Projekt postrojenja za pripremu vode za fontanu

Škrivanek, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:313550

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-23**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Matija Škrivanek

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

PROJEKT POSTROJENJA ZA PRIPREMU VODE ZA FONTANU

Mentori:

Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Juretić

Student:

Matija Škrivanek

Zagreb, 2021.

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

Zahvaljujem mentoru izv. prof. dr. sc. Hrvoju Juretiću na pruženoj pomoći i vremenu tijekom izrade završnog rada.

Matija Škrivanek

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: **602 - 04 / 21 - 6 / 1**	
Ur.broj: **15 - 1703 - 21 -**	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Matija Škrivanek** Mat. br.: 0035205433

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projekt postrojenja za pripremu vode za fontanu**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of fountain water treatment plant**

Opis zadatka:

Potrebno je predložiti idejno rješenje i dimenzionirati postrojenje za pripremu vode za fontanu kapaciteta 20 m^3. S obzirom na nepostojanje standarda kvalitete koji voda za fontane mora zadovoljiti, potrebno je razmotriti utjecaj pojedinih parametara kvalitete obrađene vode na konstrukcijske materijale i zdravlje ljudi. Na raspolaganju je voda iz sustava javne vodoopskrbe.

Rad treba sadržavati:

1. Izbor tehnološkog postupka pripreme vode za fontanu;
2. Osnovni proračun postrojenja;
3. Tehnološku shemu postrojenja s posudama, armaturom i opremom za automatski rad;
4. Prikaz utroška energije i kemikalija;
5. Prikaz smještaja postrojenja.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. studenoga 2020.

Zadatak zadao:

izv. prof. dr. sc. Hrvoje Juretić

Datum predaje rada:
1. rok: 18 veljače 2021.
2. rok (izvanredni): 5. srpnja 2021.
3. rok: 23. rujna 2021.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 22.2. – 26.2.2021.
2. rok (izvanredni): 9.7.2021.
3. rok: 27.9. – 1.10.2021.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SAŽETAK

Nečistoće koje su u fontanskoj vodi dovedene od strane čovjeka ili okoliša, u kratkom vremenu mogu dostići razinu koja je opasna za ljude i za sigurnost opreme u sustavu tretiranja i filtriranja vode te se zbog toga voda za fontane mora adekvatno obraditi. Usprkos zabranama, dodir ljudi sa fontanskom vodom uvjetovao je određenu kvalitetu vode koja se mora zadovoljiti. Punjenje ili nadopuna vode u fontanskom sustavu vrši se iz vodovoda ili nekih drugih izvora vode, te se toj vodi prije ulaska u sustav obrade mora smanjiti tvrdoća. Zahtjevi za radom fontane u zimskom razdoblju uvjetuju grijanje vode te je potrebno predvidjeti grijač kroz koji mora prolaziti čista voda. Zbog svih nabrojanih razloga, i mnogih drugih, nužan je sustav pripreme vode kroz koji voda cirkulira. U ovome završnome radu objasnit će se i proračunati postrojenje za pripremu vode za fontane koji se temelji na umekšavanju, filtraciji, UV dezinfekciji, grijanju te dodavanju određenih kemijskih sredstava za tretiranje vode.

Ključne riječi: voda za fontane, sastav vode, zahtjevi, čistoća, tvrdoća, grijanje, priprema vode, cirkulacija, postrojenje za pripremu vode, umekšavanje, filtracija, UV dezinfekcija, grijanje, dodavanje kemijskih sredstava.

SUMMARY

The impurities brought into the fountain water by person or the environment can, in short time, reach a level that is dangerous for people and for the safety of equipment in the system of treatment and filtration of water in the fountain, and therefore the water for fountains must be brought to a certain state of purity. Despite the prohibitions, the contact of people with the fountain water has conditioned a certain quality of water that must be met. Filling or replenishment of water in the fountain system is done from the water supply system or some other source, and therefore reduction of the hardness of water before entering the treatment system is required. The operation of the fountain in winter requires water heating, and it is necessary to provide a heater through which clean water must pass. For all these reasons, and many others, we need a system of water preparation through which water circulates. In this final paper, water treatment plants for fountains based on softening, filtration, UV disinfection, heating, addition of certain water treatment chemicals will be explained and calculated.

Keywords: fountain water, purity, hardness, heating, water treatment, circulation, water treatment plant, softening, filtration, UV disinfection, heating, addition of chemicals.

