

»Mladi za napredek Maribora 2017«

## 34. srečanje

# MOBILNA ČISTILNA NAPRAVA ZA OBDELAVO PITNE VODE V DRŽAVAH V RAZVOJU

Varovanje okolja

Raziskovalna naloga

PROSTOR ZA NALEPKO

Avtor: ANEJ GOLČAR  
Mentor: DARKO GORIČANEC, DANIJELA URBANCL  
Šola: II. GIMNAZIJA MARIBOR

Maribor, 2017

»Mladi za napredek Maribora 2017«

## **34. srečanje**

# **MOBILNA ČISTILNA NAPRAVA ZA OBDELAVO PITNE VODE V DRŽAVAH V RAZVOJU**

Varovanje okolja

Raziskovalna naloga

PROSTOR ZA NALEPKO



**Maribor, 2017**

# KAZALO VSEBINE

<b>KAZALO VSEBINE</b> .....	<b>1</b>
<b>KAZALO SLIKOVNEGA GRADIVA</b> .....	<b>3</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC</b> .....	<b>3</b>
<b>POVZETEK</b> .....	<b>4</b>
<b>ZAHVALA</b> .....	<b>5</b>
<b>1 UVOD</b> .....	<b>6</b>
<b>2 CILJI IN HIPOTEZE</b> .....	<b>7</b>
2.1 CILJI.....	7
2.2 HIPOTEZE .....	7
<b>3 TEORETIČNI DEL</b> .....	<b>8</b>
3.1 VODA .....	8
3.2 VODA V UGANDI .....	9
3.3 FILTRIRANJE VODE .....	9
3.4 DEZINFEKCIJA VODE.....	9
3.5 MIKROBIOLOŠKI PARAMETRI.....	10
3.5.1 Razlogi za uporabo fekalnih indikatorskih bakterij.....	10
3.5.2 Koliformne bakterije.....	10
3.5.3 <i>Escherichia coli</i> .....	10
3.5.4 Število kolonij pri 37°C .....	11
3.6 DOLOČANJE MOTNOSTI VODE.....	11
3.7 HIDRAVLIČNA MIZA .....	13
3.8 FILTRIRNI MATERIALI .....	15
3.8.1 Filtrirni pesek .....	15
3.8.2 Aktivno oglje.....	15
<b>4 METODOLOGIJA DELA</b> .....	<b>16</b>
4.1 IZDELAVA ČISTILNE NAPRAVE .....	16
4.1.1 Izdelava črpalke.....	16
4.1.2 Priprava filtrirnega stolpa.....	18
4.2 DOLOČANJE KARAKTERISTIKE ČRPALKE .....	20
4.2.1 Črpalka 1 – Ime črpalke .....	21
4.2.2 Črpalka 2 - Wolfcraft 2207.....	22
4.3 PREIZKUS FILTRIRNIH MATERIALOV .....	24
4.3.1 Merjenje padca tlaka .....	25

4.3.2 Merjenje motnosti.....	27
4.3.3 Biološki parametri.....	27
<b>5 REZULTATI IN ANALIZA .....</b>	<b>30</b>
5.1 REZULTATI MERITEV PADCEV TLAKA IN MOTNOSTI VODE PRI RAZLIČNIH FILTRIRNIH MATERIALIH ALI KOMBINACIJAH FILTRIRNIH MATERIALOV .....	30
5.1.1 Filtrirni pesek.....	30
5.1.2 Aktivno oglje.....	30
5.1.3 Tkanina.....	31
5.1.4 Slama.....	31
5.1.5 Kombinacija 1 (Slama, tkanina, tkanina, pesek, pesek).....	32
5.1.6 Kombinacija 2 (Tkanina, aktivno oglje, aktivno oglje, pesek, pesek).....	32
5.2 REZULTATI MIKROBIOLOŠKE RAZISKAVE.....	32
<b>6 INTERPRETACIJA .....</b>	<b>33</b>
6.1 PADEC TLAKA.....	33
6.2 MOTNOST.....	33
6.3 MIKROBIOLOŠKA ANALIZA.....	33
<b>7 SKLEPI.....</b>	<b>34</b>
7.1 ZAKLJUČKI.....	34
7.2 SLABOSTI, KI JIH LAHKO ODPRAVIMO.....	35
7.3 UPORABNA VREDNOST NALOGE.....	36
<b>8 DRUŽBENA ODGOVORNOST .....</b>	<b>37</b>
<b>9 SEZNAM VIROV IN LITERATURE.....</b>	<b>38</b>
9.1 LITERATURA .....	38
9.2 VIRI.....	38
9.3 VIRI SLIKOVNEGA GRADIVA .....	39
<b>PRILOGE .....</b>	<b>40</b>

## KAZALO SLIKOVNEGA GRADIVA

Slika 1 Površinski vodni vir .....	9
Slika 2 E. coli (Vir: Encyclopedia Britannica).....	11
Slika 3 Turbidimeter.....	12
Slika 4 Vzorec motne vode .....	12
Slika 5 Skica hidravlične mize .....	14
Slika 6 Črpalka .....	18
Slika 7 Člen filtrirnega stolpa.....	18
Slika 8 Filtrirni stolp .....	19
Slika 9 Levo: merilna cev, desno: barometer .....	20
Slika 10 Črpalka Wolfcraft 2207.....	22
Slika 11 Črpalka Wolfcraft 2207 med obratovanjem.....	24
Slika 12 Vezava črpalke .....	24
Slika 13 Zaporedje preizkusa materialov .....	25
Slika 14 Shematski prikaz vezave filtrirnega stolpa .....	26
Slika 15 Vzorec pred dodajanjem E. coli .....	29
Slika 16 Vzorec pred filtriranjem.....	29
Slika 17 Vzorec po filtriranju .....	29
Slika 18 Tkanina.....	31
Slika 19 Slama.....	31
Slika 20 Vzorci vode: Pred dodajanjem E. coli, pred filtracijo in po filtraciji.....	32
Slika 21 Poševen položaj merilnega valja.....	36

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1 Preglednica trdote vode .....	16
Preglednica 2 Meritve pri črpalki 1 .....	21
Preglednica 3 Meritve pri črpalki 2 .....	23
Preglednica 4 Rezultati meritev padca tlaka .....	30
Preglednica 5 Rezultati meritev motnosti .....	30
Preglednica 6 Rezultati mikrobiološke raziskave .....	32
Preglednica 7 Filtrirni materiali razvrščeni po učinkovitosti bistrenja vode .....	34

## **POVZETEK**

V okviru raziskovalne naloge sem izdelal načrte za izdelavo mobilne čistilne naprave, sestavljene iz centrifugalne črpalke in zaporednih filtrirnih členov, ki jo je mogoče sestaviti kjer koli na svetu z uporabo osnovnega orodja in dostopnih materialov. V nadaljevanju sem jo tudi fizično izdelal in preizkusil njeno učinkovitost. Raziskal sem lastnosti različnih filtrirnih materialov, ki so dostopni tudi v državah v razvoju. Meril sem padce tlaka skozi filter, karakteristiko črpalke in spremembo motnosti vode pred in po prehodu skozi filter. Na podlagi rezultatov sem sestavil optimalno kombinacijo filtrirnih materialov in opravil mikrobiološko analizo načrtno kontaminirane vode pred in po prehodu skozi filter.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se vsem, ki so pripomogli k nastanku raziskovalne naloge. Najprej svojima mentorjema, ki sta me vodila skozi proces izdelave raziskovalne naloge, mi pomagala s koristnimi nasveti in omogočila preizkus čistilne naprave v laboratoriju za termoenergetiko na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo. Zahvalil bi se tudi g. Janezu Zadravcu, direktorju družbe Deutz Engineering, ki mi je zelo prijazno priskočil na pomoč pri snovanju centrifugalne črpalke in filtrirnega stolpa. Nazadnje bi se rad zahvalil profesorjem naše šole, ki so mi pomagali izvesti mikrobiološke raziskave.

# 1 UVOD

Čista pitna voda je osnovna naravna dobrina. Čeprav je neoporečna pitna voda ključnega pomena za zdravo življenje, si žal velik del svetovnega prebivalstva tega še zdaleč ne more privoščiti. Voda ima odlično samočistilno sposobnost, a si žal v času hitrih podnebnih sprememb in hitrega porasta prebivalstva vse težje privoščimo, da dolgotrajen proces poteče po naravni poti.

Vode ne potrebujemo zgolj za pitje. Dostop do čiste vode je pomemben tudi za pripravo hrane, rekreacijo, osebno higieno itd. Pomanjkanje čiste vode prebivalce nerazvitih območij prisili k uporabi površinskih voda, - rek in jezer, ki so pogosto vprašljive kakovosti in predstavljajo resno grožnjo za zdravje. Tveganje je povečano tudi pri shranjevanju vode, saj na tak način ustvarimo odlične pogoje za razmnoževanje vodnih mikroorganizmov in drugih prenašalcev bolezni. Takšno stanje pojasnjuje dejstvo, da tudi v današnjem času vsako uro na področju Afrike zaradi uporabe neprimerno obdelane vode umre kar 115 ljudi. (Water (25. 1. 2017))

Vode ne primanjkuje le na področjih, kjer temu pogojuje sušno podnebje. Pogosto je prav nasprotno, saj zaradi prisotnosti povzročiteljev tropskih bolezni, vode primanjkuje na področjih, za katera je sicer značilna visoka količina padavin.

Z naraščanjem prebivalcev in hitro urbanizacijo se stanje še poslabšuje. Pomanjkanje vode dandanes prizadene kar eno izmed treh oseb na področju Afrike. (Water, health and ecosystems (25. 1. 2017))

Pomembno je, da se začnemo zavedati, da je za trajnostne spremembe potreben drugačen pristop. Tamkajšnje težave je dolgoročno nesmiselno reševati z denarno ali materialno pomočjo. K razvoju lahko največ pripomoremo s prenosom praktičnih znanj, ki so ključnega pomena za lokalne prebivalce.

Raziskovalna naloga je idejno nastala pod okriljem projekta Uganda 2017 na naši šoli, s katerim želimo med drugim spodbuditi prej omenjen koncept. Naloga se osredotoča na izdelavo modela mobilne čistilne naprave za uporabo na področju jezera Bunyonyi v Ugandi.



## **2 CILJI IN HIPOTEZE**

### **2.1 Cilji**

1. Narediti načrt in fizično izdelati funkcionalno vodno črpalko, ki jo je možno sestaviti kjer koli z uporabo 3D tiskalnika in osnovnega orodja.
2. Narediti načrte in fizično izdelati prečiščevalne člene – filtrirni stolp za mehansko čiščenje vode.
3. Izračunati padce tlaka v filtrirnem stolpu za različne kombinacije filtrirnih materialov.
4. Določiti karakteristiko razvite črpalke.
5. Raziskati možne kombinacije čim cenejših in v naravi dostopnih materialov za dezinfekcijo in filtracijo vode ter njihovo učinkovitost.
6. Ugotoviti možne dejavnike tveganja pri pitju neprečiščene vode na območju Ugande.

