacijom već pročišćene vode. Na biljnim gredicama dolazi do djelomične evaporacije otpadne vode, što može utjecati na povećanje koncentracije otpada u vodi. To može stvoriti krivu predodžbu o učinkovitosti BU. U slučaju slabe opskrbe vodom može doći do povećanog rasta korova, iz tog slijedi da je najbolja prevencija konstantna opskrba vodom.

#### 4.6 Pogon i održavanje

Za svaki biljni uređaji potrebno je pripremiti odgovarajuće upute za rad i održavanje, koje sadrže detalje i prikaz potrebnih kontrola i održavanja te njihovu učestalost. Pri pogonu uređaja moraju biti osigurani uvjeti za koje je uređaj projektiran, posebno u pogledu količine otpadnih voda i koncentracije onečišćenja. Primarna je kontrola rada uređaja, učinak pročišćenja otpadnih voda na izlazu iz samog uređaja. Najjednostavnija kontrola koja može upućivati na nepravilan rad je promjena boje vode i mirisa vode (moguća je blaga obojenost izlazne vode koja ne mora ukazivati na neispravan rad). Održavanje vegetacije ovisi o samom odabiru biljke te se prema njoj prilagodi učestalost košenja i drugo. Održavanje tehničke opreme uglavnom je vezano za održavanje distribucijskih vodova i crpki. Nužni su radovi na



održavanju građevina i uređajima za prvi stupanj pročišćavanja, posebno onih za pražnjenje i odvoz mulja.

U pravilu se kod svih uređaja za biološko pročišćavanje otpadnih voda, zimi biološki procesi odvijaju sporije. Bitno je izbjegavati zamrzavanje pojedinih dijelova uređaja. Što se tiče organske razgradnje, učinak pročišćavanja ostaje stabilan dok je nitrifikacija ovisnija o temperaturi i smanjuje se zimi. Opasnost od smrzavanja ovisi o količini otpadne vode, otopljenom sadržaju te o kanalizacijskoj mreži, vrsti kanalizacijskog sustava i duljini tečenja. Dodatnu pažnju treba posvetiti cjevovodu sustava da u području ugroženom od mraza ne dolazi do zadržavanja vode.

#### 4.7 Opterećenje BU

Poznavanje pojedinih pokazatelja kakvoće vode preduvjet je za oblikovanje i dimenzioniranje BU te za odabir najprikladnijeg konceptualnog rješenja. Stoga je poznavanje kakvoće vode ili procjena, ukoliko analiza nije moguća, iznimno važna u postupku planiranja i realizacije BU.

Pri tome se mjere vrijednosti slijedećih parametra:

- Temperatura otpadne vode
- pH vrijednost
- električna provodljivost
- ukupna raspršena tvar- RT
- taložive krutine
- biokemiskja potrošnja kisika- BPK
- kemijska potrošnja kisika- KPK
- ukupni dušik- N
- ukupni fosfor- P

Procjena kakvoće sanitarnih otpadnih voda iz kućanstava vrši se prema pokazatelju karakterističnih jediničnih vrijednosti koncentracija izraženih po ekvivalentu stanovnika (ES).

## 5. Dimenzioniranje BU

### 5.1. Hidraulički i tehnološki parametri

Sustav biljnog uređaja projektira se za obradu otpadnih voda turističkog naselja maksimalnog kapaciteta 1000 osoba. Proračun će se voditi prema maksimalnom broju uključenih korisnika te dodatnim tuđim vodama u iznosu od 30% vode korisnika. Prosječna potrošnja po stanovniku iznosi 120 l/dan.

Hidraulički parametri:

- Dnevno opterećenje sustava

$$Q_{spec} = 120 \text{ l/osoba/dan}$$

$$ES = 1000$$

$$Q_d = Q_{spec} * ES \quad (5.1)$$

$ES$  – ekvivalent u broju stanovnika

$Q$  – protok

$$Q_d = 120 * 1000 = 120000 \text{ l/dan} = 120 \text{ m}^3 / \text{dan}$$

- Tuđe vode – vode koje ne potječu direktno iz planiranog sustava ali ipak ulaze u njega i utječu na njegov ukupni protok

$$Q_{tu} = Q_d * 30\% \quad (5.2)$$

$$Q_{tu} = 120000 * 0.3 = 36000 \text{ l/dan} = 36 \text{ m}^3 / \text{dan}$$

- Ukupna količina otpadnih voda

$$Q_{uk} = Q_d + Q_{tu} \quad (5.3)$$

$$Q_{uk} = 120000 + 36000 = 156000 \text{ l/dan} = 156 \text{ m}^3 / \text{dan}$$

- Maksimalni satni protok – pri radu sustava očekuje se ne ravnomjerno dotjecanje vode iz razloga što se u određenom vremenu više koristi voda u kućanstvu (pr. danju i noću)

$$Q_{max,sat} = \frac{Q_d}{8} + \frac{Q_{tu}}{24} \quad (5.4)$$

$$Q_{max,sat} = \frac{120}{8} + \frac{36}{24} = 16,5 \text{ m}^3/h = 4,6 \text{ l/s}$$

- Kišni protok – u kišnom razdoblju dolazi do mogućeg povećanja maksimalnog satnog protoka zbog pridodavanja kišnice ukupnom protoku

$$Q_{max,ki} = 2 * \frac{Q_{st}}{8} + \frac{Q_{tu}}{24} \quad (5.5)$$

$$Q_{max,ki} = 2 * \frac{120}{8} + \frac{36}{24} = 31,5 \text{ c/h} = 8,75 \text{ l/s}$$

Biokemijska potrošnja kisika (BPK-5):

- BPK5 je mjerilo količine kisika u miligramima po litri (mg O<sub>2</sub>/l) koje mikroorganizmi potroše tijekom pet dana za razgradnju biorazgradivih organskih i mineralnih tvari prisutnih u vodi. Ova vrijednost raste proporcionalno s količinom kisika koji mikroorganizmi koriste, što je indikator razine onečišćenja.

Kemijska potrošnja kisika (KPK): -količina kisika koja se potroši za oksidaciju organskih i mineralnih tvari u vodi nekim kemijskim sredstvom. KPK tako obuhvaća i biorazgradive tvari koje se mjere BPK5 -om i oksidativne tvari koje nisu biološki razgradive. Ukupna suspendirana tvar (RT):

-količina mineralnih i organskih čestica raspršenih u vodi

Ukupni dušik (N):

-količina dušika otopljenog u vodi

Ukupni fosfor (P):

-količina fosfora otopljenog u vodi

Optrećenje otpadnom tvari:

- $BPK_{spec} - 5 (20^{\circ} C)$       60 g O<sub>2</sub>/ES/d
- $KPK_{spec}$                       120 g O<sub>2</sub>/ES/d
- $RT_{spec}$                          70 g/ES/d
- $N_{spec}$                             11 g/ES/d
- $P_{spec}$                             1,8 g/ES/d

BPK-5 - mjera za količinu kisika potrebnog za oksidaciju organskih tvari u vodi

Dnevni tereti onečišćenja:

$$BPK = BPK_{spec} * ES/1000 \quad (5.6)$$

$$BPK = 60 * 1000/1000 = 60 \text{ kg/dan}$$

$$KPK = KPK_{spec} * ES/1000 \quad (5.7)$$

$$KPK = 120 * 1000/1000 = 120 \text{ kg/dan}$$

$$RT = RT_{spec} * ES/1000 \quad (5.8)$$

$$RT = 70 * 1000/1000 = 70 \text{ kg/dan}$$

$$N = N_{spec} * ES/1000 \quad (5.9)$$

$$N = 11 * 1000/1000 = 11 \text{ kg/dan}$$

$$P = P_{spec} * ES/1000 \quad (5.10)$$

$$P = 1.8 * 1000/1000 = 1,8 \text{ kg/dan}$$

U nastavku će se uglavnom razmatrati slijedeći parametri :

- ukupna suspendirana tvar,  $RT_C$  [mg/l]

-  $BPK5_C$  [mg/l]

-  $KPK_C$  [mg/l]

Za navedene parametre, računске koncentracije u ulaznoj otpadnoj vodi su kako slijedi:

Sušni protok – period rada bez utjecaja kiše na protok

$$BPK5_C = 151 \text{ mg/l}$$

$$KPK_C = 302 \text{ mg/l}$$

$$RT_C = 176.1 \text{ mg/l}$$

Kišni protok – period rada na koji kišnica utječe na povećanje protoka

$$BPK = 79.4 \text{ mg/l}$$

$$KPK = 158.8 \text{ mg/l}$$

$$RT = 92.6 \text{ mg/l}$$

## 5.2 Objekti prethodnog pročišćavanja

Predtretman otpadnih voda ima funkciju bistrenja sirove otpadne vode, odnosno izdvajanje čestica raspršenih tvari, ulja i masti, prije dotjecanja otpadne vode do BU. Učinkovitost predtretmana otpadnih voda osnovni je preduvjet uspješnog i učinkovitog funkcioniranja BU i postizanja zadovoljavajućeg stupnja pročišćavanja.