Sadržaj

1 UVOD 1

2 IZBOR TEHNOLOŠKOG POSTUPKA PRIPREME VODE 3

2.1 Umekšavanje 3

2.2 Filtracija 6

2.3 UV zračenje 10

2.4 Električni grijač 15

2.5 Doziranje kemijskih sredstava 16

3 OSNOVNI PRORAČUN POSTROJENJA 18

3.1 Osnovni podaci 18

3.2 Odabir filtarskog uređaja 19

3.3 Hidraulički proračun 19

3.4 Grijanje fontane 20

3.4.1 Snaga potrebna za početno zagrijavanje vode fontane 20

3.4.2 Proračun potrebne snage zbog gubitka vode ishlapljivanjem 20

3.4.3 Proračun potrebne snage za zagrijavanje vode izgubljene pranjem 21

3.4.4 Gubitak toplinske energije transmisijom kroz zidove i dno fontane 21

3.4.5 Snaga potrebna za ukupno grijanje fontane 21

3.5 Određivanje broja mlaznica 22

3.6 Proračun podvodnih reflektora 22

3.7 Dimenzioniranje priključka vodovoda i odvodnje fontanske tehnike 22

4 UTROŠAK ENERGIJE I KEMIKALIJA 22

4.1 Utrošak kemijskih sredstava 22

4.1.1 Dezinfekcija natrij-hipokloritom 23

4.1.2 pH vrijednost fontanske vode 23

4.1.3 Doziranje flokulanta 24

4.1.4 Doziranje sredstva za neutralizaciju klora 24
4.1.5 Multifunkcionalne mjerne dozirne crpke 25
4.1.6 Spremnici kemije 26
4.2 Utrošak energije 27
4.2.1 Filtarska crpka 27
4.2.2 Crpka mlaznice 28
4.2.3 LED reflektor mlaznice 29
4.2.4 Potopna crpka strojarnice 30
4.2.5 Umekšivač 30
4.2.6 Električni grijač 32
4.2.7 UV dezinfekcija 32
4.2.8 Ostala oprema koja troše električnu energiju 32
4.2.9 Ukupna potrošnja energije 33
5 ZAKLJUČAK 34
6 LITERATURA 35
7 SHEMA I PRIKAZ SMJEŠTAJA POSTROJENJA 36

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
V_m	$L_{(M)}$	volumen ionske mase
Q	m^3/h	kapacitet umekšivača
u_t	mval/L	ukupna tvrdoća
τ	h	vrijeme između dvije regeneracije
K_k	$val/L_{(M)}$	korisni kapacitet
A_{fil}	m^2	površina filtra
v_{fil}	m/h	brzina filtracije
Q_{fil}	m^3/h	kapacitet filtra
Δp	Pa	pad tlaka
λ	nm	valna duljina
NTU	mg/L	kvaliteta efluenta, mutnoća
τ	h	radni period filtra
	h	trajnost filtarskog uloška
	kWh/m^3	operativni troškovi
UV_{DOSE}	mJ/cm^2	UV doza
E	J	energija jednog fotona
h	Js	Planckova konstanta
v	Hz	frekvencija
c	m/s	ubrzanje energije zračenja u vakuumu
I	kW/m^2	intenzitet zračenja na određenoj duljini
P_{lampe}	kW	snaga emitirana od strana
L_{lampe}	m	duljina lampe koja emitira zračenje
r	m	radijalna udaljenost od lampe
A	m^2	vodena površina
H	m	dubina fontane
V	m^3	zapremnina vode
T	h	vrijeme izmjene vode
Q	m^3/h	protok vode
N	h^{-1}	nazivno opterećenje

K	-	faktor specifičnog opterećenja
a	m^2	specifična površina vode za jednog kupača
h_p	m.v.s.	pad tlaka
c_v	J/(kgK)	specifična toplina
m	kg	količina vode za zagrijavanje
t_v	°C	temperatura vode u fontani
t_s	°C	temperatura vode iz vodovoda
G	L/h/m^2	količina vode koja ishlapljuje
q	J/kg	toplina potrebna za upariti 1 litru vode temperature
Q	kW	toplinski kapacitet izmjenjivača za početno zagrijavanje
Q_i	kW	toplinski kapacitet izgubljen ishlapljivanjem
Q_{pr}	kW	toplinski kapacitet izgubljen pranjem filtra
A_d	m^2	površina dna fontane
A_z	m^2	površina zidova fontane
k	W/(m^2 K)	koeficijent prolaza topline
Q_z	kW	toplinski kapacitet izgubljen kroz zidove fontane
Q_d	kW	toplinski kapacitet izgubljen kroz dno fontane
$N_{mlaznica}$	-	broj mlaznica u fontani
$A_{mlaznica}$	m^2	površina koju pokriva jedna mlaznica
Q_{NaOCl}	L/dan	dnevna potrošnja NaOCl-a
$Q_{Al_2(SO_4)_3}$	L/dan	dnevna potrošnja aluminijevog poliklorida
v_{vod}	m/s	brzina vode kod vodovoda
d_{ume}	m	promjer cijevi koje dolaze i odlaze od umekšivača
Q_{ume}	m^3/h	protok kroz umekšivač
A_{stroj}	m^2	površina strojarnice
Φ_s	lm	svjetlosni tok
E_{el}	kW	ukupna potrošnje energije

POPIS SLIKA

Slika 1 Dijagram umekšavanja i regeneracije [3] 4
Slika 2 Umekšivač [3] 5
Slika 3 Predfiltar 7
Slika 4 Unutrašnjost pješčanog filtra [5] 8
Slika 5 Višeputni ventil [5] 9
Slika 6 Tlačni filtar [3] 10
Slika 7 Spektar zračenja [12] 11
Slika 8 UV doze [12] 12
Slika 9 Mjerenje mutnoće [3] 14
Slika 10 Reaktor za UV dezinfekciju [6] 14
Slika 11 Red line električni grijač [7] 15
Slika 12 Mimovod električnog grijača [7] 16
Slika 13 Dijagram za nastajanje Legionella pneumophila [15] 17
Slika 14 Dozirna crpka [9] 25
Slika 15 Spremnici kemije [5] 26
Slika 16 Filtracijska crpka [11] 27
Slika 17 Karakteristika crpke [11] 28
Slika 18 Crpka mlaznice [10] 29
Slika 19 LED RGBW reflektor [10] 29
Slika 20 Potopna crpka [11] 30
Slika 21 Umekšivač sa posudom za sol [4] 31