### **2.2 Hipoteze**

H1 Motna in obarvana voda bo po prehodu skozi filter opazno bolj transparentna in brez vidne obarvanosti.

H2 Voda, okužena z bakterijo E. coli bo po prehodu skozi filter vsebovala manjše število bakterij, a še vedno nad dovoljeno mejo za pitno vodo v Sloveniji (Pravilnik o pitni vodi (Ur.l. RS št. 19/04, 35/04))

H3 Kombinacije filtrirnih materialov bodo bolj učinkovite kot samo ena vrsta filtrirnega materiala.

H4 Različne kombinacije filtrirnih materialov bodo različno učinkovite.

H5 Pri višjem padcu tlaka (manjšem pretoku), bo voda imela boljše organoleptične lastnosti (brez vonja in barve).

## 3 TEORETIČNI DEL

### 3.1 Voda

Voda je odličen medij za razvoj različnih vrst mikroorganizmov, k čemer odločilno pripomorejo tudi konstante visoke temperature, značilne za tropska območja. Prisotnost mikroorganizmov ni nujno strogo nezaželena. Nekatere vrste bakterij na primer pomagajo pri razgradnji raztopljenih strupov. (Water Microbiology (25. 1. 2017))

Izrazit problem nastane, če so v viru pitne vode ali v vodi za pripravo hrane, pranje oblačil in osebno higieno prisotni patogeni mikroorganizmi. Po podatkih WHO (World Health Organization) vsako leto v povezavi z oporečno vodo umre 5 milijonov ljudi, od katerih 50% zaradi črevesnih obolenj. Za okužbo so najbolj dovzetni otroci do 5 let. (Drinking-water (25. 1. 2017))

Ljudje že od prazgodovine iščejo načine za filtracijo in dezinfekcijo pitne vode. Od začetka 20. stoletja je najbolj razširjena kemična dezinfekcija z uporabo klora in klorovih derivatov, vedno bolj je v veljavi tudi dodajanje ozona in dezinfekcija z ultravijoličnimi žarki. Mikroorganizme lahko tudi fizično odstranimo iz vodnega vira s prečrpavanjem skozi vodne filtre. Današnja tehnologija omogoča izdelavo filtrov z membranami ki ne prepuščajo praživali, bakterij in celo virusov. (Materials in water filtration (25. 1. 2017))

Na žalost si povsod po svetu še zdaleč ne morejo privoščiti mehanizacije in kemikalij za izvajanje modernih načinov dezinfekcije. Okužbe s pitno vodo so še zmeraj velik problem. V mnogih deželah po svetu ni uradno določenih predpisov za mejne vrednosti vsebnosti mikroorganizmov in strupenih snovi. Prav tako vodni viri niso redno kontrolirani. Veliko grožnjo pogosto predstavljajo tudi neustrezno obdelane odpadne vode, ki pridejo v stik z virom pitne vode. Uganda je tak primer. (Guidelines for drinking water quality, 2004)

»Pitna voda je zdravstveno ustrezna, kadar ne vsebuje mikroorganizmov ali zajedavcev in njihovih oblik v številu, ki lahko predstavlja nevarnost za zdravje ljudi; ne vsebuje snovi v koncentracijah, ki same ali skupaj z drugimi snovmi predstavljajo nevarnost za zdravje ljudi; je skladna z zahtevami iz predpisov (skladnost mora biti zagotovljena na mestih, na katerih se voda uporablja kot pitna voda).« (Kajfež-Bogataj, 2014, str. 300)

## 3.2 Voda v Ugandi

Na področju Ugande ima dostop do vode, varne za pitje le 65% prebivalstva. Razlogov je več. Eden izmed najpomembnejših je gradnja nenačrtovanih bivalnih območij, kjer ima dostop do vodovoda le 17% prebivalcev. Veliko ljudi pije vodo iz površinskih virov, ki so močno onesnaženi, k čemer pripomore slaba regulacija odpadnih voda. K onesnaženosti pripomore tudi izjemno hiter naravni prirastek – prebivalstvo se vsako leto poveša za 5%. Kljub temu vse ni tako črno. V zadnjih desetih letih je na tem področju prišlo do izrazitih izboljšav. Leta 2009 so se na primer pričeli programi Water.org, s katerimi se je zbralo okoli 2,3 milijona ameriških dolarjev pomoči. Programi so do sedaj pripomogli k vodni oskrbi za okoli 78000 prebivalcev Ugande. (Uganda's water crisis (25. 1. 2017))



*Slika 1 Površinski vodni vir (Vir: samaritanspurse.org)*

## 3.3 Filtriranje vode

»Filtriranje je postopek mehanskega čiščenja vode prek različnih medijev (pesek, umetne membrane ipd.) S filtracijo lahko zadržimo različno velike delce, tudi zelo drobne (mikrofiltracija, ultrafiltracija ipd.)« (Kajfež-Bogataj, 2014, str. 290)

## 3.4 Dezinfekcija vode

»Dezinfekcija je uničevanje ali inaktiviranje večine mikroorganizmov, vključno z zdravju škodljivimi mikroorganizmi, z uporabo kemijskih (ozon, klor ipd.), fizikalnih (visoka temperatura, UV-žarčenje ipd.) in drugih metod.« (Kajfež-Bogataj, 2014, str. 290)

## **3.5 Mikrobiološki parametri**

### **3.5.1 Razlogi za uporabo fekalnih indikatorskih bakterij**

Med najpomembnejše črevesne bolezni, ki se širijo s pomočjo površinskih voda v centralni Afriki, spadata kolera in salmonela. Bakterije, ki ju prenašajo, so značilne za fekalno onesnaženo vodo.

Ker je prisotnost patogenih bakterij v vodnih virih nepredvidljiva, pogosto omejena, načini izolacije pa dragi in zahtevni, žal v mnogih deželah mikrobiološke analize ne pridejo v poštev. Voda je varna za pitje le, če ne vsebuje patogenih bakterij.

Zaradi enostavnosti se za analize pogosto uporabijo indikatorske bakterije. Dobre indikatorske bakterije morajo izpolniti naslednje zahteve: (1) v velikih številih morajo biti prisotne v človeškem črevesju, (2) ne smejo biti patogene za človeka, (3) zaznava in izolacija iz površinskih voda mora biti enostavna in čim cenejša, (4) morajo imeti podobne za rast populacije optimalne razmere kot patogeni – temperatura, pH, potreba po hranilih ... (João P. S. Cabral, 2010)

### **3.5.2 Koliformne bakterije**

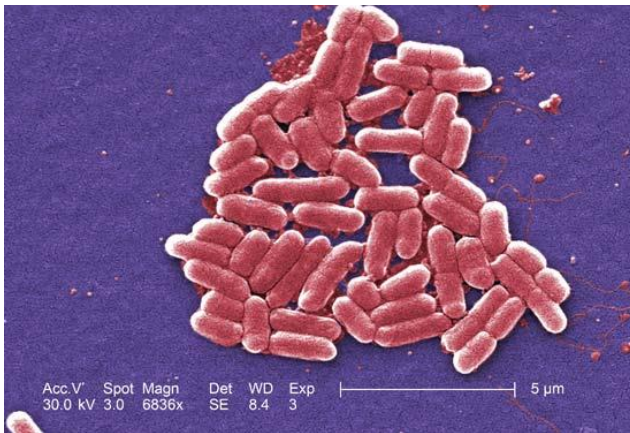
Koliformne bakterije so skupina Gram negativnih bakterij, ki ne tvorijo spor. Zanje je značilno, da fermentirajo laktozo pri 35–37 °C. So pogosto uporabljene kot indikatorji kvalitete vode, vendar jih ne smemo vedno povezovati s fekalno onesnaženostjo. Mednje spada tudi *E. coli*. (João P. S. Cabral, 2010)

### **3.5.3 *Escherichia coli***

Zaradi omenjenih značilnosti optimalnih indikatorskih bakterij, sem se za namene raziskovalne naloge odločil uporabiti ne patogen sev *E. coli*.

*Escheria coli* (*E. coli*) je vrsta bakterij rodu *Enterobacteriaceae* – oksidaza negativnih, katalaza pozitivnih paličastih aerobnih bakterij, za katere je značilna fermentacija laktoze. *E. coli* je ključnega pomena za človeško (živalsko) prebavo in je v velikem številu prisotna kot del črevesne mikroflore. Večina sevov je za človeka ne patogenih, nekaj jih povzroča črevesne ali zunaj črevesne okužbe (vnetje sečil, meningitis, peritonitis, mastitis, septikemija, pljučnica). (João P. S. Cabral, 2010)

Po Pravilniku o pitni vodi (Ur.l. RS št. 19/04, 35/04) so bakterije *Escherichia coli* uvrščene v Prilogo I, del A, med mikrobiološke parametre. Mejna vrednost za *E. coli* v pitni vodi je: 0 /100 ml. (Opis indikatorskih elementov (25. 1. 2017))



Slika 2 *E. coli* (Vir: *Encyclopedia Britannica*)

### 3.5.4 Število kolonij pri 37°C

S tem parametrom določimo število fekalnih bakterij, ki so prisotne v vodi. V Sloveniji je mejna vrednost za število kolonij pri 37°C manj kot 100/mL.