1. **Automatska gruba rešetka** prvi je stupanj pročišćavanja; ona koristi za odvajanje otpada većih dimenzija koji nije otopljen u sanitarnim vodama. Odabrana je rešetka čije osnovne karakteristike jesu:

- Protočni kapacitet,  $Q_{max} = 10 \text{ l/s}$
- Razmak štapova,  $e = 20 \text{ mm}$
- Materijal izrade, nehrđajući čelik AISI 304
- Čišćenje sakupljenih tvari, automatski sa odstranjivanjem sakupljenih tvari u kontejner

2. **Septički tank**, se izvodi kao višekomorni zatvoreni spremnik. Sastoji se od tri komore međusobno povezanim H cijevima.

Volumen septičkog tanka odabire se prema odabranom vremenu zadržavanja vode u tanku. Vrijeme zadržavanja od 2 dana mjerodavan je za septičke tankove kapaciteta u slučajuu nekoliko stotina ekvivalenta stanovnika.

$V$  -Volumen septičkog tanka računa se prema formuli:

$$V_{potr} = Q_{max,ki} * t \quad (5.11)$$

$$V_{potr} = 756 \text{ m}^3/\text{dan} * 2$$

$$V_{potr} = 1512 \text{ m}^3$$

Dobivenoj vrijednosti dodaje se 20% slobodnog prostora koji omogućava adekvatno prozračivanje tankova:

$$V_{tank} = V_{potr} * 1,2 \quad (5.12)$$

$$V_{tank} = 1512 * 1,2 = 1965 \text{ m}^3$$

Kod trokomornih septičkih tankova volumen prve komore odabire se unutar raspona od 50-60% od ukupnog volumena, a preostale dvije komore su jednake kapacitetu od 20-25% od ukupnog volumena:

$$V_{komora,1} = V_{tank} * 0,5 \quad (5.13)$$

$$V_{komora,1} = 1965 * 0,5 = 982,5 \text{ m}^3$$

$$\text{odabrano: } V_{komora,1} = 980 \text{ m}^3$$

$$V_{komora,2} = V_{tank} * 0,25 \quad (5.14)$$

$$V_{komora,2} = V_{tank} * 0,25 = 491,25 \text{ m}^3$$

$$\text{odabrano: } V_{komora,2} = 490 \text{ m}^3$$

$$V_{komora,3} = V_{tank} * 0,25 \quad (5.15)$$

$$V_{komora,3} = V_{tank} * 0,25 = 491,25 \text{ m}^3$$

$$\text{odabrano: } V_{komora,3} = 490 \text{ m}^3$$

Dubina septičkog tanka preporuča se od 1,5-3 m.

$$\text{odabrano: } v_{tank} = 2,5 \text{ m}$$

$v$  – dubina tanka

Odnosom širine i dužine tanka povećava se dužina i vrijeme potrebno za put vode kroz tank. Odnos širine i dužine je 1:3:

$$V_{komora,1} = 980 \text{ m}^3$$

$$A_{komora,1} = V_{komora,1}/v_{tank} \quad (5.16)$$

$$A_{komora,1} = 980/2,5 = 392 \text{ m}^2$$

$$\text{odabrano: } d_{tank,1} = 34 \text{ m}$$

$$\text{odabrano: } s_{tank,1} = 11,5 \text{ m}$$

$A$  - površina komore

$d$  – dužina tanka

$s$  – širina tanka

$$V_{komora,2} = 490 \text{ m}^3$$

$$A_{komora,2} = V_{komora,2}/v_{tank} \quad (5.17)$$

$$A_{komora,2} = 490/2,5 = 196 \text{ m}^2$$

$$\text{odabrano: } d_{tank,2} = 24 \text{ m}$$

$$\text{odabrano: } s_{tank,2} = 8 \text{ m}$$

$$V_{komora,3} = 490 \text{ m}^3$$

$$A_{komora,3} = V_{komora,2}/v_{tank} \quad (5.18)$$

$$A_{komora,3} = 490/2,5 = 196 \text{ m}^2$$

$$\text{odabrano: } d_{tank,3} = 24 \text{ m}$$

$$\text{odabrano: } s_{tank,3} = 8 \text{ m}$$

Učinak pročišćavanja (DWA-A 262)

- BPK5, 33,3% (sa 60 g/ES/d na 40 g/ES/d)

- KPK, 33,3% (sa 120 g/ES/d na 80 g/ES/d)

- RT, 64,3% (sa 70 g/ES/d na 25 g/ES/d)

- N, 9,1% (sa 11 g/ES/d na 10 g/ES/d)

- P, 11,1% (sa 1,8 g/ES/d na 1,6 g/ES/d)

Tereti onečišćenja nakon prethodnog pročišćavanja

$$- BPK5_1 = BPK5 - BPK5 * 0,33 = 60 - 60 * 0,33 = 40 \text{ kg/d}$$

$$- KPK_1 = KPK - KPK * 0,33 = 120 - 120 * 0,33 = 80 \text{ kg/d}$$

$$- RT_1 = RT - RT * 0,643 = 70 - 70 * 0,643 = 25 \text{ kg/d}$$

$$- N_1 = N - N * 0,091 = 11 - 11 * 0,091 = 10 \text{ kg/d}$$

$$- P_1 = P - P * 0,111 = 1,8 - 1,8 * 0,111 = 1,6 \text{ kg/d}$$

Za navedene parametre, računске koncentracije na izlazu iz taložnika jesu kako slijedi:

Sušni protok:

$$BPK5_{c,1} = BPK5_c - BPK5_c * 0,33 = 151 - 151 * 0,33 = 101,3 \text{ mg/l}$$

$$KPK_{c,1} = KPK_c - KPK_c * 0,33 = 302 - 302 * 0,33 = 202,3 \text{ mg/l}$$

$$RT_{c,1} = RT_c - RT_c * 0,643 = 176,1 - 176,1 * 0,643 = 62,9 \text{ mg/l}$$

Kišni protok:

$$BPK5_{c,1} = BPK5_c - BPK5_c * 0,33 = 79,6 - 79,6 * 0,33 = 53,3 \text{ mg/l}$$

$$KPK_{c,1} = KPK_c - KPK_c * 0,33 = 158,8 - 158,8 * 0,33 = 106,4 \text{ mg/l}$$

$$RT_{c,1} = RT_c - RT_c * 0,643 = 92,6 - 92,6 * 0,643 = 33,1 \text{ mg/l}$$



U nastavku se prethodno obrađena otpadna voda na polja za filtriranje jednoliko distribuirana po površini filtra pomoću crpki.

### 5.3 Objekti biološkog pročišćavanja otpadnih voda

**Polje za filtriranje.** Polja za filtriranje koncipirana su kao vertikalni filtri, s visokim opterećenjem suspendiranih tvari i BPK odnosno KPK. Prema njemačkim smjernicama DWA-A 262 volumen polja za filtriranje za toplu klimu iznosi:

Površina po ekvivalentu stanovnika za vertikalno tečenje iznosi:  $1,2 [m^2/ES]$ :

$$A_{VF} = 1,2 * ES \quad (5.19)$$

$$A_{VF} = 1,2 * 1000 = 1200 m^2$$

Polje za filtriranje bit će izvedeno sa tri BUVPT bazena, paralelno spojena svaki sa površinom od  $400 m^2$  radi mogućnosti rada pri smanjenom opterećenja turističkog naselja. U daljnjem proračunu bit će provedeno dimenzioniranje samo za jedan bazen koji će vrijediti za sva tri bazena. Na taj način bit će omogućeno servisiranje po potrebi, za vrijeme smanjenog opterećenja sustava, bez prestanka rada. Bazeni za pročišćavanje izvodit će se sa predviđenim sustavom navodnjavanja, za slučajeve smanjenog opterećenja sustava i korištenja manjeg broja bazena u dužem periodu. Sustav za navodnjavanje služi za dovod vode u slučaju duljeg ne korištenja bazena radi održavanje biljaka.

$$A_{VF,1} = 1200/3 = 400 m^2$$

Odabrane dimenzije polja : 20,0 x 20,0 m

Dubina bazena iznosi:

Površinski distribucijski sloj- 20 cm

Središnji filtarski sloj- 80 cm

Pridnedni drenažni sloj- 20 cm

Ukupna dubina tijela bazena iznosi

$$d = 20 + 80 + 20 \text{ cm} = 120 \text{ cm}$$

Bočne stranice izvode se pod nagibom 33%

Dno se izvodi pod nagibom od 5%

Tijelo BUVPT-a sastoji se od tri karakteristična sloja. Počevši od izljevne dijela na dnu, tijelo se puni supstratom od krupnog šljunka, granulacije 8/16 i 8/32, gdje se polažu izljevne cijevi. Središnji filtarski sloj koji ima glavnu ulogu u BU puni se supstratom od pijeska sa karakteristikama  $d_{10}$  (0,25-1,2 mm) i  $d_{60}$  (1,0-4,0 mm). Površinski sloj gdje se polažu uljevne cijevi puni se supstratom od krupnog šljunka granulacije 8/16 i 8/32.