POPIS TABLICA

Tablica 1 Klasifikacija tvrdoće vode 3
Tablica 2 Karakteristike mjernog uređaja [9] 25
Tablica 3 Potrošnja kemijskih sredstava i veličina spremnika 26
Tablica 4 Karakteristike filtracijske crpke [11] 27
Tablica 5 Karakteristika crpke mlaznice [10] 28
Tablica 6 Karakteristike LED reflektora mlaznice [10] 29
Tablica 7 Karakteristike potopne crpke [11] 30
Tablica 8 Karakteristika umekšivača [4] 31
Tablica 9 Karakteristike električnog grijača [7] 32
Tablica 10 Karakteristike odabranog UV reaktora za dezinfekciju fontanske vode [6] 32
Tablica 11 Potrošnja električne energije ostale opreme 33
Tablica 12 Ukupna potrošnja energije 33

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

CRTEŽ BROJ 1	Shema fontane
CRTEŽ BROJ 2,3	Tehnički nacrti fontane
CRTEŽ BROJ 4	Tehnički nacrt strojarnice

1 UVOD

Fontana i fontanska voda podložni su utjecaju okoline, vremena i ljudi. Sama fontana, bilo suha ili mokra (sa ili bez školjke fontane), nije namijenjena za kupanje ili bliski kontakt s ljudima, ali zbog neposredne blizine mjesta boravišta ili prolaza ljudi (trgovi, šetalište, parkovi, ulazi u zgrade i trgovačke centre centre), zahtjevi kvalitete fontane i vode u njenom sustavu u pogledu higijene, sigurnosti i estetike, bez opasnosti po ljudsko zdravlje, posebice u smislu uzročnika bolesti, stavljeni su na visoku razinu. Kako fontanska voda nije namijenjena za kontakt s ljudima, tako i ne postoje propisane norme u pogledu kvalitete vode. Prilikom projektiranju fontane u Europi, a tako i u svijetu, općeprihvaćeno je da se projektira po normama za javne bazene, čija voda mora posjedovati zarazno-higijenske karakteristike vode za piće.

Proračun za javne bazene, a tako i za fontane, provodi se prema normama DIN 19643-1 i DIN 19643-2 te prema važećim hrvatskim normama: HRN EN 15288-1, HRN EN 15288-2 i HRN EN 13451-3. Spomenute DIN norme izradila je radna grupa IV 13 Odbora za izradu normi u vodoprivredi, kao preradu norme DIN 19643, u svrhu ispunjavanja njemačkog Saveznog zakona o epidemijama (njem. *Bundes-Seuchengesetz*) koji navodi nove vrijednosti za *Legionellu pneumophilu* i trihalometane koje je trebalo integrirati u DIN 19643. [1]

Pravilnik koji je također bitan prilikom projektiranja fontane je Pravilnik o sanitarno-tehničkim i higijenskim uvjetima bazenskih kupališta te o zdravstvenoj ispravnosti voda (NN 059/20). [1]

Navodi i kriteriji koje sadrži ova norma u pogledu fontanske vode proizlaze iz principa očuvanja stacionarnog, nepromjenjivog stanja između čišćenja i onečišćenja u ovisnosti o neizbježnim postupcima transporta. Pritom se mikroorganizmi koje donesu posjetitelji fontane i mikroorganizmi iz okoline inaktiviraju oksidacijskim sredstvom za dezinfekciju u samoj fontanskoj vodi. Za dezinfekciju je kao osnova utvrđeno uništavanje 10^4 klica *Pseudomonas aeruginose* u samoj fontanskoj vodi, te se dezinfekcijsko sredstvo smije nalaziti samo u potrebnim koncentracijama.

Zahtjevi vode za punjenje fontane koji se ne smiju prelaziti[1]:

- željezo : 0,1 mg/L (1,8 mmol/m^3)
- mangan: 0,05 mg/L (0,9 mmol/m^3)
- amonijak: 2 mg/L (110 mmol/m^3)

- polifosfat kao P: 0,005 mg/L (0,16 mmol/m^3)

Zahtjevi obrađene i fontanske vode [1]:

- apsorbancija pri λ=436 nm: obrađena voda za gornju vrijednost: 0,4 1/m
  fontanska voda za gornju vrijednost: 0,5 1/m
- mutnoća u jedinicama mutnoće: obrađena voda za gornju vrijednost:0,2 NTU
  fontanska voda za gornju vrijednost: 0,5 NTU
- pH vrijednost: obrađena voda donja vrijednost: 6,5; gornja vrijednost: 7,6
  fontanska voda donja vrijednost: 6,5; gornja vrijednost: 7,6
- redoks vrijednost prema Ag/AgCl 3,5 KCI: 6,5 ≤ pH vrijednost ≤ 7,3: 750 mV
  7,3 ≤ pH vrijednost ≤ 7,6: 770 mV
- slobodni klor: obrađena voda za donju vrijednost: 0,3 mg/L
  fontanska voda za donju vrijednost: 0,3 mg/L
  fontanska voda za gornju vrijednost: 0,6 mg/L
- vezani klor: obrađena voda za gornju vrijednost: 0,2 mg/L
  fontanska voda za gornju vrijednost: 0,2 mg/L
- trihalometani obračunati kao kloroform: fontanska voda gornja vrijednost: 0,02 mg/L