V primeru, da voda vsebuje bakterije fekalnega izvora, ni primerna za pitje oz. jo je potrebno pred zaužitjem prekuhati. (Opis indikatorskih elementov (25. 1. 2017))

### 3.6 Določanje motnosti vode

Motnost vode je eno izmed meril pri določanju kakovosti pitne vode in nam pove, kolikšen del svetlobe prepušča določena snov (voda). Odvisna je od prisotnosti suspendiranih snovi in koloidnih delcev. Določamo jo v NTU enotah (nephelometric turbidity unit). Napravo za merjenje motnosti imenujemo turbidimeter. (Motnost (25. 1. 2017)), (Trdne suspendirane snovi (25. 1. 2017))



*Slika 3 Turbidimeter*



*Slika 4 Vzorec motne vode*

### 3.7 Hidravlična miza

Pri preizkusih čistilne naprave sem uporabljal hidravlično mizo. Hidravlična miza je osnovna naprava na katero se priključijo posamezni sklopi s katerimi se teoretično postavljeni modeli lahko simulirajo. V opisu so predstavljeni sestavni deli hidravlične mize in njihov namen. (Glej sliko 5)

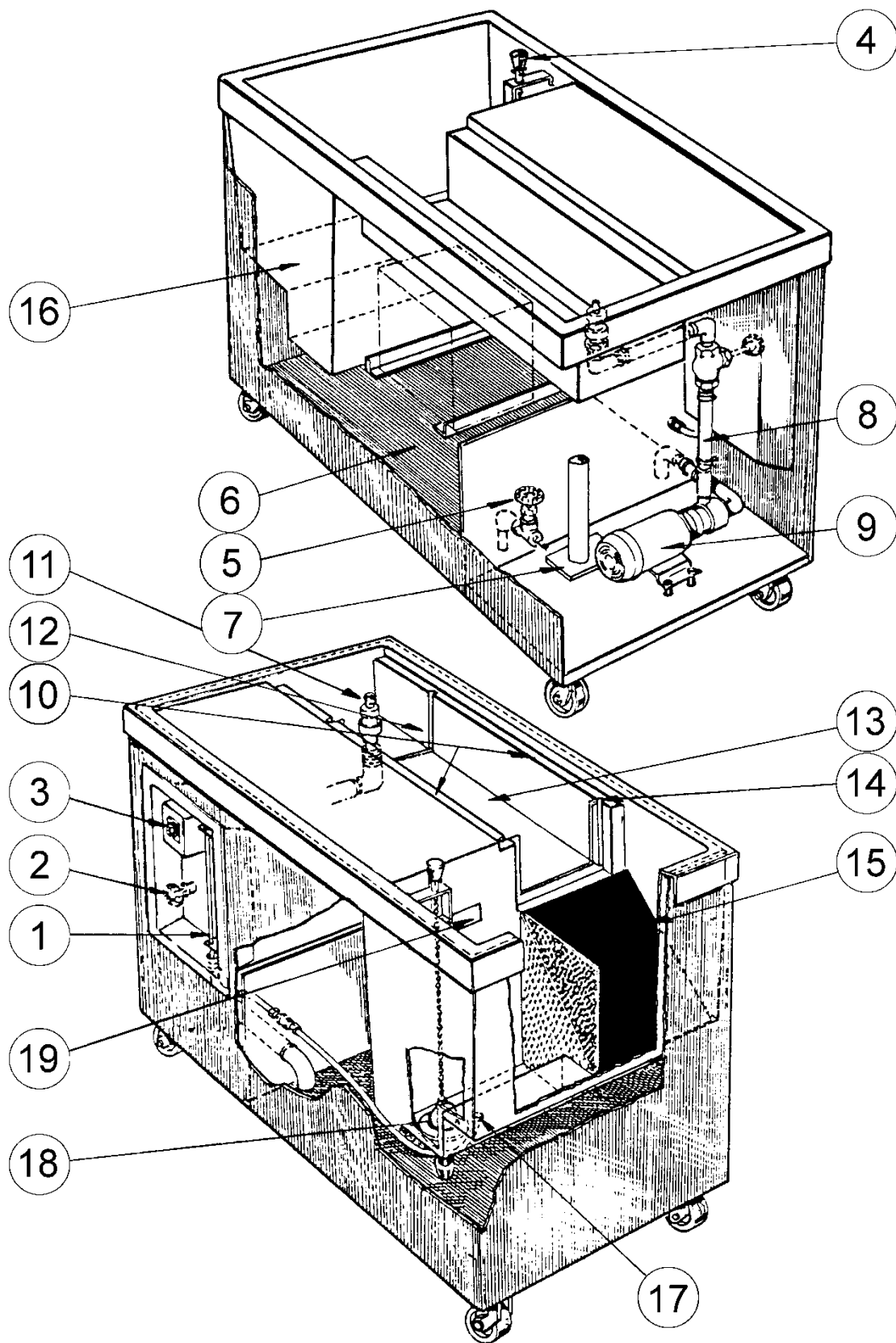
Opis delovanja hidravlične mize:

S pomočjo centrifugalne črpalke (9) se črpa voda iz zbirnega rezervoarja (6) v navpično cev (8). Na steni nameščen ventil (2) uporabljamo za regulacijo pretoka v cevi, ki se konča pri cevnem spoju (11), nameščenem na dno korita (13). Spoj (11) omogoča hitro montažo in demontažo posameznih naprav za izvedbo različnih eksperimentov brez uporabe dodatnega orodja.

Izpustni ventil (5) je vgrajen v steno zbiralnika in omogoča izpust vode. V stopničasti posodi (16) se zbira voda, ki izteka iz trenutno nameščene naprave. Nižji del stopničaste je v uporabi pri nižjih pretokih, če pa so pretoki veliki, je v posodo potrebno vstaviti del za umiritev toka (15), ki zmanjšuje turbulenco in s tem lažje odčitavanje volumna na merilni cevi (1).

Ventil (18) na dnu stopničaste posode omogoča ob uporabi vzvoda (4) povratek vode v zbirni rezervoar (6). V primeru nepravilne rabe izpustnega ventila (18), tekočina odteka skozi prelivno odprtino (19) v zbirni rezervoar.

Črpalko vklopimo s pomočjo stikala (3). (Interno gradivo FKKT)



Slika 5 Skica hidravlične mize (Vir: Interno gradivo FKKT)



## **3.8 Filtrirni materiali**

Najpomembnejši del mobilne čistilne naprave je filtrirni stolp<sup>1</sup>, sestavljeni iz členov, ki so napolnjeni z različnimi filtrirnimi materiali. Eden izmed ciljev raziskovalne naloge je bil raziskati učinkovitost različnih (kombinacij) filtrirnih materialov. Uporabil sem 4 različne materiale: slama (posušena pšenična stebela), tkanina (bombaž), filtrirni pesek za domače bazene in aktivno oglje (Merck).

### **3.8.1 Filtrirni pesek**

Filtracijo s filtrirnim peskom po navadi izvajamo v kombinaciji z drugimi filtracijskimi metodami. S filtrirnim peskom odstranimo grobe delce in netopne minerale kot npr. mangan in železo. Po določenem času obratovanja, moramo peščeni filter sprati z nasprotnim tokom vode. Poznamo dva načina filtracije s peskom: hitrega in počasnega. Pri počasnem moramo uporabiti zelo fin pesek, ki je zmožen adsorpcije mikroorganizmov, pri hitrem pa gre predvsem za fizično ujetje trdnih delcev v špranje med peščenimi delci. (Natural materials (25. 1. 2017))

Pri svoji mobilni čistilni napravi sem uporabil filtrirni pesek za bazenski peščeni filter granulacije 0,4 – 0,8 mm.

### **3.8.2 Aktivno oglje**

Aktivno oglje je zaradi svojih lastnosti (teža, pH, velikost delcev, razmerje med prostornino in površino delcev, poroznost) eden izmed najbolj uporabljenih filtrirnih materialov. Možno ga je izdelati iz naravnih materialov, kot so les, šotni mah, živalski ostanki ... Med molekulami so prisotne sile, ki privlačijo druge molekule. Uporablja se za odstranitev težkih kovin, raztopljenih kemikalij (pesticidi, insekticidi ...) in celo nekaterih tipov parazitov. Ogljeni filtri so nekoliko manj učinkoviti pri odstranjevanju delcev, ki so manjši od delcev aktivnega oglja. (Natural materials (25. 1. 2017))

---

<sup>1</sup> Filtrirni stolp je mogoče uporabiti tudi brez črpalke, ki sicer omogoča hitrejši pretok.

## 4 METODOLOGIJA DELA

### 4.1 Izdelava čistilne naprave

V okviru raziskovalne naloge sem želel izdelati model mobilne čistilne naprave, ki bi jo bilo mogoče čim ceneje z osnovnim orodjem in materiali izdelati kjerkoli na svetu. Čistilna naprava je sestavljena iz preproste centrifugalne črpalke, ki jo poganja vrtalni stroj, filtrirnega stolpa in dveh vodnih zbiralnikov. Črpalka močno pospeši proces filtriranja, vendar se da filtrirni stolp uporabiti tudi brez nje.

Pred pričetkom načrtovanja črpalke sem se zaradi nevarnosti zamašitve cevi ob daljšem obratovanju čistilne naprave pozanimal o trdoti vode v ciljnem vodnem viru.

»Trdota vode je kazalnik, ki pokaže koncentracijo alkalnih snovi v vodi, večinoma kalcija in magnezija. Ob ugodnih pogojih tvorita kalcij in magnezij vodni kamen, ki se nalaga v napravah v stiku z vodo« (Kajfež-Bogataj, 2014, str. 290)

#### *Preglednica 1 Preglednica trdote vode*

0 – 4 °dH	zelo mehka (destilirana voda)
4 – 8 °dH	mehka voda (deževnica)
8 – 18 °dH	srednje trda voda (večina vodovodnih vod)
18 – 30 °dH	trda voda
nad 30 °dH	zelo trda voda

Ugotovil sem, da karbonatna trdota v jezeru Bunyonyi znaša 6,5 °dH. Ker gre za mehko vodo, ni nevarnosti, da bi se ob daljšem obratovanju čistilne naprave zaradi vodnega kamna zamašile vodovodne cevi.

#### 4.1.1 Izdelava črpalke

Eden izmed zastavljenih ciljev je bil narediti načrte za izdelavo mobilne čistilne naprave, ki jo je mogoče z omejenim naborom orodij in materialov sestaviti kjer koli. Prototip črpalke in filtrirnega stolpa (prečiščevalnih členov) sem izdelal s pomočjo 3D tiskalnika (Makerbot replicator Z18). Tak način izdelave je razmeroma drag, vendar lahko z uporabo natisnjene

modela z lahkoto izdelamo silikonski kalup, ki nam kasneje služi za izdelavo cenejših in obstojnejših odlitkov.

Ob posvetovanju s strokovnjakom in preučevanjem zgradbe obstoječih črpalk, sem v programu Autodesk Inventor izdelal 3D modele in načrte (PRILOGA 2). Kasneje sem modele natisnil in sestavil.

Za izdelavo črpalke sem potreboval:

Materiali:

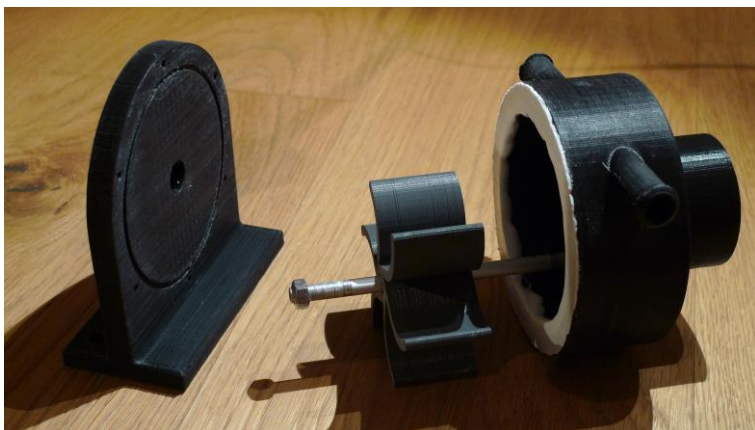
- 3D-natisnjeni modeli
- 26 vijakov DIN 965 A2 3.0 X16
- 2 podložki VZ6.4X20
- 2 podložki VZ6.4X25
- 1 matico DIN93 4 VZM 6
- Univerzalen silikon (Ceresit)
- Teflonski trak (Kirchoff)
- Plastična mrežica
- Kovinska os premera 6mm in dolžine 120mm

Orodja:

- Izvijač
- Pištola za silikon
- Žaga za kovino
- Klešče
- Nož

Izkazalo se je, da je črpalka sicer učinkovita, vendar pri izhodu vrtilne osi nekoliko pušča. Zaradi nevarnosti električnega udara, sem zato v nadaljevanju uporabljal industrijsko izdelano črpalko podobnih specifikacij.