**Polje za čišćenje** koncipirano je kao BUHPT. Ovi bazeni predstavljaju glavni element biološkog pročišćavanja otpadnih voda. Prema njemačkim smjernicama DWA-A 262 volumen polja za filtriranje za toplu klimu iznosi:

Površina po osobi za vertikalno tečenje iznosi:  $3 [m^2/ES]$ :

$$A_{HF} = 3 * ES \quad (5.20)$$

$$A_{HF} = 3 * 1000 = 3000 m^2$$

Polje za čišćenje bit će izvedeno sa tri BUHPT bazena, paralelno spojena svaki sa površinom od  $1000 m^2$  radi mogućnosti rada pri smanjenom opterećenju turističkog naselja. U daljnjem proračunu bit će provedeno dimenzioniranje samo za jedan bazen koji će vrijediti za sva tri bazena. Na taj način bit će omogućeno servisiranje po potrebi bez prestanka rada u slučaju smanjenog opterećenja uređaja. Bazeni za pročišćavanje izvodit će se sa predviđenim sustavom navodnjavanja, za slučajevne smanjenog opterećenja sustava i korištenja manjeg broja bazena. Sustav za navodnjavanje služi za dovod vode u slučaju duljeg ne korištenja bazena a radi održavanje biljaka.

Odabrane dimenzije polja: 18x 55,5 m

Odabrani supstrat za polje za filtriranje je trska. Dimenzioniranje dubine bazena ovisi o supstratu i dubini prodiranja korijenja koja će se za izvedbu koristiti 0,8 m.

Za okvir bazen odabran je PEHD geomembrana debljine 2 mm koja se s obje strane (gornje i donje) obloži jednim slojem geotekstila minimalne gustoće  $200 g/m^2$ . Tijekom izvođenja radova potrebno je posebnu pažnju posvetiti zaštiti geomembrane i spriječiti

moćnost oštećenja. Kritična je faza ugradnja supstrata, pri čemu se zabranjuje ulazak mehanizacije i težih strojeva u tijelo BU. Supstrat se pomoću mehanizacije koja se kreće izvan površine prekrivene geomembranom pažljivo nabacuje u tijelo BU, a radno osoblje ga ručno razastire i ugrađuje. Kako bi se osigurala kvalitetna ugradnja geomembrane, uz bočne stranice BU po čitavom opsegu potrebno je iskopati plitak i uzak rov. Geomembrana se nakon polaganja na dno BU u produžetku polaže uz bočne stranice BU sve do rova koji se također oblaže i nakon toga zatrpava. Time je osigurana stabilnost ugrađene geomembrane. Nakon polaganja geomembrane na dno, posebnu je pažnju potrebno posvetiti brtvljenju oko distribucijskih i izljevnikh cijevi.

Tijelo bazena BUHPT-a u površinskom (distribucijskom) i pridnenom (drenažnom) sloju puni se supstratom krupnog šljunka granulacije 8/16 i 8/32 (raspon veličine čestice šljunka u milimetrima). Središnji filtarski sloj ispunjava se od srednjeg i krupnog pijeska sa karakteristikama  $d_{10}$  (0,25-1,2 mm) i  $d_{60}$  (1,0-4,0 mm), koeficijenta homogenosti ( $d_{60}/d_{10}$ )  $< 3$ .

Distribucijski cjevovod polaže se u površinski dio ulijevnog dijela sa revizijskim otvorima kao što je prikazano u projektnoj dokumentaciji.

-odabrana je cijev DN 125

Drenažne cijevi polažu se pri dnu izljevnikh dijela BUHPT, i to horizontalno, bez uzdužnikh padova kao što je prikazano u projektnoj dokumentaciji.

- Odabrana cijev DN 125

**Polja za poliranje** koncipirani su kao horizontalni filtri sa otvorenim licem. Prema njemačkim smjernicama DWA-A 262 volumen polja za poliranje za toplu klimu iznosi:

$$A_{HF} = 0.5 * ES \quad (5.21)$$

$$A_{HF} = 0.5 * 1000 = 500 \text{ m}^2$$

Polja za poliranje sastojat će se od dva bazena sa slobodnim vodenim licem. Bazen za poliranje izvodit će se sa predviđenim sustavom navodnjavanja, za slučajevne prestanka potrebe rada sustava.

Odabrane dimenzije polja: 9x 27,8 m

Dimenzioniranje dubine bazena ovisi o supstratu i dubini prodiranja korijenja koja će se za izvedbu koristiti 0,6 m.

Za okvir bazen odabran je PEHD geomembrana debljine 2 mm koja se s obje strane obloži jednim slojem geotekstila minimalne gustoće 200 g/m<sup>2</sup>. Tijekom izvođenja radova potrebno je posebnu pažnju posvetiti zaštiti geomembrane i spriječiti mogućnost oštećenja. Nakon polaganja geomembrane na dno, posebnu je pažnju potrebno posvetiti brtvljenju oko distribucijskih i izljevnihi cijevi.

*Tablica 5.1. Specifična opterećenja polja*

PARAMETRI	Polja za filtriranje [mg/m <sup>2</sup> /d]	Polja za čišćenje [mg/m <sup>2</sup> /d]	Polja za poliranje [mg/m <sup>2</sup> /d]	Granične vrijednosti [mg/m <sup>2</sup> /d]
BPK,5	100	2,7	1,6	<25
KPK	200	21	12,8	<125
ST	25	6,2	3,7	<35

*Tablica 5.2. Dimenzija polja*

POLJA	DUŽINA [m]	ŠIRINA [m]	DUBINA [m]	POVRŠINA [m <sup>2</sup> ]	VOLUMEN [m <sup>3</sup> ]	KOLIČINA	UKUPNI V. [m <sup>3</sup> ]
PF	20	20	1,2	400	480	3	1440
PČ	55,5	18	0,8	1000	800	3	2400
PP	27,8	9	0,6	250	150	2	300

*Tablica 5.3. Dubina polja*

POLJA	NETO DUBINA SUPSTRATA [m]	BRUTO DUBINA SUPSTRATA [m]	DUBINA POLJA [m]
PF	1,2	1,4	1,7
PČ	0,8	0,8	1,1
PP	0,6	0,6	0,9

Tablica 5.4. Očekivane koncentracije otpadnih voda po fazama

PARAMETRI	Početne koncentracije tvari [mg/l]	Nakon primarnog pročišćavanja [mg/l]	Nakon PF [mg/l]	Nakon PČ [mg/l]	Nakon PP [mg/l]	Granične vrijednosti [mg/l]
BPK <sub>5</sub>	151	101,3	15,2	2,7	1,6	<25
KPK	302	202,6	56,6	21	12,8	<125
ST	176,1	62,9	44	6,2	3,7	<35

### 5.3 Dimenzioniranje cjevovoda

Proračun cjevovoda bit će izrađen prema odabranoj brzini vode u cijevima od 2 m/s i dobivenom maksimalnom kišnom protoku.

Slijedi proračun cijev za protok od 31,5 m<sup>3</sup>/h:

$$A = r^2 \mu \quad (5.22)$$

$$Q = 31,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$v = 2 \text{ m/s} = 7200 \text{ m/h}$$

$$A = \frac{Q}{v} \quad (5.23)$$

$$A = \frac{31,5}{7200} = 4,375 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\mu}} \quad (5.24)$$

$$r = \sqrt{\frac{4,375 * 10^{-3}}{\mu}} = 0,037 \text{ m}$$

$$r = 0,037 \text{ m} = 37 \text{ mm}$$

$$d_u = 74 \text{ mm}$$

Odabrana polietilenska vodovodna cijev DN 75

$Q$  – protok vode

$v$  – brzina vode u cijevi

$A$  – površina cijevi

$r$  – polumjer cijevi

$d_u$  – unutarnji promjer cijevi

Nakon račvanja protoka u dva smjera pri brzini od 2 m/s i protoku od 21 m<sup>3</sup>/h, dimenzija cijevi protoka:

$$A = r^2 \mu \quad (5.22)$$

$$Q = 21 \text{ m}^3/h$$

$$v = 2 \text{ m/s} = 7200 \text{ m/h}$$

$$A = \frac{Q}{v} \quad (5.23)$$

$$A = \frac{21}{7200} = 2,92 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\mu}} \quad (5.24)$$

$$r = \sqrt{\frac{2,92 * 10^{-3}}{\mu}} = 0,031 \text{ m} = 31 \text{ mm}$$

$$d_u = 62 \text{ mm}$$

Odabrana polietilenska vodovodna cijev DN 63

Nakon račvanja protoka u dva smjera pri brzini od 2 m/s i protoku od 10,5 m<sup>3</sup>/h, dimenzija cijevi protoka:

$$A = r^2 \mu \quad (5.22)$$

$$Q = 10,5 \text{ m}^3/h$$

$$v = 2 \text{ m/s} = 7200 \text{ m/h}$$

$$A = \frac{Q}{v} \quad (5.23)$$

$$A = \frac{10,5}{7200} = 1,458 * 10^{-3} m^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\mu}} \quad (5.24)$$

$$r = \sqrt{\frac{1,458 * 10^{-3}}{\mu}} = 0,022 m = 22 mm$$

$$d_u = 44 mm$$

Odabrana polietilenska vodovodna cijev DN 50

Nakon račvanja protoka po distribucijskim cijevima BUVPT-a pri brzini od 2 m/s i protoku od 0,525 m<sup>3</sup>/h, dimenzija cijevi protoka:

$$A = r^2 \mu \quad (5.22)$$

$$Q = 0,525 m^3/h$$

$$v = 2 m/s = 7200 m/h$$

$$A = \frac{Q}{v} \quad (5.23)$$

$$A = \frac{0,525}{7200} = 7,3 * 10^{-5} m^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\mu}} \quad (5.24)$$

$$r = \sqrt{\frac{7,3 * 10^{-5}}{\mu}} = 0,005 m = 5 mm$$

$$d_u = 10 mm$$

Odabrana polietilenska vodovodna cijev DN 25 iz čega slijedi promjena brzine u cijevima:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (5.23)$$

$$A = r^2 \mu \quad (5.22)$$

$$A = 0,0125^2 * \mu = 5 * 10^{-4} m^2$$

$$v = \frac{0,525}{5 * 10^{-4}} = 1050 m/h = 0,3 m/s$$

### 5.3.1. Proračun crpke dionice 1

Za izračunavanje pada tlaka koristi se Darcy-Weisbach-ova formula:

$$\Delta P_{duz} = f * \frac{L}{D} * \frac{\rho * v^2}{2} \quad (5.25)$$

$$\Delta P_{lok} = f * \frac{v^2}{2g} \quad (5.26)$$

$$\Delta P_{vis} = \rho * g * h \quad (5.27)$$

$\Delta P$  – pad tlaka

Prosječni faktor trenja za PEHD cijevi: 0,02-0,04

-odabrano faktor trenja  $f$ - 0,03

-gustoća vode (20 °C)  $\rho$ - 1000 kg/m<sup>3</sup>

-brzina vode u cijevima  $v$ - 2 m/s

Dionica sa najvećim padom tlaka sastoji se od:

-22 m PEHD cijev DN 75

-17 m PEHD cijev DN 63

-24,5 m PEHD cijev DN 50

-28,5 m PEHD cijev DN 25

-1 T-komad (koeficijent otpora  $f$  – 3)

-3 zaporna ventila (koeficijent otpora  $f$  – 4)

-1 nepovratni ventil (koeficijent otpora  $f$  – 10)

-2 koljena 90° (koeficijent otpora  $f$  – 1)

-2 zaporna ventila s automatikom (koeficijent otpora  $f$  – 4)



$$\Delta P_{duz} = f * \frac{L_1}{D_1} * \frac{\rho * v^2}{2} + f * \frac{L_2}{D_2} * \frac{\rho * v^2}{2} + f * \frac{L_3}{D_3} * \frac{\rho * v^2}{2} + f * \frac{L_4}{D_4} * \frac{\rho * v^2}{2}$$

$$\Delta P_{duz} = 0,03 * \frac{22}{0,075} * \frac{1000 * 2^2}{2} + 0,03 * \frac{17}{0,063} * \frac{1000 * 2^2}{2} + 0,03 * \frac{24,5}{0,05} * \frac{1000 * 2^2}{2} + 0,03 * \frac{28,5}{0,025} * \frac{1000 * 0,3^2}{2}$$

$$\Delta P_{duz} = 82192 Pa$$

$$\Delta P_{lok} = \Delta P_{T-kom} + \Delta P_{zap.v.} + \Delta P_{nep.v.} + \Delta P_{kolj} + \Delta P_{z.v.a.}$$

$$\Delta P_{lok} = f_{T-kom} * \frac{\rho * v^2}{2} + 3 * f_{zap.v.} * \frac{\rho * v^2}{2} + f_{nep.v.} * \frac{\rho * v^2}{2} + f_{kolj} * \frac{\rho * v^2}{2} + 2 * f_{z.v.a.} * \frac{\rho * v^2}{2}$$

$$\Delta P_{lok} = 3 * \frac{1000 * 2^2}{2} + 3 * 4 * \frac{1000 * 2^2}{2} + 10 * \frac{1000 * 2^2}{2} + 1 * \frac{1000 * 2^2}{2} + 2 * 4 * \frac{1000 * 2^2}{2}$$

$$\Delta P_{lok} = 68000 Pa$$

$$\Delta P_{vis} = \rho * g * h$$

$$\Delta P_{vis} = 1000 * 9,81 * 1,4$$

$$\Delta P_{vis} = 13734$$

$$\Delta P_{uk} = \Delta P_{lok} + \Delta P_{duz} + \Delta P_{vis}$$

$$\Delta P_{uk} = 68000 + 82192 + 13734$$

$$\Delta P_{uk} = 163926 Pa = 16,7 mH_2O$$

f – koeficijent oblika

$L$  – dužina cijevi

$L$  –promjer cijevi

$\rho$  - gustoća vode

$v$  – brzina vode u cijevi

$g$  - gravitacijska akceleracija

$h$  - visina

Odabrana je crpka: NBGE 100-80-125/127 AAF2AESBAQELWB, proizvođača Grundfos, proizvodni broj 99099733.



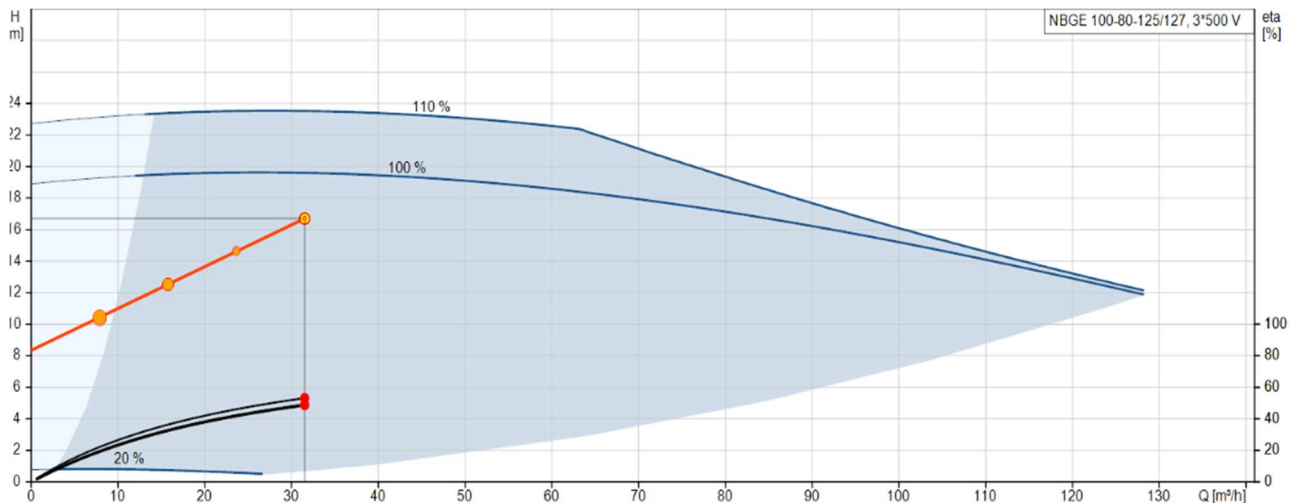
*Slika 5.1. Crpka za dionicu 1 [17]*

*Tablica 5.5. karakteristike crpke 1*

Tip:	NBGE 100-80-125/127
Količina:	1
Motor:	5.5 [kW]
Protok:	31.5 [ $m^3/h$ ]
Visina dizanja:	16.7 [m]
Snaga P1:	2.934 [kW]
Snaga P2:	2.692 [kW]
Eta crpke:	53.1 %
Eta crpke + motor:	48.8%
Utrošak energije:	10915 [kWh/godina]
Emicija CO2:	6220 [kg/godina]
Cijena:	5.587,00 EUR
Troškovi životnog ciklusa:	44828 EUR/15godine

*Tablica 5.6. profil opterećenja crpke 1*

Režim rada	1	2	3	4
Protok [%]	25	50	75	100
Protok [ $m^3/h$ ]	7.88	15.75	23.62	31.5
Visina dizanja [%]	63	75	88	100
Visina dizanja [ $m^3/h$ ]	10.44	12.53	14.61	16.7
P1 [kW]	1.157	1.643	2.238	2.934
Etaukupno [%]	19.3	32.7	41.9	48.8
Vrijeme [h/a]	3010	2394	1026	410
Utrošak energije [kWh/Godina]	3483	3933	2296	1203
Količina	1	1	1	1



Slika 5.2. Radne točke crpke dionice 1 [17]

### 5.3.2. Proračun crpke dionice 2

Za izračunavanje pada tlaka koristi se Darcy-Weisbach-ova formula:

$$\Delta P_{duz} = f * \frac{L}{D} * \frac{\rho * v^2}{2} \quad (5.25)$$

$$\Delta P_{lok} = f * \frac{v^2}{2g} \quad (5.26)$$

$$\Delta P_{vis} = \rho * g * h \quad (5.27)$$

Prosječni faktor trenja za PEHD cijevi: 0,02-0,04

-odabrano faktor trenja  $f$ - 0,03

-gustoća vode (20 °C)  $\rho$ - 1000 kg/m<sup>3</sup>

-brzina vode u cijevima  $v$ - 2 m/s

Dionica sa najvećim padom tlaka sastoji se od:

-23 m PEHD cijev DN 75

-20 m PEHD cijev DN 63

-30 m PEHD cijev DN 50

-3 zaporna ventila (koeficijent otpora  $f$  – 4)