Protočna struja vode mora raspoređivati dezinfekcijsko sredstvo i osigurati i održavati dostatnu koncentraciju dezinfekcijskog sredstva na svim mjestima u fontani, naročito na površini. Dezinfekcijska sredstva smiju se u bazenskoj vodi nalaziti samo u potrebnim koncentracijama. Preživjeli mikroorganizmi, onečišćenja i druge otpadne tvari moraju se uklanjati odvođenjem na daljnju obradu. Koncentracije tvari koje se ne mogu ukloniti obradom moraju se držati u dopuštenim granicama izmjenom vode.

Zbog zahtjeva na kvalitetu vode potrebno ju je podvrgnuti raznim procesima, koji se navode u ovome radu i koji osiguravaju da fontanska voda u pogledu kvalitete bude bez opasnosti po ljudsko zdravlje.

2 IZBOR TEHNOLOŠKOG POSTUPKA PRIPREME VODE

U uvodnim dijelovima ovog rada napisano je na čemu se temelji postrojenje za pripremu fontanske vode, te su nabrojani zahtjevi i razlozi zašto je bitno provesti sve te postupke pripreme vode. U ovome dijelu rada detaljnije se prikazuje svaki od tih postupaka.

2.1 Umekšavanje

Voda iz sustava javne vodoopskrbe često je prirodno profiltrirana podzemna voda, koja prije nego se ispumpa za našu upotrebu, mnogo godina ostaje ispod zemlje. Zbog dugog boravka u podzemlju, voda je u ravnotežnom stanju s obzirom na taloženje kalcijevog karbonata. Kada pri crpljenju podzemna voda dođe u kontakt s atmosferom, dolazi do smanjenja koncentracije ugljikovog dioksida te se ona više ne nalazi u ravnotežnom stanju. Isto tako prilikom zagrijavanja mijenja joj se ravnoteža, tako da se ioni Ca^{2+} i HCO_3^- talože u obliku kalcijevog karbonata ($CaCO_3$). Kako bi se spriječilo taloženje kalcijevog karbonata u postupku ionskog umekšavanja vode ioni kalcija i magnezija mijenjaju se s ionom natrija kojim je zasićena jako kisela kationska smola (neutralna kationska izmjena) te tako obrađena voda ima vrlo nisku vrijednost ukupne tvrdoće.

Osim smanjenja tvrdoće vode, koristi umekšavanja su [3]:

- smanjeno oslobađanje teških metala (zdravlje, dobro za okoliš)
- smanjenje potrošnje energije grijanja
- smanjenje korozije
- smanjenje kamenca

Tvrdoća se definira kao zbroj koncentracije otopljenih iona kalcija i magnezija te se često izražava u jedinici mili-mol po litri (mmol/L). Klasificirana je od prilično mekane do prilično tvrde. (Tablica 1.)

Mjerna jedinica	Prilično mekana	Mekana	Srednje mekana	Srednje tvrda	Tvrda	Prilično tvrda
mmol/L	<0,5	0,5-1,0	1,0-1,8	1,8-2,5	2,5-5,0	>5,0

Tablica 1 Klasifikacija tvrdoće vode

Umekšavanje vode ionskom izmjenom je reverzibilna izmjena natrijevih iona na ionskoj masi ionima kalcija i magnezija. Nakon što je ionska masa zasićena, slijedi regenerativna zamjena iona Ca i Mg s ionima Na. Prilikom umekšavanja, vodi se ne mijenja pH vrijednost

niti ukupni sadržaj soli (ekvivalentni). Regeneracija se provodi pomoću vodene otopine NaCl (8-10%). Korisnost izmjene iona leži u sposobnosti korištenja i ponovne upotrebe materijala za izmjenu iona. [3]

Kemijske jednadžbe izmjene kationa [3]:

a) <u>Izmjena kationa kod umekšavanja:</u>

$Iz\text{-}2Na + CaSO_4 \leftrightarrow Iz\text{-}Ca + Na_2SO_4$

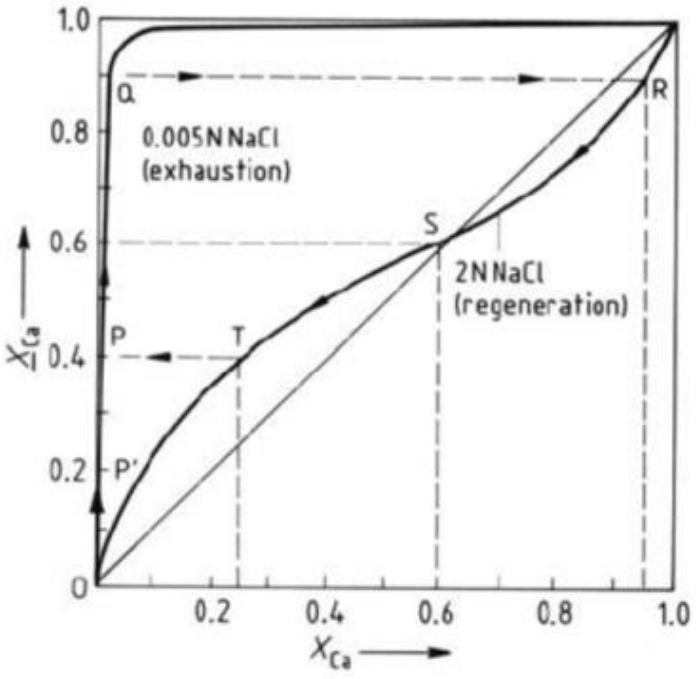
$Iz\text{-}2Na + MgCl_2 \leftrightarrow Iz\text{-}Mg + 2NaCl$

$Iz\text{-}2Na + Ca(HCO_3) \leftrightarrow Iz\text{-}Ca + 2NaHCO_3$

b) <u>Izmjena kationa kod regeneracije:</u>

$Iz\text{-}Ca + 2NaCl \leftrightarrow Iz\text{-}2Na + CaCl_2$

$Iz\text{-}Mg + 2NaCl \leftrightarrow Iz\text{-}2Na + MgCl_2$



Slika 1 Dijagram umekšavanja i regeneracije [3]

Sa dijagrama iščitavamo da je u početnoj točki 0 sva smola u Na formi. Voda dolazi u kontakt sa smolom i uspostavljanje ravnoteže vodi do uklanjanja Ca iz vode i dovođenje u smolu. U točki Q je smola s 90% Ca u ravnoteži s 98% umekšanom vodom ($X_{Ca} = 0,02$), i tu

je završeno umekšavanje. Radi regeneracije se sustav dovodi do točke R u kojoj je smola u ravnoteži s otopinom i počinje regeneracija.

Bitni parametri za korisni kapacitet ionske mase [3]:

- ukupna tvrdoća vode
- temperatura
- udio Na u sadržaju kationa
- dozvoljena tvrdoća na kraju radnog ciklusa
- brzina strujanja vode kroz ionski izmjenjivač
- visina sloja ionskog izmjenjivača

Umekšivač se sastoji od:

- tlačne posude
- upravljačkog ventil za vremensko ili volumno upravljanje (automatski regulirano) radom umekšivača, tip kao na primjer FLECK ventil 5600 SXT
- ispune visoko kvalitetnom smolom
- spremnika za sol

Slika 2 Umekšivač [3]

Proračun volumena ionske mase:

$$V_m = \frac{Q u_t \tau}{K_k}$$

V_m – volumen ionske mase [$L_{(M)}$]

Q – kapacitet umekšivača [m^3/h]

u_t – ukupna tvrdoća [mval/L]

τ – vrijeme između dvije regeneracije [h]

K_k – korisni kapacitet [val/$L_{(M)}$]

Za dimenzioniranje umekšivača, koristi se gornja formula, potrebno vrijeme punjenja školjke fontane i količina vode potrebna za jedno punjenje fontane. Proračun i odabir umekšivača prikazan je u ovome završnim radu u dijelu Proračun.

2.2 Filtracija

Kvaliteta fontanske vode konstantno se pogoršava raznim tvarima iz okoliša ili od strane ljudi, te ju je potrebno neprekindo filtrirati, tj. separirati suspendirane tvari od tekućine. Filtriranje se provodi prolaskom tekućine kroz filtar (porozni medij). Suspendirane tvari se zadržavaju na filtru, a tekućina sa smanjenom koncentracijom suspendiranih tvari izlazi iz filtra. Postoje razne vrste filtarskih medija, kvarcni pijesak, hidro antracit, papir, tekstil, polimerne tvorevine, staklena vlakna, razne membrane,…

Vrste filtracijskih uređaja:

1. Filtri s granuliranim filtracijskim materijalom:
   - tlačni višeslojni filtri
   - gravitacijski višeslojni filtri
   - spori filtri
2. Membranski filtri:
   - mikrofiltracija
   - ultrafiltracija

Proces filtracije temelji se na efektu prosijavanja i efektu adsorpcije. Adsorpcija ili adsorpcijski efekt je pojava stvaranja fizikalnih veza između čestice nečistoće i filtracijskog materijala.

Najbitniji parametri filtracijskog uređaja [3]:

A_{fil} – površina filtra [m^2]

V_{fil} – brzina filtracije [m/h]

Q_{fil} – kapacitet filtra [m^3/h]

Δp – pad tlaka [Pa]

NTU – kvaliteta enfluenta, mutnoća [mg/L]

τ - radni period filtra [h]

Trajnost filtarskog uloška [h]

Operativni troškovi [kWh/m^3 ; kn/m^3]

Za potrebe ovog projekta za fontanu, koristit će se pješčani filtri s ispunom od kvarcnog pijesak te grubi predfiltri koji se nalaze ispred crpki, kako fontanska voda koja se crpkom zahvaća iz fontanske školjke ne bi oštetila impeler crpke. Takav grubi predfiltar je zapravo gruba rešetka ili sito koje zbog veličine pora pri prolazu tekućine ne propušta veće nečistoće.