(Fotografije postopka izdelave so v prilogi 1)



*Slika 6 Črpalka*

#### **4.1.2 Priprava filtrirnega stolpa**

Glavni del mobilne čistilne naprave je skupek členov (filtrirni stolp), ki vsebujejo različne filtrirne materiale. Ker gre člene z lahkoto ločiti, je možno v kratkem času zamenjati vrsto ali zaporedje filtrirnih materialov. Členi so podobno kot črpalka narejeni v programu Autodesk Inventor in natisnjeni s 3D-tiskalnikom. Izdelal sem štiri navadne člene in dva končna. Vsak navaden člen in spodnji končni člen imajo v notranjosti pritrjeno gsto plastično mrežico (špranje v velikosti 1 mm), na kateri leži okrogel kos vlaknaste krpe, ki preprečuje prehajanje filtrirnega materiala v naslednji člen oz. iz filtrirnega stolpa. V tako pripravljen člen je mogoče nasuti filtrirni material.



*Slika 7 Člen filtrirnega stolpa*

Za izdelavo filtrirnega stolpa sem potreboval:

Materiali:

- Natisnjeni modeli
- Teflonski trak (Kirchoff)
- Gosta plastična mrežica
- Vlknasta krpa (Bombažna tkanina)
- 20 vijakov DIN 965 A2 3.0 X16
- Tesnilni obroček
- Tesnilni silikonski trak

Orodja:

- Izvijač
- Klešče
- Nož
- Škarje

Med prvimi preizkusi sem navoje med posameznimi členi zatesnil s teflonskim trakom, a se je način izkazal za neučinkovitega, saj je voda pri večjih tlakih močno uhajala. Kasneje sem se odločil uporabiti tesnilne obročke iz mehke gume. Ob podrobnejšem opazovanju sem ugotovil, da je voda uhajala tudi med sloji, ki nastanejo pri 3D-tisku. Problem sem rešil s silikonskim lepilnim trakom, s katerim sem prelepil obod filtrirnega stolpa. Ugotovil sem, da 3D-natisnjeni objekti torej niso najboljša izbira za izdelavo delov, kjer je tesnjenje ključnega pomena. Še vedno pa jih lahko uporabimo za izdelavo silikonskih kalupov, ki nam služijo za izdelavo končnega izdelka.



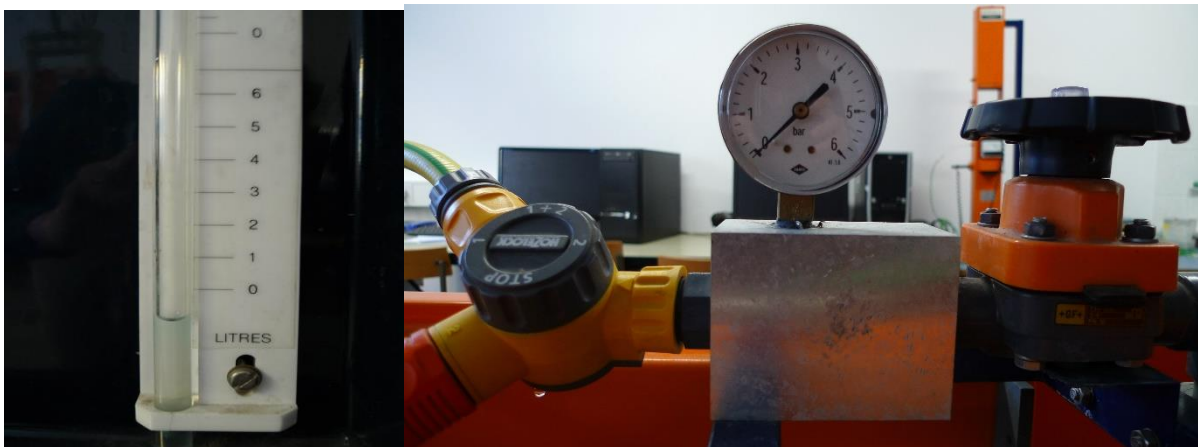
*Slika 8 Filtrirni stolp*

## 4.2 Določanje karakteristike črpalke

Hidravlične značilnosti centrifugalne črpalke lahko ponazorimo s Q-H krivuljo. Gre za preprosto kvadratično krivuljo, ki prikazuje razmerje med volumskim pretokom (količina vode, ki steče skozi izbran prečni prerez v določenem času) in tlakom med konstantnim obratovanjem črpalke. Tlačna višina pomeni razliko v energiji med sesalno in tlačno stranjo črpalke. Ker takšna krivulja služi kot dober prikaz učinkovitosti črpalke, jo navadno priskrbi izdelovalec črpalk. V okviru raziskovalne naloge sem določil karakteristiko dvema črpalkama. Prva<sup>2</sup> je večja in ima že vgrajen elektromotor. Drugo poganja vrtni stroj in je podobnih specifikacij ter dimenzij, kot tista, ki sem jo izdelal sam. (Pumps and pumping stations (25. 1. 2017))

Preizkuse sem opravljal na hidravlični mizi po naslednjem postopku:

1. Zagon črpalke s konstantnim obratovanjem.
2. Meritev maksimalnega tlaka, pri katerem je pretok ( $Q_v$ ) = 0 m<sup>3</sup>/s in določitev gostote meritev.
3. Nastavitev pretoka z ventilom.
4. Zamašitev stopničaste posode in merjenje časa, potrebnega, da se prečrpa določen volumen, ki ga odčitamo v merilni cevi.<sup>3</sup>
5. Odprtje ventila na dnu stopničaste posode in sprostitev vode nazaj v zbiralno posodo.
6. Ponovitev postopka vključno s korakom 3, pri manjšem pretoku



*Slika 9 Levo: merilna cev, desno: barometer*

---

<sup>2</sup> Uporabil sem jo za preizkus filtrirnega stolpa.

<sup>3</sup> Pri večjem pretoku sem, z namenom omejitve merske napake, opravil več meritev pri večjem volumnu (10L) in nato izračunal aritmetično sredino, pri manjših pretokih pa le eno meritev pri manjšem volumnu (6L/ 5L/ 3L).

Po meritvah sem izračunal hidravlično višino (H) z enačbo:

$$p = \rho g H$$
$$H = \frac{p}{\rho g}$$

$p$  [Pa] – tlak

$H$  [m] – hidravlična višina

$\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] – gostota vode

$g$  [m/s<sup>2</sup>] – težni pospešek

in volumski pretok z enačbo:

$$Q_v = \frac{V}{t}$$

$t$  [s] – čas

$V$  [m<sup>3</sup>] – volumen

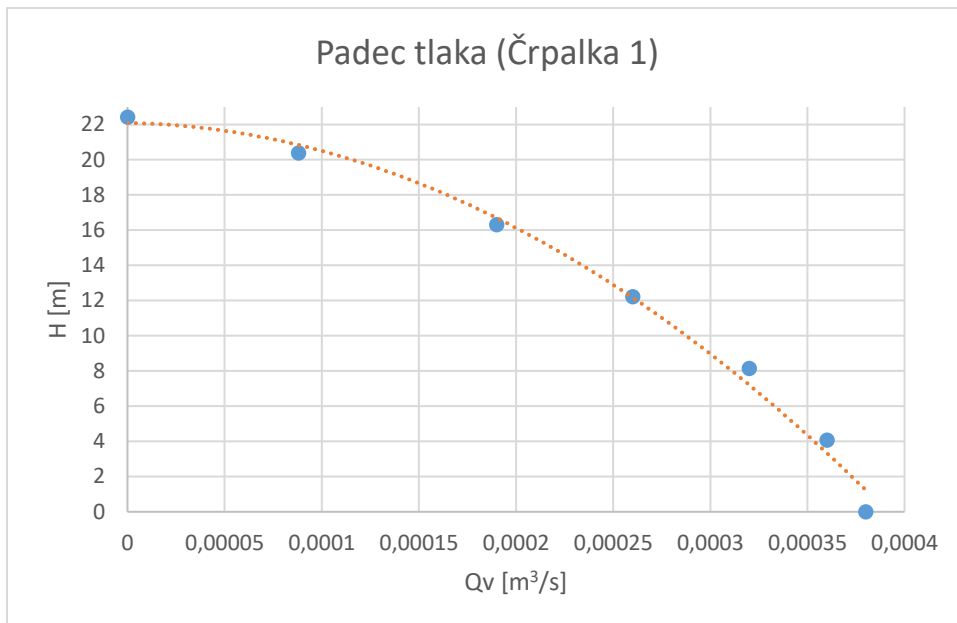
$Q_v$  [m<sup>3</sup>/s] – volumski pretok

Na zadnje sem podatke vnesel v Microsoft Excel in izrisal polinomsko krivuljo.

#### 4.2.1 Črpalka 1 – Pedrollo CPm130

*Preglednica 2 Meritve pri črpalki 1*

Tlak [Bar]	Hidravlična višina [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Čas [s]	Pretok [m <sup>3</sup> /s]
0	0	0,010	26	0,00038
0,4	4,1	0,010	28	0,00036
0,8	8,2	0,010	31	0,00032
1,2	12,2	0,010	39	0,00026
1,6	16,3	0,010	54	0,00019
2,0	20,4	0,005	57	0,000088



*Graf 1 Karakteristika črpalke 1*

Na osnovi karakteristične krivulje je razvidno, da maksimalni tlak črpalke znaša 2,2 Bar oziroma 22 m hidravlične višine.