-1 nepovratni ventil (koeficijent otpora  $f$  – 10)

-2 koljeno  $\xi_{90}$  (koeficijent otpora  $f - 1$ )

-2 zaporna ventila s automatikom (koeficijent otpora  $f - 4$ )

$$\Delta P_{duz} = f * \frac{L_1}{D_1} * \frac{\rho * v^2}{2} + f * \frac{L_2}{D_2} * \frac{\rho * v^2}{2} + f * \frac{L_3}{D_3} * \frac{\rho * v^2}{2}$$

$$\Delta P_{duz} = 0,03 * \frac{23}{0,075} * \frac{1000 * 2^2}{2} + 0,03 * \frac{20}{0,063} * \frac{1000 * 2^2}{2} + 0,03 * \frac{30}{0,05} * \frac{1000 * 2^2}{2}$$

$$\Delta P_{duz} = 71712 Pa$$

$$\Delta P_{lok} = \Delta P_{zap.v.} + \Delta P_{nep.v.} + \Delta P_{kolj} + \Delta P_{z.v.a.}$$

$$\Delta P_{lok} = 3 * f_{zap.v.} * \frac{\rho * v^2}{2} + f_{nep.v.} * \frac{\rho * v^2}{2} + 2 * f_{kolj} * \frac{\rho * v^2}{2} + 2 * f_{z.v.a.} * \frac{\rho * v^2}{2}$$

$$\Delta P_{lok} = 3 * 4 * \frac{1000 * 2^2}{2} + 10 * \frac{1000 * 2^2}{2} + 2 * 1 * \frac{1000 * 2^2}{2} + 2 * 4 * \frac{1000 * 2^2}{2}$$

$$\Delta P_{lok} = 64000 Pa$$

$$\Delta P_{vis} = \rho * g * h$$

$$\Delta P_{vis} = 1000 * 9,81 * 0,8$$

$$\Delta P_{vis} = 7848$$

$$\Delta P_{uk} = \Delta P_{lok} + \Delta P_{duz} + \Delta P_{vis}$$

$$\Delta P_{uk} = 64000 + 71712 + 7848$$

$$\Delta P_{uk} = 143560 Pa = 14,64 mH_2O$$

Odabrana je crpka: NBGE 100-80-125/127 AAF2AESBAQELWB, proizvođača Grundfos, proizvodni broj 99099733.



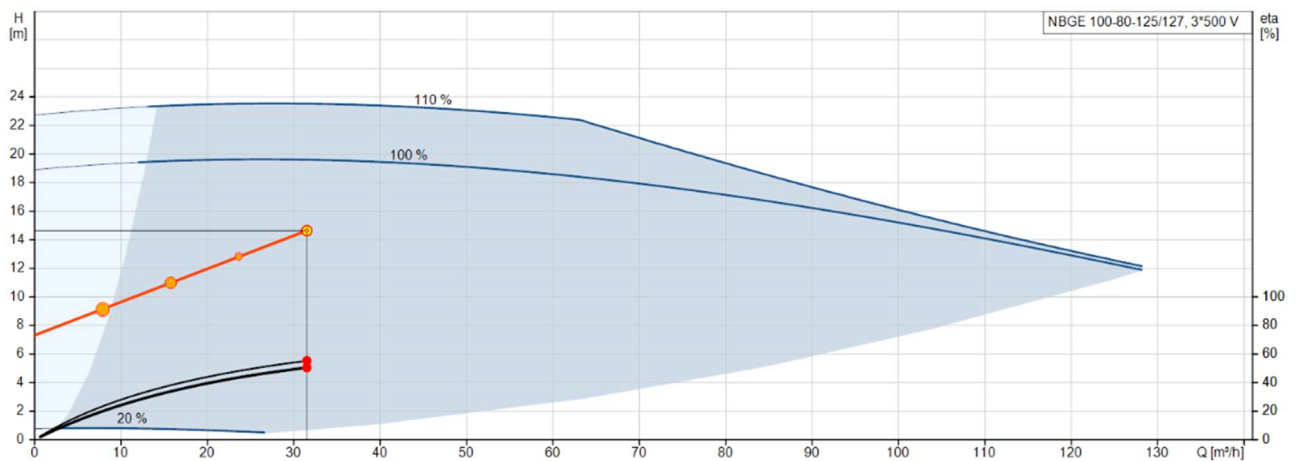
*Slika 5.3. Crpka za dionicu 2 [17]*

*Tablica 5.7. karakteristike crpke 2*

Tip:	NBGE 100-80-125/127
Količina:	1
Motor:	5.5 [kW]
Protok:	31.5 [m <sup>3</sup> /h]
Visina dizanja:	14.64 [m]
Snaga P1:	2.484 [kW]
Snaga P2:	2.269 [kW]
Eta crpke:	55.3 %
Eta crpke + motor:	50.5 %
Utrošak energije:	9228 [kWh/godina]
Emicija CO <sub>2</sub> :	5260 [kg/godina]
Cijena:	5.587,00 EUR
Troškovi životnog ciklusa:	44828 EUR/15godine

Tablica 5.6. profil opterećenja crpke 2

Režim rada	1	2	3	4
Protok [%]	25	50	75	100
Protok [m <sup>3</sup> /h]	7.88	15.75	23.62	31.5
Visina dizanja [%]	63	75	88	100
Visina dizanja [m <sup>3</sup> /h]	9.151	10.98	12.81	14.64
P1 [kW]	0.979	1.389	1.888	2.484
Etaukupno [%]	20	33.9	43.6	50.5
Vrijeme [h/a]	3010	2394	1026	410
Utrošak energije [kWh/Godina]	2947	3326	1937	1019
Količina	1	1	1	1



Slika 5.4. Radne točke crpke dionice 2 [17]

### 5.3.3. Proračun crpke dionice 3

Za izračunavanje pada tlaka koristi se Darcy-Weisbach-ova formula:

$$\Delta P_{duz} = f * \frac{L}{D} * \frac{\rho * v^2}{2} \quad (5.25)$$

$$\Delta P_{lok} = f * \frac{v^2}{2g} \quad (5.26)$$

$$\Delta P_{vis} = \rho * g * h \quad (5.27)$$

Prosječni faktor trenja za PEHD cijevi: 0,02-0,04

-odabrano faktor trenja  $f$ - 0,03

-gustoća vode (20 °C)  $\rho$ - 1000 kg/m<sup>3</sup>

-brzina vode u cijevima  $v$ - 2 m/s

Dionica sa najvećim padom tlaka sastoji se od:

-77 m PEHD cijev DN 75

-21 m PEHD cijev DN 63

-3 zaporna ventila (koeficijent otpora  $f$  – 4)

-1 nepovratni ventil (koeficijent otpora  $f$  – 10)

-3 koljeno 90° (koeficijent otpora  $f$  – 1)

-2 zaporna ventila s automatikom (koeficijent otpora  $f$  – 4)

$$\Delta P_{duz} = f * \frac{L_1}{D_1} * \frac{\rho * v^2}{2} + f * \frac{L_2}{D_2} * \frac{\rho * v^2}{2} + f * \frac{L_3}{D_3} * \frac{\rho * v^2}{2}$$

$$\Delta P_{duz} = 0,03 * \frac{77}{0,075} * \frac{1000 * 2^2}{2} + 0,03 * \frac{21}{0,063} * \frac{1000 * 2^2}{2}$$

$$\Delta P_{duz} = 77135 Pa$$

$$\Delta P_{lok} = \Delta P_{zap.v.} + \Delta P_{nep.v.} + \Delta P_{kolj} + \Delta P_{top.v.}$$

$$\Delta P_{lok} = 3 * f_{zap.v.} * \frac{\rho * v^2}{2} + f_{nep.v.} * \frac{\rho * v^2}{2} + 3 * f_{kolj} * \frac{\rho * v^2}{2} + 2 * f_{z.v.a.} * \frac{\rho * v^2}{2}$$

$$\Delta P_{lok} = 3 * 4 * \frac{1000 * 2^2}{2} + 10 * \frac{1000 * 2^2}{2} + 3 * 1 * \frac{1000 * 2^2}{2} + 2 * 4 * \frac{1000 * 2^2}{2}$$

$$\Delta P_{lok} = 66000 Pa$$

$$\Delta P_{vis} = \rho * g * h$$



$$\Delta P_{vis} = 1000 * 9,81 * 0,6$$

$$\Delta P_{vis} = 5886$$

$$\Delta P_{uk} = \Delta P_{lok} + \Delta P_{duz} + \Delta P_{vis}$$

$$\Delta P_{uk} = 66000 + 77135 + 5886$$

$$\Delta P_{uk} = 149021 Pa = 15,2 mH_2O$$

Oabrana je crpka: NBGE 100-80-125/127 AAF2AESBAQELWB, proizvođača Grundfos, proizvodni broj 99099733.