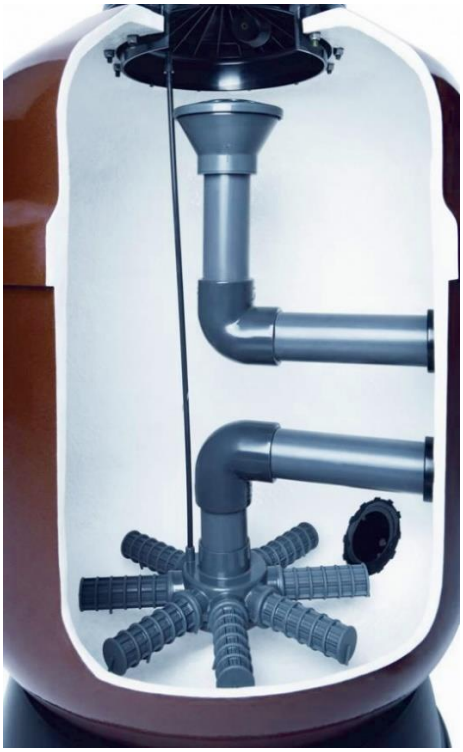
Slika 3 Predfiltar

Fontanska voda nakon predfiltra i crpke odlazi prema pješčanom filtru, ali joj se u tlačnom cjevovodu neobrađene vode, ispred filtra, dodaje aluminijev poliklorid, tj. flokulant. Kako bi se uklonila mutnoća vode i pospješio rad filtra, predviđa se doziranje flokulanta koji služi za zgušnjavanje otopljenih mikro tvari u flokule koje se lako odstranjuju na filtru. Aluminijev poliklorid, koji se koristi kao flokulant, dozira se u 10%-tnoj koncentraciji. On je vodena otopina, blago nagrizajuća u koncentriranom stanju, reagira s lužinama i organskim tvarima.

Oprema za doziranje flokulanta se sastoji od dozirne crpke za otopinu, koja usisava otopinu iz spremnika ispod crpke, te je ubrizgava u tlačni cjevovod vode ispred filtra. Dozirna crpka se podesi na određenu vrijednost doziranja.

Kvaliteta filtriranja omogućava da se različite nečistoće, pa čak i koloidna zamućenja zadržavaju u filtarskim slojevima, tako da se voda filtrira do veličine čestica od 10 mikrona.

Princip filtracije za izabrani pješčani filtar je da se voda preko višeputnog ventila dobavlja u filtar s gornje strane, u kojem se tlakom potiskuje preko kvarcnog pijeska do donjih perforiranih cjevčica (sapnica) koje ne propuštaju pijesak, dok profiltrirana voda prolazi kroz sapnice i odvodi se na daljnje tretiranje fontanske vode.



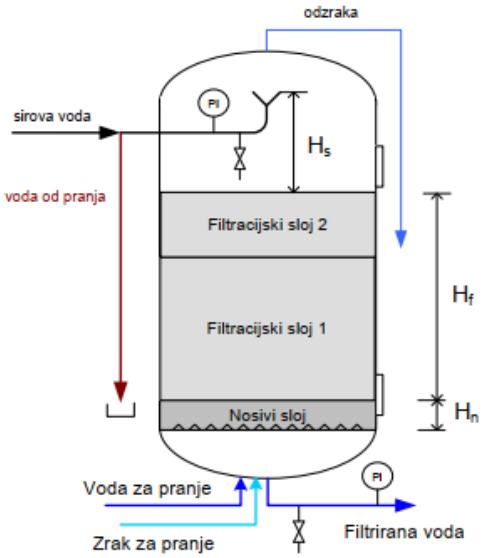
Slika 4 Unutrašnjost pješčanog filtra [5]

Materijal filtarske posude je poliester u potpunosti otporan na agresivnost bazenske vode.

Nakon nekog vremena, dolazi do zasićenja filtra, filtracija se mora prekinuti i pokreće se postupak pranja ili regeneracije filtracijske ispune. Postupak regeneracije filtracijske ispune se provodi tako da se pomoću višeputnog ventila, koji je na ulaznoj filtarskoj grani, okrene proces filtracije i s kombinacijom vode i zraka, u sekvencama, pročišćava i rahli pijesak unutar filtra, te se voda s kojom se ispirao pijesak, preko višeputnog ventila, odvodi iz sustava van, u javni sustav odvodnje. Završni dio ispiranja filtra je zbijanje pijeska, nakon čega se višeputni ventil opet stavlja u položaj filtracije.

Slika 5 Višeputni ventil [5]

Otpadna voda od pranja filtra sadrži natrijev hipoklorit te se kao takva ne smije ispustiti u odvodnju bez prethodne obrade. Potrebno je prethodno provesti postupak neutralizacije. Za neutralizaciju klora koristit će se otopina natrijevog bisulfita $NaHSO_3$ u 20%-tnoj koncentraciji. Oprema za doziranje natrijevog bisulfita sastoji se od dozirne crpke za otopinu, koja usisava otopinu iz spremnika ispod crpke, te je ubrizgava u tlačni cjevovod pranja filtra. Dozirna crpka se podesi na određenu vrijednost doziranja. Doziranje se radi isključivo uz rad filtarskog uređaja.