#### **4.2.2 Črpalka 2 - Wolfcraft 2207**

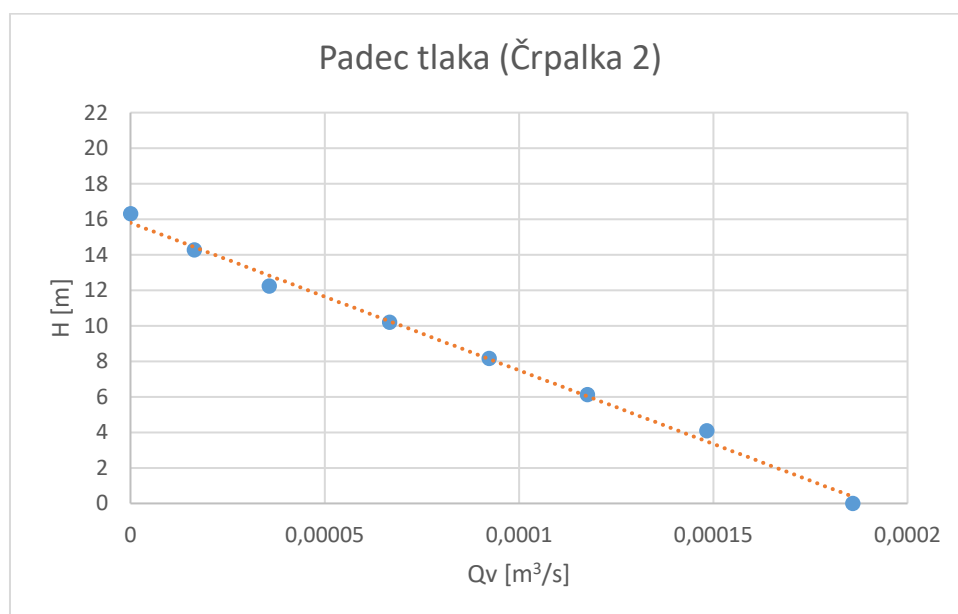


*Slika 10 Črpalka Wolfcraft 2207 (Wolfcraft water pump (25. 1. 2017))*



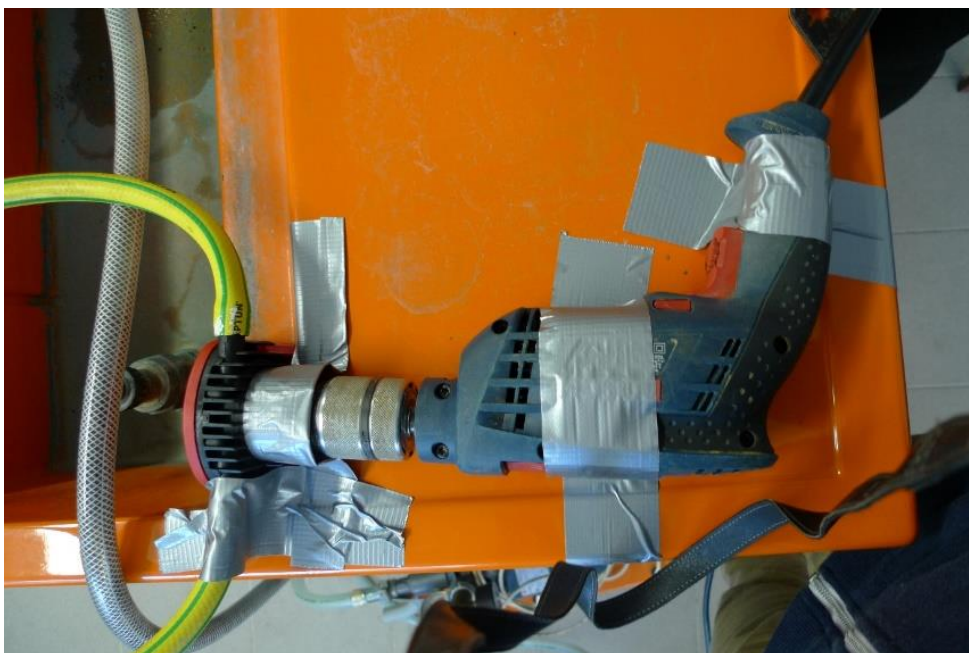
Preglednica 3 Meritve pri črpalki 2

Tlak [Bar]	Hidravlična višina [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Čas [s]	Pretok [m <sup>3</sup> /s]
0	0	0,010	54	0,0001859
		0,010	54	
		0,006	32	
0,4	4,1	0,006	39	0,0001483
		0,006	42	
0,6	6,1	0,006	51	0,0001176
0,8	8,2	0,006	65	0,0000923
1	10,2	0,003	45	0,0000667
1,2	12,2	0,002	56	0,0000357
1,4	14,3	0,001	61	0,0000164

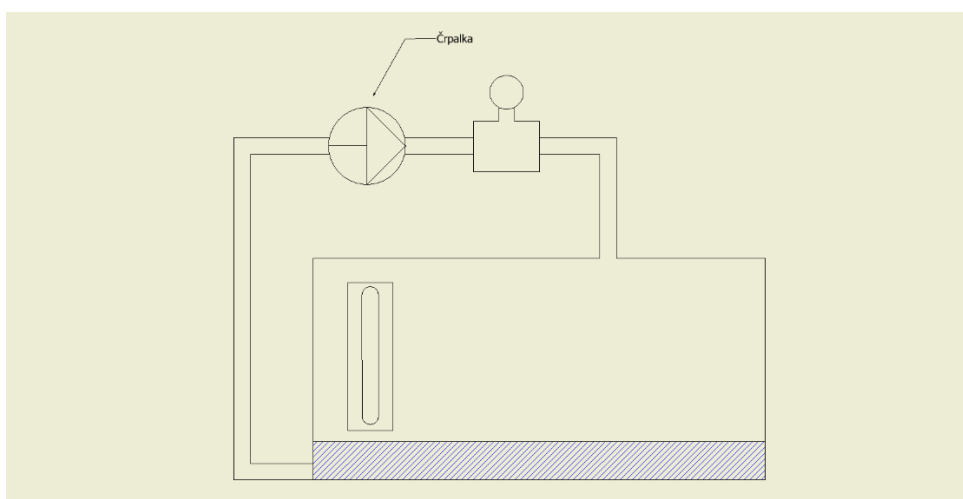


Graf 2 Karakteristika črpalke 2

Na osnovi karakteristične krivulje je razvidno, da maksimalni tlak črpalke znaša 1,6 Bar oziroma 16,3 m hidravlične višine.



*Slika 11 Črpalka Wolfcraft 2207 med obratovanjem*



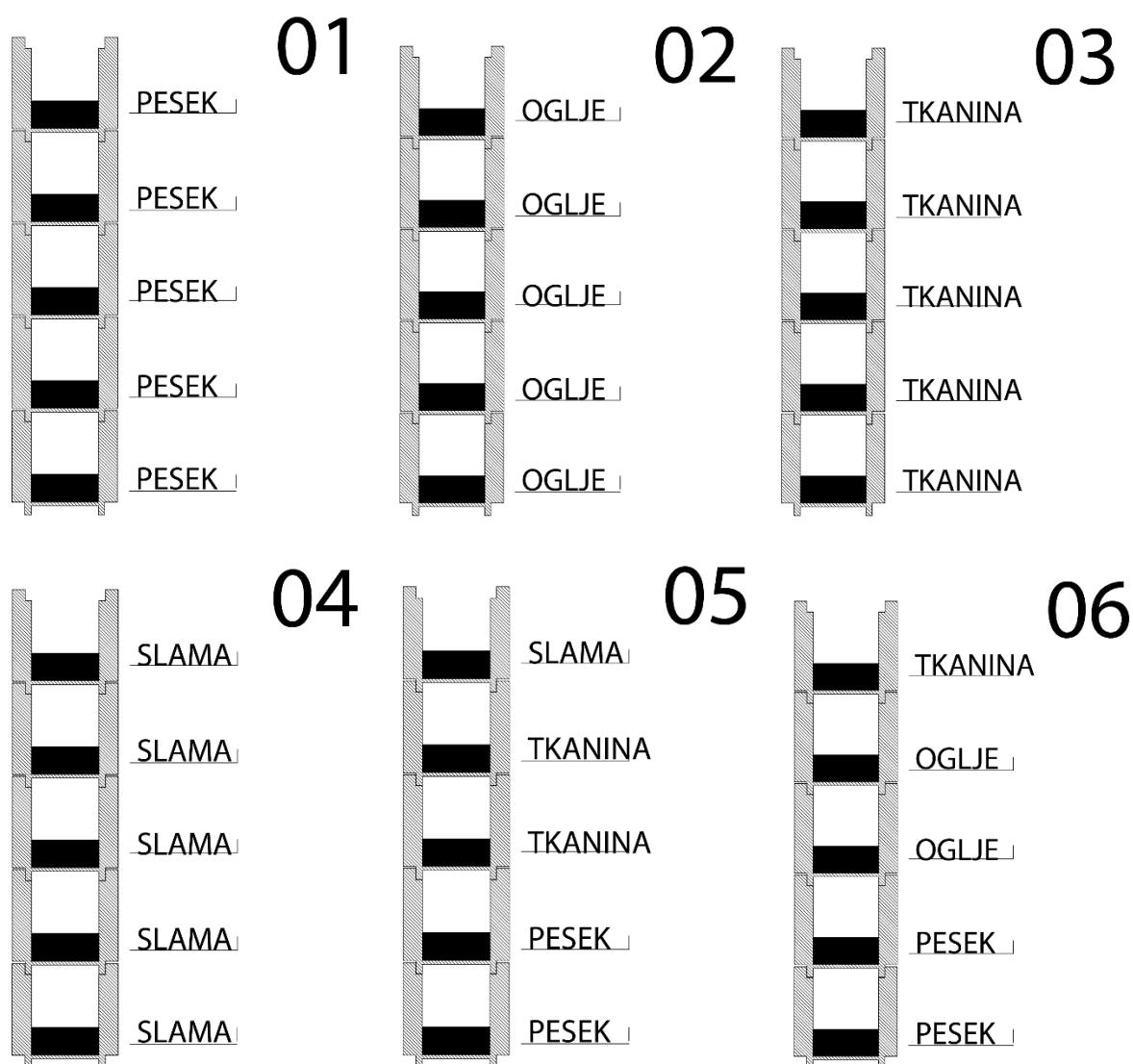
*Slika 12 Vezava črpalke*

### **4.3 Preizkus filtrirnih materialov**

Da bi ugotovil praktično uporabnost filtrirnih materialov, sem izvedel meritve padca tlaka med pretokom vode skozi filter, spremembe motnosti ciljano kaljene vode in zmožnost filtracije vnesenih mikroorganizmov (*E. coli*).

Najprej sem vse člene filtrirnega stolpa (5) napolnil z istim filtrirnim materialom in izvedel preizkuse za posamezne materiale. Z zbranimi podatki sem nato sestavil dve različni kombinaciji filtrirnih materialov.