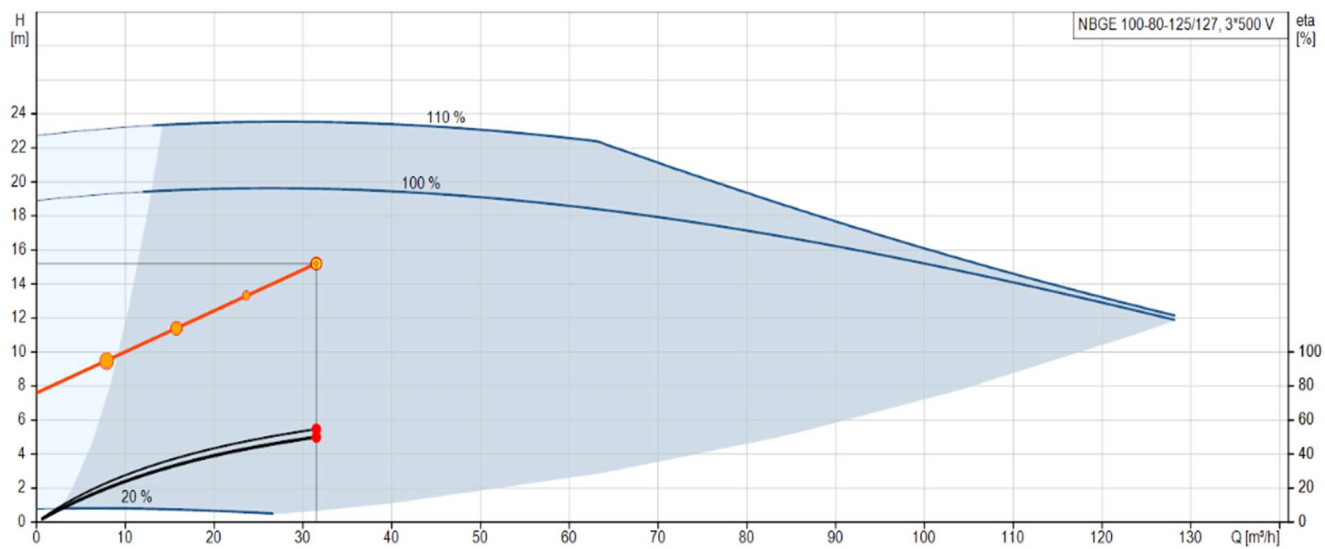
*Slika 5.5. Crpka za dionicu 3 [17]*

*Tablica 5.7. karakteristike crpke 3*

Tip:	NBGE 100-80-125/127
Količina:	1
Motor:	5.5 [kW]
Protok:	31.5 [m <sup>3</sup> /h]
Visina dizanja:	15.2 [m]
Snaga P1:	2.605 [kW]
Snaga P2:	2.382 [kW]
Eta crpke:	54.7 %
Eta crpke + motor:	50%
Utrošak energije:	9677 [kWh/godina]
Emicija CO <sub>2</sub> :	5520 [kg/godina]
Cijena:	5.587,00 EUR
Troškovi životnog ciklusa:	40378 EUR/15godine

*Tablica 5.6. profil opterećenja crpke 3*

Režim rada	1	2	3	4
Protok [%]	25	50	75	100
Protok [m <sup>3</sup> /h]	7.88	15.75	23.62	31.5
Visina dizanja [%]	63	75	88	100
Visina dizananja [m <sup>3</sup> /h]	9.5	11.4	13.3	15.2
P1 [kW]	1.026	1.457	1.981	2.6
Etaukupno [%]	19.8	33.5	43.1	50
Vrijeme [h/a]	3010	2394	1026	410
Utrošak energije [kWh/Godina]	3089	3488	2033	1068
Količina	1	1	1	1



Slika 5.6. Radne točke crpke dionice 3 [17]

## 6. POPIS I TROŠKOVNIK STROJARSKE OPREME

Slijedi popis elementa armature i cijevi za izradu projekta:

OPREMA	CIJENA	KOLIČINA	UKUPNA CIJENA
Crpka: NBGE 100-80-125/127 AAF2AESBAQELWB proizvođač: grundfos proizvodni broj: 99099733	5.587,00	3	16761,00
Zaporni ventil DN 50 HERZ STRÖMAX-GMF 4218 balans ventil DN50 proizvodni broj: 1 4218 46	356,39	12	4276,68
Zaporni ventil DN 65 HERZ STRÖMAX-GMF 4218 balans ventil DN65 proizvodni broj: 1 4218 47	416,32	4	1665,28
Zaporni ventil DN 80 HERZ STRÖMAX-GMF 4218 balans ventil DN80 proizvodni broj: 1 4218 48	472,03	8	3776,24
Nepovratni ventil DN 80 Ventil nepovratni SILENT proizvodni broj: 3460	174,00	3	522,00
Elektomagnetni ventil DN 65 Ventil nepovratni SILENT proizvodni broj: 3461	400,00	4	1600,00
Elektomagnetni ventil DN 50 Ventil nepovratni SILENT proizvodni broj: 3462	350,00	8	2800,00
PEHD cijev DN90 PE100, VODA, D90X4,5MM proizvodni broj: PE100A90-10/99	15,89	700	11123,00
PEHD cijev DN75 PE100, VODA, D75X4,5MM proizvodni broj: PE100A75-10/100	11,56	200	2312,00
PEHD cijev DN63 PE100, VODA, D63X3,8MM proizvodni broj: PE100A63-10/100	9,83	200	1966,00
PEHD cijev DN50 PE100, VODA, D50X3,0MM proizvodni broj: PE100A50-10/100	6,22	1000	6220,00
PEHD cijev DN25 PE100, VODA, D25X1,88MM proizvodni broj: PE100A25-10/100	1,28	1300	1664,00
PEHD redukcija cijevi DN75 EL. REDUKCIJA D75/63, SDR11 proizvodni broj: PE10ER75/63	14,84	6	89,04

PEHD redukcija cijevi DN63 EL. REDUKCIJA D63/50, SDR11 proizvodni broj: PE10EM63	7,42	6	44,52
PEHD redukcija cijevi DN50 EL. REDUKCIJA D50/32, SDR11 proizvodni broj: PE10ER50/32	4,95	60	297,00
PEHD redukcija cijevi DN32 EL. REDUKCIJA D32/25, SDR12 proizvodni broj: PE10ER32/25	3,42	60	205,20
PEHD spojni element koljeno 90°- DN 90 EL. KOLJENO D90/90°, SDR10 proizvodni broj: PE10EW90/90	19,39	6	116,34
PEHD spojni element koljeno 90°- DN 75 EL. KOLJENO D75/90°, SDR11 proizvodni broj: PE10EW75/90	18,36	3	55,08
PEHD spojni element koljeno 90°- DN 63 EL. KOLJENO D63/90°, SDR11 proizvodni broj: PE10EW63/90	14,58	3	43,74
PEHD spojni element koljeno 90°- DN 50 EL. KOLJENO D50/90°, SDR11 proizvodni broj: PE10EW50/90	8,31	13	108,03
PEHD spojni element koljeno 90°- DN 25 EL. KOLJENO D25/90°, SDR11 proizvodni broj: PE10EW25/90	7,20	60	432,00
PEHD T-komad DN 90 EL. T-KOMAD EGAL, D90MM, SDR10 proizvodni broj: PE10ET90	19,09	14	267,26
PEHD T-komad DN 75 EL. T-KOMAD EGAL, D75MM, SDR11 proizvodni broj: PE10ET75	18,74	3	56,22
PEHD T-komad DN 63 EL. T-KOMAD EGAL, D63MM, SDR12 proizvodni broj: PE10ET63	10,91	3	32,73
PEHD T-komad DN 50 EL. T-KOMAD EGAL, D50MM, SDR13 proizvodni broj: PE10ET50	10,53	56	589,68
			56.223,04

## 7. ZAKLJUČAK

Fitoremedijacija kao prirodni proces predstavlja inovativnu i ekološki prihvatljivu metodu koja koristi biljke za uklanjanje, stabilizaciju i razgradnju ksenobika u vodi. Izrada ovakvih sustava zahtjeva interdisciplinarnu suradnju različitih struka: građevinari, agronomi, biolozi, strojari. U ovom diplomskom radu projektiran je uređaji koji se sastoji od različitih tipova bazena za obradu sanitarnih voda, koja u serijskom spoju doprinose tom procesu svojim raznim prednostima. Projekt je zamišljen da bude prilagodljiv promjeni broja osoba u turističkom naselju. Prednost ovog projekta njegova je ekonomska isplativost, minimalni utjecaj na okoliš te mogućnost integracije u postojeće ekosustave.

Korištenjem biljaka kao prirodnih filtera, uz adekvatno projektiranje i redovno održavanje, ova tehnologija nameće se kao adekvatna zamjena kemijskim obradama voda. Najveći dio primarnog održavanja odnosi se na održavanje biljaka za što je potreban manji broj ljudi bez potrebe za višom stručnom spremom što znatno utječe na cijenu. Dodatne prednosti ove tehnologije su ekološka i ekonomska održivost (iz razloga jeftine cijene održavanje i nižeg početnog ulaganja s obzirom na klasične procese) te njezin izgled koji doprinosi odobravanju šire javnosti.

Međutim, unatoč brojnim prednostima, fitoremedijacija ima i svoja ograničenja. Učinkovitost uređaja može varirati ovisno o vrsti zagađenja, koncentracijama i okolišnim uvjetima. Također, zahtijeva duži period za postizanje željenih rezultata u usporedbi s konvencionalnim metodama. Površina potrebno za izgradnju ovakvih sustava eksponencijalno raste s povećanjem broja korisnika. Po preporuci stručnjaka koriste se za naselja do 2000 ljudi.