Slika 6 Tlačni filtar [3]

Na slici 6. je prikazana shema tlačnog filtra na kojemu je jasno označen smjer filtracije i smjer ispiranja.

Zahtjevi na kvalitetu kvarcnog pijeska:

- vanjska konzistencija – granulacija (zrnca moraju biti što sličnija formi kugle)
- sadržaj nečistoća (maseni udio kvarca (SiO_2) > 96%, treba biti bez topivih onečišćenja)

Kvarcni pijesak ima gustoću od 2500 kg/m^3 do 2670 kg/m^{3,} što je više i od aktivnog ugljena i od hidro-antracita. Nasipna gustoća suhog kvarcnog pijeska je oko 1600 kg/m^3.

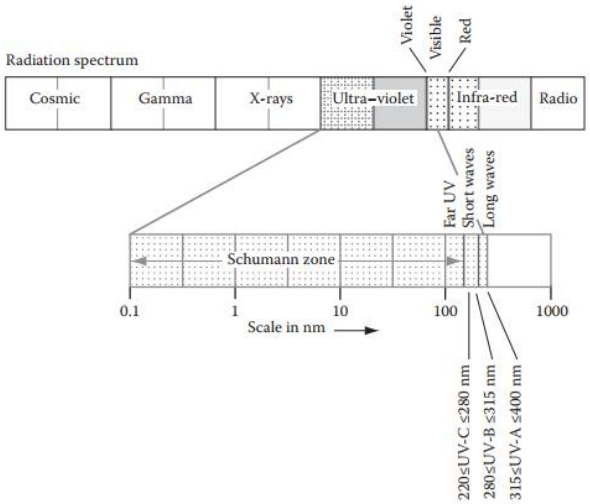
2.3 UV zračenje

Dezinfekcija fontanske vode već se dugi niz godina provodi dodavanjem natrijevog ili kalcijevog hipoklorita. Poznato je kako klor kod nekih ljudi može dovesti do iritacije određenih dijelova tijela. Kao poznati slučaj često se navodi bolne crvene nakon dužeg boravka u vodi tretiranoj otopinom klora. Iz tog razloga postoji potreba za nalaženjem prihvatljivijeg rješenja, kojim bi se upotreba klora smanjila što je više moguće.

Kao prikladno rješenje na te probleme navodi se upotreba UV-C lampi. Kako su UV-C lampe postajale sve jednostavnije i učinkovitije, kako su se počele masovnije proizvoditi i kako im je cijena pala, počela je upotreba UV-C zračenja u dezinfekcijske svrhe i u fontanskoj i u bazenskoj tehnici.

Upotrebom UV-C zračenja u fontanskoj tehnici, potrebna količina otopine klora za dezinfekciju smanjena je do 60%. Odgovor na pitanje, zašto samo 60% a ne 100%, je taj što UV-C lampa u sustavu cjevovoda ima tzv. zakašnjeli dezinfekcijski efekt (nema rezidualno djelovanje), tj. dezinficira vodu koja direktno protječe kroz uređaj, dok fontansku vodu u školjci fontane, treba dezinficirati s kemijskim dezinfekcijskim sredstvom, uglavnom otopinom klora.

UV-C zračenje je ultraljubičasto zračenje koje koristi fotone kratkih valnih duljina za ubijanje ili inaktiviranje mikroorganizama, uništavanjem nukleinskih kiselina, ostavljajući ih nesposobnima za obnavljanje vitalnih staničnih funkcija. Raspon valnih duljina na kojoj radi UV-C je od 220 nm < $\lambda_{UV\text{-}C}$ < 280 nm. Za usporedbu, raspon UV-A je od 315<λ<400 je razina tamnjenja kože, a u rasponu UV-B od 280<λ<315, zrake prodiru u površinski sloj kože te su glavni krivac za opekline.



Slika 7 Spektar zračenja [12]

UV-C zračenje nastaje tako da svjetiljke na bazi žive, koje rade na niskom tlaku pare, emitiraju UV zračenje uglavnom na valnoj duljini λ = 253,7 nm. Zračenje koje nastaje unutar UV-C lampe širi se unutar cijelog elementa za UV dezinfekciju, i na taj način provodi dezinfekciju vode.

UV doza koja je dovoljna za ubijanje ili inaktivaciju raznih mikroorganizma u fontanskoj tehnici je UV_{DOSE} = 31 mJ/cm^2.