Zaporedje preizkusa materialov:



Slika 13 Zaporedje preizkusa materialov

#### 4.3.1 Merjenje padca tlaka

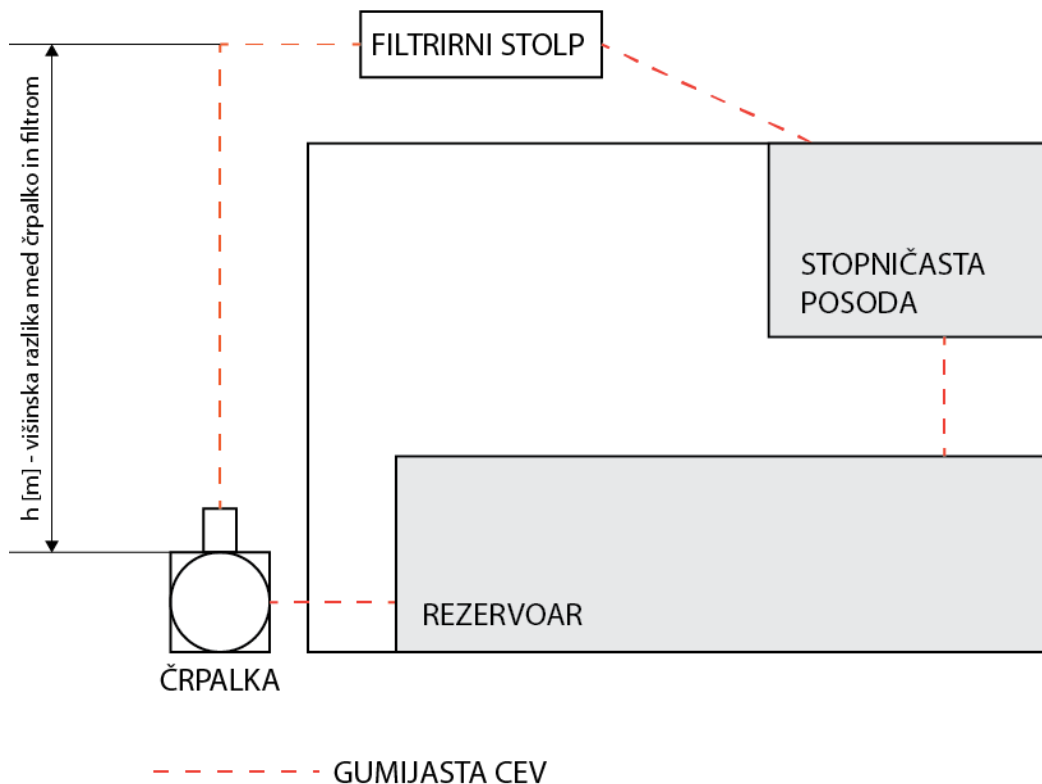
Postopek:

1. Polnjenje členov s filtrirnim materialom.
2. Priključitev stolpa na črpalko (slika, skica).
3. Vklon črpalke.
4. Meritev pretoka (volumen v enoti časa).

Vse meritve sem izvedel trikrat, da bi zmanjšal vpliv merskih napak. Ko sem zbral podatke za vse materiale, sem s pomočjo grafa karakteristike uporabljene črpalke in kvadratne funkcije, ki jo prikazuje, izračunal hidravlično višino pri izmerjenih pretokih.

Kvadratna funkcija karakteristike črpalke:

$$H = -1,39168E+08Q_v^2 - 1,98994E+03 Q_v + 2,20942E+01$$



Slika 14 Shematski prikaz vezave filtrirnega stolpa

Padec tlaka sem izračunal tako, da sem od izmerjenih hidravličnih višin odštel višinsko razliko med črpalko in filtrom  $\sim 1$  m.

$$\Delta p = \Delta H - h$$

$\Delta p$  [m] – padec tlaka

H [m] – hidravlična višina

h [m] – višinska razlika med črpalko in filtrom

### 4.3.2 Merjenje motnosti

V rezervoar hidravlične mize sem predhodno primešal zeolit Kaolinum ponderosum - Bolus alba. Med jemanjem vzorcev, sem vodo v rezervoarju neprestano mešal, da ne bi prišlo do posedanja delcev zeolita

### 4.3.3 Biološki parametri

Po preizkusu osnovnih materialov (4), sem na podlagi teoretičnega znanja in rezultatov meritev motnosti sestavil dve optimalni kombinaciji – št. 05 in št. 06. Izmed teh dveh sem nato izbral učinkovitejšo pri bistrenju in upoštevajoč teoretično znanje primernejšo – št. 6. in z njo opravil filtracijo vode, okužene z ne patogenim sevom E. coli. E. coli sem predhodno zgostil v hranilni tekočini. Vzorce sem shranil v sterilne kozarce za vlaganje. Vsak vzorec sem odvil dvakrat.

Postopek filtracije vode, okužene z ne patogenim sevom E. coli:

1. Zamenjava kalne vode v rezervoarju s svežo vodo iz vodovoda.
2. Odvzem prvega vzorca (voda pred dodajanjem E. coli).
3. Dodajanje E. coli v rezervoar hidravlične mize.
4. Zagon črpalke brez filtra.
5. Odvzem drugega vzorca (voda pred filtriranjem).
6. Ustavitev črpalke in namestitev filtra.
7. Zagon črpalke.
8. Odvzem tretjega vzorca (voda po filtraciji).

Vzorci sem nato odnesel v biološki laboratorij in razredčen vzorec nacepil na LB agar.

Pribor:

- 12 petrijevok
- 12 epruvel s pokrovčki
- Čaša 0,5L
- Čaša 0,3L
- Avtoklav
- Spatula v čaši z 90% etanolom
- Plinski gorilnik (Bunsen)
- Steklena paličica

- LB Agar
- Avtomatska pipeta

Postopek:

V biološkem laboratoriju sem pripravil 12 petrijevok z LB agarjem in 12 epruвет z 9 mL 0,9% raztopino NaCl (fiziološko raztopino). Petrijevke in epruветe sem primerno označil s črkami:

A – vzorec pred dodajanjem E. coli

B – vzorec pred filtriranjem

C – vzorec po filtriranju

Vzorcu sem v aseptičnem okolju razredčil s fiziološko raztopino na koncentracijo  $10^{-1}$  in  $10^{-2}$  po postopku:

1. Odmerjanje 1 mL izhodiščnega vzorca z avtomatsko pipeto v epruветo s fiziološko raztopino – tako dobimo razredčen vzorec  $10^{-1}$ .
2. Stresanje vsebine epruветe.
3. Odmerjanje 1 mL vzorca, ki sem ga predhodno razredčil na  $10^{-1}$  v epruветo s fiziološko raztopino – tako dobimo razredčen vzorec z  $10^{-2}$ .
4. Stresanje vsebine epruветe.
5. Odmeritev 100  $\mu$ L vzorca iz prve epruветe in prenos na LB agar v petrijevki
6. Dezinfekcija spatule s prižigom etanola, s katerim je obdana in razmaz vzorca po LB agarju
7. Ponovitev postopka za ostale vzorce.

Pripravljena LB gojišča sem nato dal za 18 ur v inkubator pri 37°C.

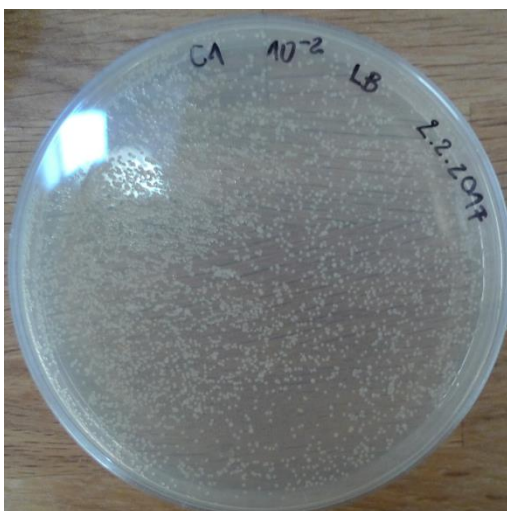
Po osemnajstih urah sem ugotovil, da so bile kolonije zaradi prevelikega števila neštene, zato sem vzorce ponovno razredčil, tokrat na  $10^{-4}$  in  $10^{-5}$ . Najjasnejši rezultati so nastali pri redčitvi na  $10^{-4}$ . Kolonije na gojiščih sem preštel in preračunal število bakterij na mililiter v nerazredčenem vzorcu.



*Slika 15 Vzorec pred dodajanjem E. coli*



*Slika 16 Vzorec pred filtriranjem*



*Slika 17 Vzorec po filtriranju*

## 5 REZULTATI IN ANALIZA

### 5.1 Rezultati meritev padcev tlaka in motnosti vode pri različnih filtrirnih materialih ali kombinacijah filtrirnih materialov

*Preglednica 4 Rezultati meritev padca tlaka*

	V [L]	t [S]	Qv [m <sup>3</sup> /s]	H [m]	Δp [m]
Pesek	6,0	80	0,000075	21,2	20,2
Aktivno oglje	1,0	43	0,000023	21,0	21,0
Tkanina	6,0	109	0,000055	21,6	20,6
Slama	1,0	19	0,000053	21,6	20,6
Kombinacija 1	1,0	27	0,000037	21,8	20,8
Kombinacija 2	0,5	75	0,000067	22,1	21,1

*Preglednica 5 Rezultati meritev motnosti*

	Motnost [NTU]		Razlika (absolutna vrednost)	Razlika [%]
	Pred filtracijo	Po filtraciji		
Filtrirni pesek	245,0	214,0	31,0	12,7
Aktivno oglje	285,0	213,5	71,5	25,0
Tkanina	264,5	150,5	114	43,1
Slama	265,5	195,5	61,0	22,9
Kombinacija 1	254,0	117,0	137,0	53,9
Kombinacija 2	272,0	59,0	213,0	78,3

#### 5.1.1 Filtrirni pesek

Filtrirni pesek se je izkazal za najmanj učinkovit material za bistrenje vode – ta se je zbistrla le za 12,7%. Zaradi mašenja por med zrcni peska je pretok s časom močno padal, zato je bilo potrebno filter večkrat izprati s tokom sveže vode v nasprotni smeri čiščenja ali menjati filtrirni pesek.

#### 5.1.2 Aktivno oglje

Aktivno oglje je bilo precej uspešno pri bistrenju vode, zbistrla se je za 25%, a je zaradi zelo majhne velikosti delcev prišlo do višjega padca tlaka, približno 21 m.



### 5.1.3 Tkanina

Bombažna tkanina se je pri bistrenju vode izkazala za najboljšo izbiro. Voda se je zbistrla za kar 43,1%. Padec tlaka je z 20,6 m takoj za peskom (20,2 m).



*Slika 18 Tkanina*

### 5.1.4 Slama

Slama je imela sorazmerno nizek padec tlaka, 20,6 m, a je bila z 22,9% nekoliko manj učinkovita pri bistrenju vode.



*Slika 19 Slama*

### 5.1.5 Kombinacija 1 (Slama, tkanina, tkanina, pesek, pesek)

Kombinacija 1 je imela nekoliko višji padec tlaka, 20,8 m in dobro zmožnost bistrenja, vode se je zbistrila za 53,9%.

### 5.1.6 Kombinacija 2 (Tkanina, aktivno oglje, aktivno oglje, pesek, pesek)

Kombinacija 2 je imela zelo slab pretok in s tem visok padec tlaka - kar 21,1 m. Izkazalo se je, da ima najboljšo zmožnost bistrenja vode, ta se je zbistrila za kar 78,3%.