## 8. LITERATURA

- [1] Izvedbeni projekt, Građevinski projekt , broj projekta: 1865/2017, datum: studeni 2017., građevina: Biljni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda naselja Prud, izdan od: “HIDOPROJEKT – ING“ projektiranje d.o.o., Zagreb, projektant: Davor Stanković, dipl. ing.
- [2] N. Milčić; Z. Findrik Blažević; M. Vuković Domanovac: “ Fitoremedijacija – pregled stanja i perspektiva“, Kemija u industriji, KUI-29/2019, 447–456, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Kolovoz 2019.
- [3] dr. sc. Stanka Zrnčević, red. prof. u miru: pregledni članak “Biljni uređaji: zelena tehnologija za obradu otpadnih voda“, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Marulićev trg 19, Zagreb, Lipanj 2022
- [4] Davor Stanković, dipl.ing.građ: “ Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda“, Časopis Hrvatske komore građevinara, 76/2024, 639-652, Kolovoz 2017.
- [5] Bojan Kraut: “Storjarski priručnik“, Tehnička knjiga, Zagreb, 1956.
- [6] Boris Labudović, dipl. ing: “Priručnik za grijanje“, Energetika marketing, Zagreb, rujan 2005.
- [7] Davor Malus, Dražen Vouk: “Priručnik za fitoremedijaciju“, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb 2012.
- [8] M. Šperac; J. Kaluđer; Ž Šreng: “Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda“, Elektronički časopis Građevinskog fakulteta Osijek - e-GFOS, 76-86, Osijek, 2013
- [9] Zakon o vodama, NN 66/19, 84/21, 47/23
- [10] Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 26/2020,
- [11] C. John i dr.: “Water treatment“, Wiley, SAD, 2012
- [12] R. H. Kadlec, S. D. Wallace: Treatment Wetlands; Second Edition; CRC Press 2009
- [13] Wikipedija: [https://hr.m.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Dipolna\\_molekula\\_vode.png](https://hr.m.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Dipolna_molekula_vode.png)

[14] Wikipedija: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Kemijska\\_veza](https://hr.wikipedia.org/wiki/Kemijska_veza)

[15] Wikipedija: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Solvatacija>

[16] Wikivand: <https://www.wikiwand.com/hr/Topljivost>

[17] <https://product-selection.grundfos.com/hr/products/nbg-nbge/nbge/nbge-100-80-125127-99099733?pumpsystemid=2379676694&tab=variant-curves>



## 9. POPIS SLIKA

Slika 2.1. Molekula vode [13].....	2
Slika 2.2. Vodikove veze vode [14].....	3
Slika 2.3. Hidratizacija [15] .....	3
Slika 2.4. Disocijacija i hidratacija [16].....	4
Slika 3.1. Mehanizmi Fitoremedijacije [2].....	9
Slika 4.1. Biljni uređaj sa slobodnim vodenim licem [7].....	12
Slika 4.2. Biljni uređaji s vertikalnim podpovršinskim tokom [4].....	13
Slika 4.3. Biljni uređaji s horizontalnim podpovršinskim tokom [4].....	15
Slika 5.1. Crpka za dionicu 1 [17].....	35
Slika 5.2. Radne točke crpke dionice 1 [17].....	37
Slika 5.3. Crpka za dionicu 2 [17].....	39
Slika 5.4. Radne točke crpke dionice 2 [17].....	40
Slika 5.5. Crpka za dionicu 3 [17].....	42
Slika 5.6. Radne točke crpke dionice 3 [17].....	44

## 10. POPIS TABLICA

Tablica 5.1. Specifična opterećenja polja .....	29
Tablica 5.2. Dimenzija polja.....	29
Tablica 5.3. Dubina polja .....	29
Tablica 5.4. Očekivane koncentracije otpadnih voda po fazama .....	30
Tablica 5.5. karakteristike crpke 1 .....	36
Tablica 5.6. profil opterećenja crpke 1 .....	36
Tablica 5.7. karakteristike crpke 2.....	39
Tablica 5.8. profil opterećenja crpke 2 .....	40
Tablica 5.9. karakteristike crpke 3.....	43
Tablica 5.10. profil opterećenja crpke 3 .....	43

## Sažetak i ključne riječi na hrvatskom

Ovaj diplomski rad obrađuje idejno rješenje biljnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda turističkog naselja kapaciteta 1000 osoba.

Rad se sastoji od više dijelova. Prvi dio obrađuje fizikalna i kemijska svojstva vode i sanitarne vode. Slijedeći dio je prikaz principa djelovanja fitoremedijacije kao prirodne pojave u životu biljnog svijeta, čiji je mehanizam primijenjen u predmetnom sustavu pročišćavanja otpadnih voda. Dalje slijedi teoretska i praktična obrada sustava pročišćavanja otpadnih voda uz idejno rješenje predmetnog zadatka, dimenzioniranje sustava, odabir opreme i izrada troškovnika strojarske opreme.

**Ključne riječi:** fitoremedijacija, biljni uređaji, biljni uređaji sa slobodnim vodenim licem -BUSV, biljni uređaji s vertikalnim podpovršinskim tokom - BUVPT, biljni uređaji s horizontalnim podpovršinskim tokom - BUHPT, obrada otpadnih voda, biljni filtri

## Abstract and key words

This thesis addresses the conceptual solution of a plant-based wastewater treatment system for a tourist resort with a capacity of 1000 people.

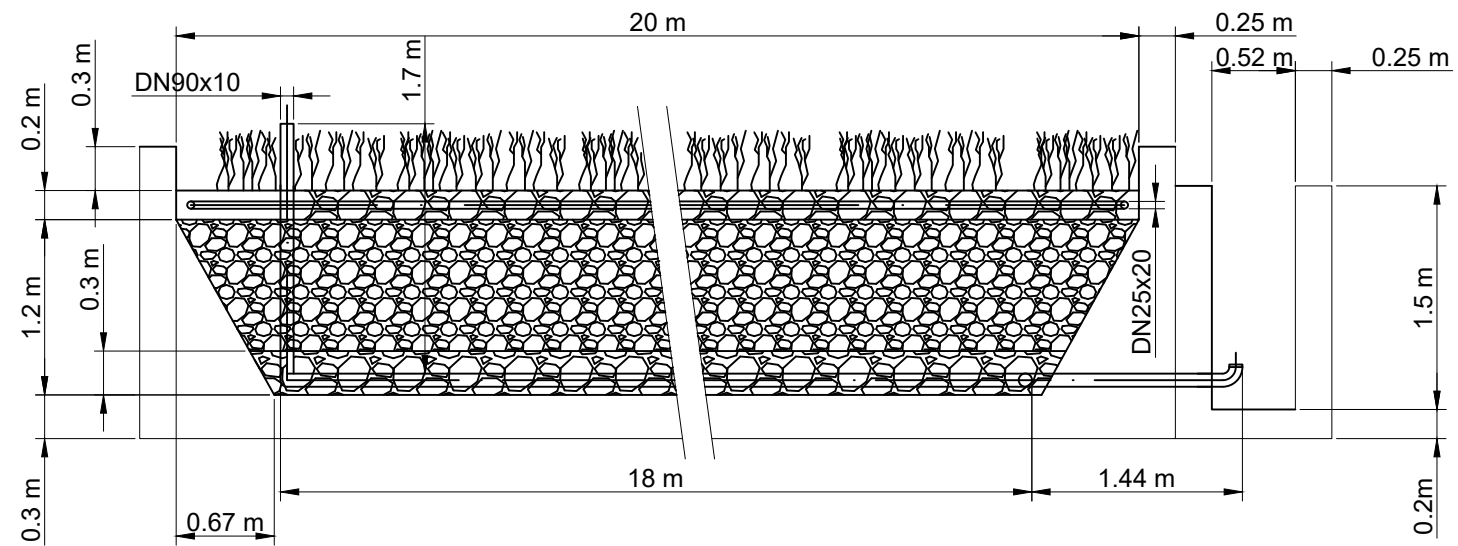
The work consists of several parts. The first part deals with the physical and chemical properties of water and sanitary water. The following section presents the principles of phytoremediation as a natural phenomenon in the plant world, whose mechanism is applied in the subject wastewater treatment system. Further, the theoretical and practical aspects of the wastewater treatment system are discussed, along with the conceptual solution of the task, system sizing, equipment selection, and the preparation of a cost estimate for mechanical equipment.