## 5.2 Rezultati mikrobiološke raziskave

Ker se je kombinacija 2 izkazala za najboljšo izbiro pri bistrenju vode in je znano, da je aktivno oglje sorazmerno uspešno tudi pri zadrževanju mikroorganizmov, sem se odločil, da izvedem mikrobiološko analizo na vodi, prefiltrirani s to kombinacijo.

Kolonije sem preštel na gojiščih, na katere sem nanese 100  $\mu\text{L}$  vzorca z  $10^{-4}$  koncentracijo prvotnega. Podatke sem zbral v preglednico.

*Preglednica 6 Rezultati mikrobiološke raziskave*

Vzorec	Število kolonij (100 $\mu\text{L}$ vzorca z $10^{-4}$ koncentracijo prvotnega)	Število bakterij v nerazredčenem vzorcu na mililiter
Pred dodajanjem E. coli	2	200000
Pred filtriranjem	73	7300000
Po filtriranju	46	4600000



*Slika 20 Vzorci vode: Pred dodajanjem E. coli, pred filtracijo in po filtraciji*

## **6 INTERPRETACIJA**

### **6.1 Padec tlaka**

Med padci tlaka pri uporabi različnih kombinacij ni prišlo do pretirano velikih razlik. Kljub temu bi morali, če bi v primeru izgradnje večje čistile naprave želeli čim večji izkoristek, upoštevati dobljene rezultate. Potrdil sem, da sta padec tlaka in učinkovitost bistrenja določene sestave filtra v večini primerov povezana. Pri sestavah z višjimi padci tlaka (manjšim pretokom) je bila čistilna zmožnost višja. Za bistrenje najučinkovitejša sestava filtrirnega stolpa (kombinacija 2) je tako imela najvišji padec tlaka in bi bila energetsko zelo neučinkovita. Da bi z isto črpalko prečrpali 1 m<sup>3</sup> vode, bi potrebovali približno 41 ur <sup>4</sup> (sama črpalka bi isti volumen prečrpala v približno 44 minutah).

### **6.2 Motnost**

Različni materiali so se precej razlikovali v zmožnosti bistrenja umazane vode. Potrdil sem hipotezo, da bo kombinacija filtrirnih materialov učinkovitejša kot posamezni materiali. Skleпам, da prihaja do teh razlik predvsem zaradi različnih velikosti por v filtrirnih materialih, njihove vpojnosti in vrste suspendiranih delcev. Vsak material torej odstrani le delce z določenimi lastnostmi.

### **6.3 Mikrobiološka analiza**

Analiza je pokazala zmanjšanje števila bakterij po filtraciji, vendar je njihovo število še zmeraj precej nad dovoljeno vrednostjo v Sloveniji 0/100 mL. Če bi želeli prečiščeno vodo uporabiti za pitje, pripravo hrane ipd., bi jo morali predhodno izpostaviti visokim temperaturam, ji dodati dezinfekcijska sredstva, prežarčiti z UV-svetlobo ali uporabiti drugo dezinfekcijsko metodo. Ob močnem soncu, bi bila morebiti dovolj tudi daljša izpostavljenost sončnemu sevanju preko zbiralnih leč.

---

<sup>4</sup> V tem času bi lahko prišlo do ponovne kontaminacije stoječe vode.

## 7 SKLEPI

### 7.1 Zaključki

Z1: Voda je bila pri vseh filtrirnih materialih po prehodu skozi filter boljše kvalitete. S tem je prva hipoteza potrjena.

Z2: Mikrobiološka analiza je pokazala, da je voda po prehodu skozi filter s kombinacijo materialov št. 2 vsebovala manjše število kolonij kot na začetku. Število je še vedno močno presegalo mejno vrednost v Sloveniji 0/100 mL (Pravilnik o pitni vodi (Ur.l. RS št. 19/04, 35/04)). S tem je potrjena druga hipoteza.

Z3: Kombinaciji filtrirnih materialov sta se izkazali za dosti bolj učinkoviti pri bistrenju vode kot posamezni materiali. S tem je potrjena tretja hipoteza.

Z4: Različni kombinaciji filtrirnih materialov sta bili pri bistrenju različno učinkoviti. S tem je četrta hipoteza potrjena.

Z5: Večinoma so bile kombinacije s počasnejšim pretokom (visokim padcem tlaka) uspešnejše pri bistrenju vode. Izjema je tkanina, pri kateri je bila učinkovitost bistrenja 43,1%, padec tlaka pa samo 20,56 m. S tem je bila peta hipoteza delno potrjena.

*Preglednica 7 Filtrirni materiali razvrščeni po učinkovitosti bistrenja vode*

Mesto po učinkovitosti bistrenja	Material	Qv [m <sup>3</sup> /s]	H [m]	Δp [m]	Razlika v bistrosti vode [%]
1	Filtrirni pesek	0,000075	21,2	20,2	12,7
2	Slama	0,000053	21,6	20,6	22,9
3	Aktivno oglje	0,000023	22,0	21,0	25
4	Tkanina	0,000055	21,6	20,6	43,1
5	Kombinacija 1	0,000037	21,8	20,8	53,9
6	Kombinacija 2	0,000067	22,1	21,1	78,3

## 7.2 Slabosti, ki jih lahko odpravimo

Naloga je bila, sploh glede na razpoložljivi čas, zastavljena nekoliko preširoko. Bolje bi bilo, če bi področje raziskovanja nekoliko skrčil in ga raziskal bolj celovito. Pri nalogi bi se na primer lahko osredotočil samo na izdelavo filtrirnega stolpa, mašenja por filtra pri prehajanju umazane vode, prehajanje mikroorganizmov skozi različne filtrirne materiale ipd.

Potrebno je upoštevati tudi dejstvo, da so vode pogosto tudi kemično onesnažene in da motnost nikakor ni edin in zanesljiv pokazatelj kakovosti vode.

V prihodnosti bi lahko z raziskovanjem nadaljeval. Potrebno bi bilo raziskati učinkovitost drugih možnih kombinacij filtrirnih materialov, odvisnost padca tlaka od velikosti filtrirnega stolpa, izvesti kemijske analize pred in po čiščenju.

Pri merjenju pretočnosti so nastale manjše merske napake. Delež napak je verjetno posledica človeškega faktorja. Nastale so tudi zaradi postopnega mašenja por v filtru, nekoliko poševnega položaja merilnega valja s katerim sem meril prostornino ipd. Meritve sem sicer v večini primerov ponovil večkrat, vendar bi moral, če bi želel zagotoviti večjo zanesljivost, pred vsako meritvijo zamenjati filtrirni material. Kljub temu da sem uporabil tesnilne obročke in silikonski trak, nisem mogel zagotoviti popolnega tesnjenja. Vodo, ki je iztekla med navoji filtrirnih členov, sem upošteval kot mersko napako. Če bi želeli čistilno napravo dejansko uporabiti na terenu, bi bilo morda bolj smiselno namesto ločenih členov uporabiti en sam večji filter, v katerem bi posamezne filtrirne materiale ločevala tkanina. Na tak način bi se izognili odvečnemu puščanju pri navojih.



*Slika 21 Poševen položaj merilnega valja*

### **7.3 Uporabna vrednost naloge**

Naloga je bila že zasnovana z namenom zagotovitve trajne uporabne vrednosti izdelkov in pridobljenih podatkov. S pomočjo načrtov in 3D-modelov, ki sem jih izdelal v namene raziskave, je mogoče s katerim koli 3D-tiskalnikom narediti enako čistilno napravo in nadaljevati preizkuse. Pridobil sem nekatere pomembne podatke o filtrirnih materialih, ki bi lahko koristili pri načrtovanju večje čistilne naprave za uporabo v državah v razvoju. Izdelek je mogoče uporabiti tudi kot učni pripomoček za praktičen prikaz mehanskega čiščenja vode.

## 8 DRUŽBENA ODGOVORNOST

Smo v času hitrih podnebnih in družbenih sprememb. Prebivalstvo narašča hitreje kot kadarkoli poprej. S pridom vedno intenzivneje izkoriščamo naravne vire in pogosto ne razmišljamo o posledicah svojega nepremišljenega ravnanja. Narava ob vedno večjem stresu, ki ga s hitrim razvojem povzroča človek, več ne more zagotavljati ekološkega ravnovesja, kar ljudje ponekod že čutijo na lastni koži. Namen ekološkega ozaveščanja ni ustaviti razvoj pač pa spodbuditi celovit miselni preskok – vsak posameznik lahko s svojim nepremišljenim vedenjem in načinom življenja škodi, po drugi strani pa lahko vsak tudi po malem pripomore k izboljšanju stanja na globalni ravni.

Prav to zavedanje sem želel vzpodbuditi s svojo raziskovalno nalogo. Z izdelavo modela mobilne čistilne naprave in preizkušanjem filtrirnih materialov seveda ne morem rešiti vodne krize v Ugandi ali drugod po Svetu, vsekakor pa lahko na tak način vsaj malo pripomore k razumevanju zapsanega koncepta.

Raziskovalna naloga se tako dotika več področij družbene odgovornosti. Še posebej:

1. odgovornosti za vpliv (Vsak lahko po malem vpliva na skupno dobro.),
2. etičnega vprašanja (Ljudje si moramo medsebojno pomagati, med drugim tudi s prenosom znanja. Skrb za okolje je odgovornost vsakega posameznika, tudi če ga posledice neodgovornega ravnanja ne prizadenejo osebno.) in
3. spoštovanja človekovih pravic (Dostop do neoporečne pitne vode je osnovna človekova pravica.).

## 9 SEZNAM VIROV IN LITERATURE

### 9.1 Literatura

(2004). *Guidelines for drinking-water quality*. Geneva, World Health Organization.

<http://site.ebrary.com/id/10075418>.

KAJFEŽ-BOGATAJ, L., & LUNAČEK, I. T. (2014). *Planet Voda*. Ljubljana, Cankarjeva založba.

CABRAL, JOÃO P. S. (n.d.). Water Microbiology. Bacterial Pathogens and Water. Molecular Diversity Preservation International (MDPI).

<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2996186>.

### 9.2 Viri

Drinking-water. (Cit. 25.1.2017.) Pridobljeno s

<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/en/>

Materials in Water Filtration. (Cit. 25.1.2017.) Pridobljeno s

<http://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=582>

Motnost. (Cit. 25.1.2017.) Pridobljeno s [http://kemija.net/e-](http://kemija.net/e-gradiva/odvajanje_in_ciscenje_odpadnih_voda/2_0_Lastnosti_odpadnih_voda/motnost.html)

[gradiva/odvajanje\\_in\\_ciscenje\\_odpadnih\\_voda/2\\_0\\_Lastnosti\\_odpadnih\\_voda/motnost.html](http://kemija.net/e-gradiva/odvajanje_in_ciscenje_odpadnih_voda/2_0_Lastnosti_odpadnih_voda/motnost.html)

Natural Materials Used for Water Filtration. (Cit. 25.1.2017.) Pridobljeno s

<http://www.livestrong.com/article/165592-natural-materials-used-for-water-filtration/>

Opis indikatorskih elementov, ki jih najdemo v pitni vodi. (Cit. 25.1.2017.) Pridobljeno s

<http://www.kraski-vodovod.si/?stran=voda-indikatorski-parametri>

Pumps and pumping stations. (Cit. 25.1.2017.) Pridobljeno s [https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/pumps\\_and\\_pu.pdf](https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/pumps_and_pu.pdf)

Trdne suspendirane snovi. (Cit. 25.1.2017.) Pridobljeno s [http://kemija.net/e-](http://kemija.net/e-gradiva/odvajanje_in_ciscenje_odpadnih_voda/2_0_Lastnosti_odpadnih_voda/trdne_suspendirane_snovi.html)

[gradiva/odvajanje\\_in\\_ciscenje\\_odpadnih\\_voda/2\\_0\\_Lastnosti\\_odpadnih\\_voda/trdne\\_suspendirane\\_snovi.html](http://kemija.net/e-gradiva/odvajanje_in_ciscenje_odpadnih_voda/2_0_Lastnosti_odpadnih_voda/trdne_suspendirane_snovi.html)

Uganda's Water Crisis. (Cit. 25.1.2017.) Pridobljeno s <http://water.org/country/uganda/>



Water Microbiology. (Cit. 25.1.2017.) Pridobljeno s  
<http://science.jrank.org/pages/7311/Water-Microbiology.html>

Water, health and ecosystems. (Cit. 25.1.2017.) Pridobljeno s  
<http://www.who.int/heli/risks/water/water/en/>

Water. (Cit. 25.1.2017.) Pridobljeno s <http://www.afro.who.int/en/health-topics/topics/4415-water.html>

### **9.3 Viri slikovnega gradiva**

Slika 10 Wolcraft water pump (Cit. 26.1.2017.) Pridobljeno s:  
[https://guideimg.alibaba.com/images/shop/77/09/12/8/wolcraft-2202-water-pump-attachment\\_4633388.jpg](https://guideimg.alibaba.com/images/shop/77/09/12/8/wolcraft-2202-water-pump-attachment_4633388.jpg)

Slika 22 Površinski vodni vir - (Cit. 26.1.2017.) Pridobljeno s:  
<https://s3.amazonaws.com/spweb-uploads/2014/08/1436UG-A-1228-400x240.jpg>

Slika 23 E. coli - [Encyclopedia Britannica](#) (Cit. 26.1.2017.) Pridobljeno s:  
<https://media1.britannica.com/eb-media/87/141087-004-5369527A.jpg>

Slika 24 Skica hidravlične mize – interno gradivo Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo

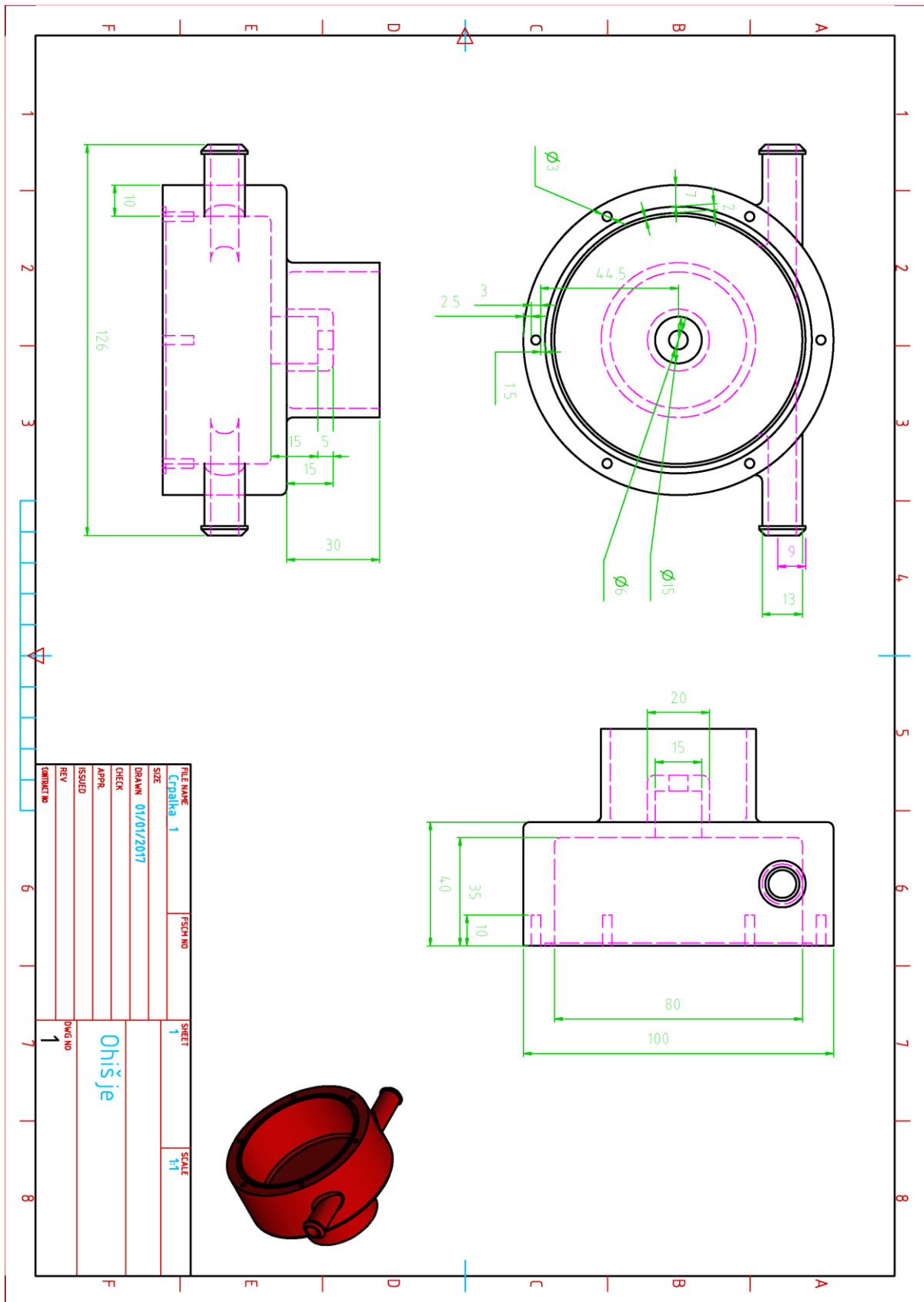
Ostalo slikovno gradivo je avtorsko.

## PRILOGE

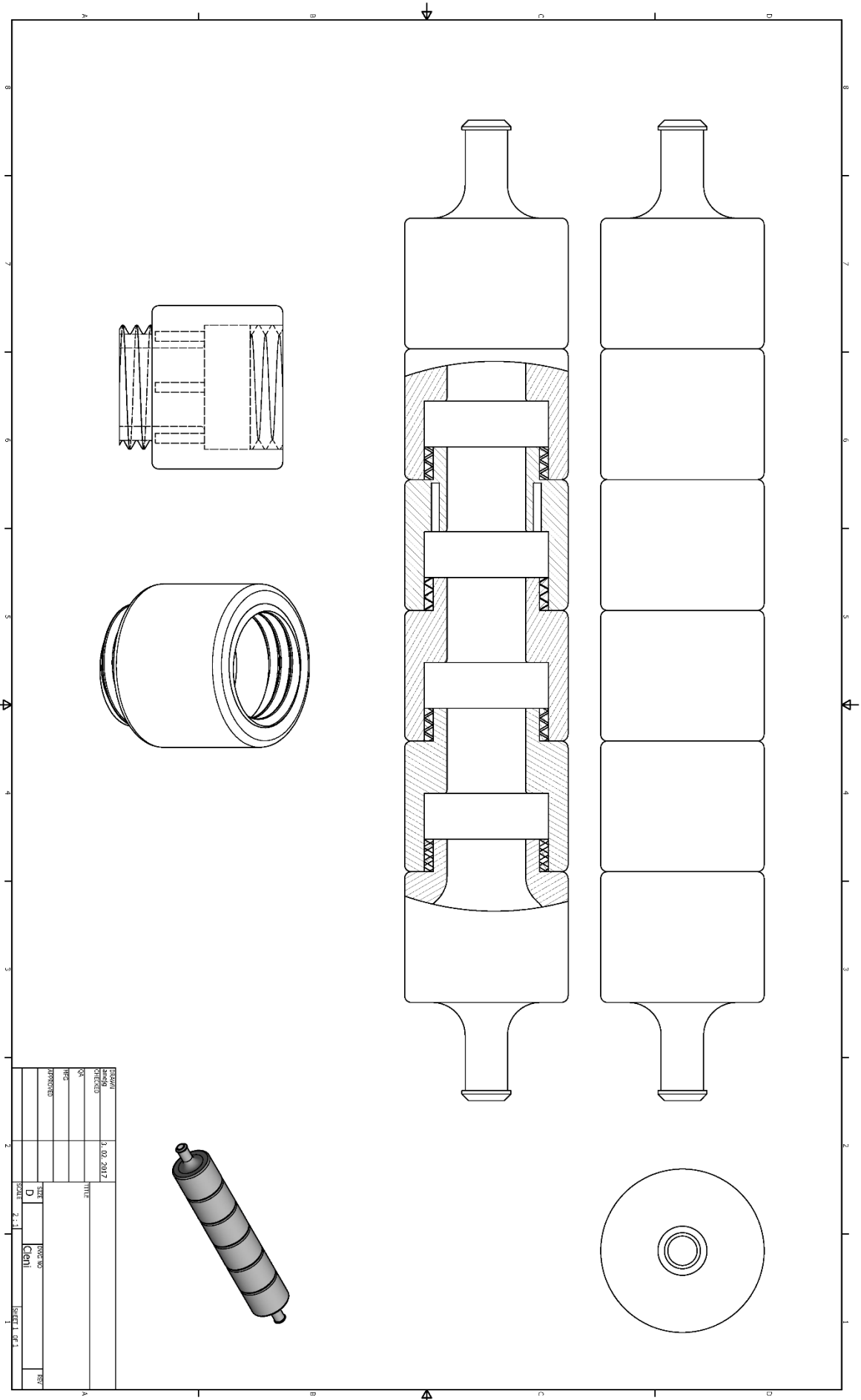
### Priloga 1: Fotografije izdelave črpalke



**Priloga 2: Tehnične risbe črpalke in filtrirnega stolpa. Slike niso v merilu.**







DESIGN	3. 02. 2017	TITLE	
APPROVED		SCALE	2:1
CHECKED		DATE	1. 01. 17
DRAWN		BY	
DATE		NO.	
SIZE	D	SCALE	1:1
NO.		DATE	
BY		NO.	
DATE		NO.	