**Keywords:** phytoremediation, plant-based treatment systems, free water surface plant treatment systems - FWS, vertical subsurface flow plant treatment systems - VSSF, horizontal subsurface flow plant treatment systems - HSSF, wastewater treatment, plant filters

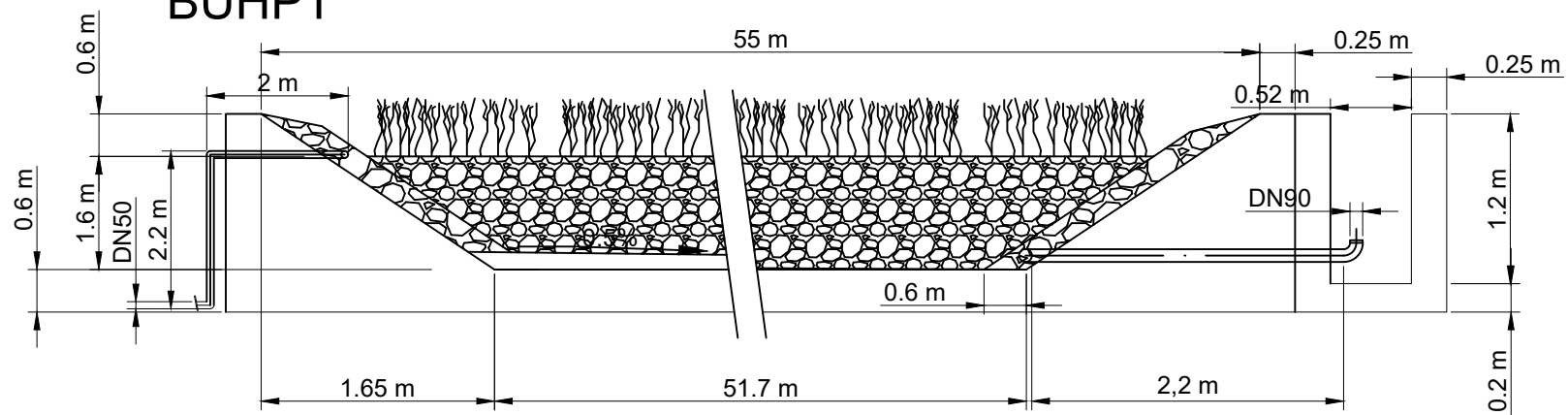
## Popis priloga

1. Presjek filtarskih bazena
2. Tlocrt biljnog uređaja

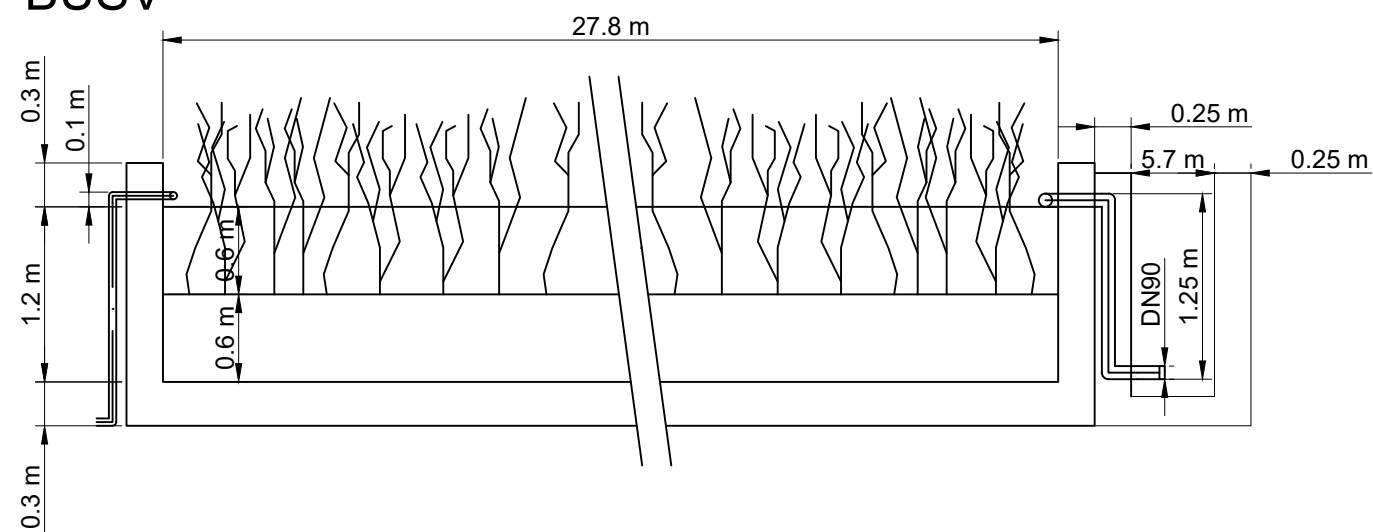
### BUVPT



### BUHPT



### BUSV



BUVPT- Biljni uređaji s vertikalnim podpovršinskim tokom

BUHPT- Biljni uređaji s horizontalnim podpovršinskim tokom

BUSV- Biljni uređaji sa slobodnim vodenim licem

#### ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Projekt: Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda

Sadržaj: Presjek filtarskih bazena

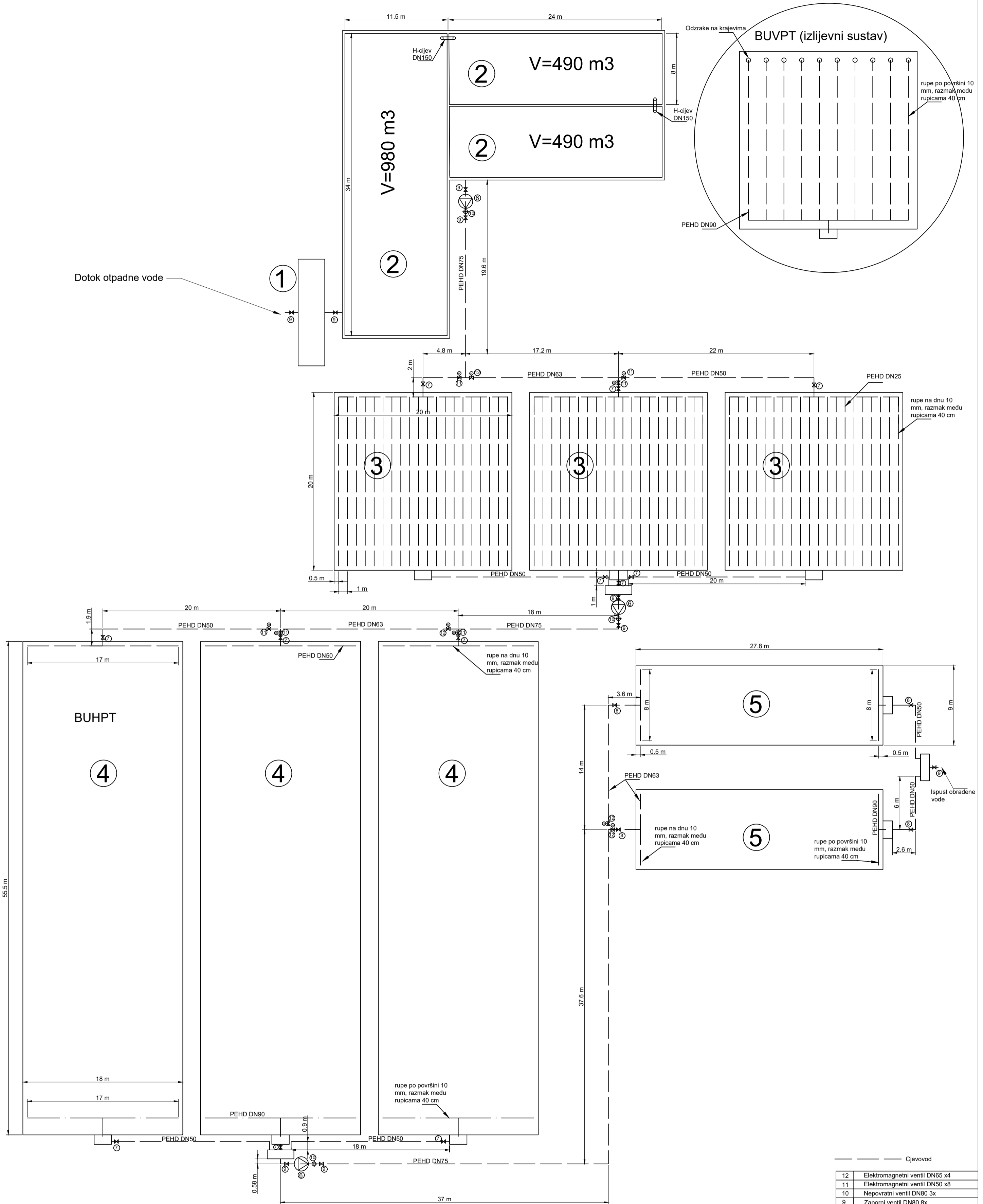
Ime i prezime studenta: Daniel Človek

JMBAG studenta: 0069078066

Mjerilo:  
1:50

Datum:  
srpanj 2024.

Br. priloga:  
1/2



Cjevovod	
12	Elektromagnetni ventili DN65 x4
11	Elektromagnetni ventili DN50 x8
10	Nepovratni ventili DN80 3x
9	Zaporni ventili DN80 8x
8	Zaporni ventili DN65 4x
7	Zaporni ventili DN50 12x
6	Crpka
5	BUSV
4	BUHPT
3	BUVPT
2	Septički tank
1	Automatska grupa rešetka
Poz.	Naziv

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Projekt: Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda

Sadržaj: Shema / tlocrt biljnog uređaja

Ime i prezime studenta: Daniel Človek

JMBAG studenta: 0069078066

Mjerilo:	Datum:	Br. priloga:
1:200	srpanj 2024.	2/2