Organism	UV Dose (mJ/cm²)
Poliovirus Type I	4–6
Coxsackievirus	6.9
Hepatitis A	4–5
Rotavirus strain SA 11	7–9
Adenovirus Strain 40	30
Adenovirus Strain 41	25
Adenovirus Strain 41	30
E. coli ATCC 11229	2.5–5
E. coli O157:H7 ATCC 43894	1.5
Legionella pneumophila ATCC 43660	3
Salmonella typhi ATCC 19430	2
Shigella dysenteriae ATCC 290287	0.5
Staphylococcus aureus ATCC 25923	4
Vibrio cholerae ATCC 25872	1
Cyanobacteria	720–1200
Microsporidia	
Enterocytozoon	No data
Encephalitozoon	No data
Giardia lamblia	1.3
Cryptosporidium parvum	7

Slika 8 UV doze [12]

Formula za energiju jednog fotona:

$$E = h\nu = \mathrm{h}\frac{c}{\lambda}$$

E – energija jednog fotona [J]

h – Planckova konstanta [6,624 × 10^{-34} Js]

v – frekvencija [ciklusa/s ili Hz]

c – brzina svjetlosti u vakuumu [2,9976 × 10^{8} m/s]

Formula za snagu UV lampe:

$$I = \frac{\frac{P_{lampe}}{L_{lampe}}}{4\pi r^2}$$

I – intenzitet zračenja na određenoj duljini u odnosu na upadno zračenje I_0 [kW/m^2]

P_{lampe} – snaga emitirana od strana lampe u obliku energije radijacije [kW]

L_{lampe} - duljina lampe koja emitira zračenje [m]

r – radijalna udaljenost od lampe [m]

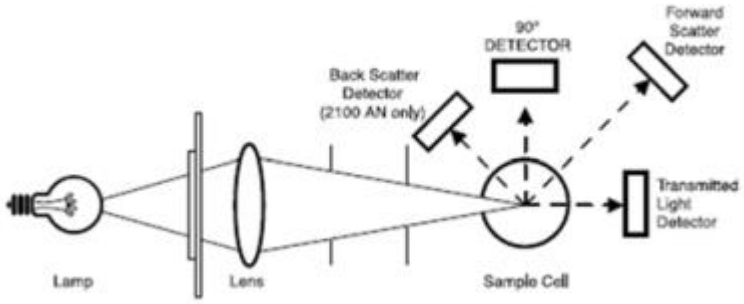
Iz formule se jasno vidi kako se intenzitet snage smanjuje s kvadratnom udaljenosti od lampe.

UV-C lampa se ugrađuje kao mimovod (eng. *by-pass*) nakon uzorkovanja, filtra i električnog grijača, ali prije dodavanje kemijskih sredstava, kako oni svježe dodani u kombinaciji s UV-C zračenjem ne bi stvorili probleme za opremu.

Smješten je nakon filtra zbog mutnoće. Mutnoća je bitan faktor u UV dezinfekciji, zato što prilikom zamućenja dolazi do raspršenja. Mutnoća u vodi posljedica je prisutnosti suspendiranih tvari u vodi. Označava se u jedinicama NTU (engl. *Nephelometric turbidity unit*). Mutnoća je optički fenomen kod kojeg dio ulaznog svijetla biva raspršen posredstvom suspendiranih tvari.

Raspršenje je funkcija veličine i oblika suspendiranih tvari, i razlikuje se od apsorpcije otopljenim tvarima. Suspendirane tvari su čestice zadržane na membrani od staklenih vlakana. Koncentracija ukupne suspendirane tvari i mutnoća ukazuju na količinu čvrstih tvari suspendiranih u vodi. Kod određivanja ukupne suspendirane tvari mjeri se stvarna masa materijala po volumenu vode, a kod mutnoće se mjeri količina svjetlosti koja se rasprši prolaskom kroz uzorak.

Uređaj za mjerenje mutnoće se zove turbidimetar te on djeluje tako da se kroz leću fokusira svijetlost u uzorak te se mjeri količina svjetlosti koja se rasprši prolaskom kroz uzorak.



Slika 9 Mjerenje mutnoće [3]

Cijev UV dezinfektora je od inoxa ili neprozirne plastike kako se svjetlost ne bi propuštala van, te kako bi se odbijala od stjenke i tako opet nakon refleksije dezinficirala vodu. Unutar njega je jedna ili više UV-C lampi, čiji broj ovisi o zahtjevanom protoku vode. Dolazi sa mjeračem protoka, koji ga pali i gasi, u ovisnosti o protoku (ako je sustav ugašen, ne radi).

Slika 10 Reaktor za UV dezinfekciju [6]

Kako je UV-C zračenje invazivno, jasno je kako zahtjevi na materijal cijevi koje se spajaju na UV reaktor moraju biti veliki. Odabir cijevi za cijeli sustav tretiranja cjevovoda je PVC-U, što je ne-plastificirana verzija PVC-a. Takva vrsta cijevi je visokootporna na UV-C zračenje, visoki tlak (do 16 bar), ima jako dobru kemijsku otpornost, što je važno zbog postojanost cijevi na prisutnost natrijevog hipoklorita , sulfatne kiseline, natrijevog bisulfita i aluminijevog poliklorida, koje sve koristimo u sustavu tretiranja vode, te su cijevi toga materijala otporne na većim temperaturama (do 70°C), što je važno ako u sustavu imamo grijač vode. Energija koja se koristi za UV dezinfekciju je 100% električna energija.

2.4 Električni grijač

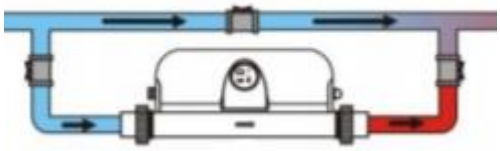
Fontana nije zamišljena za kupanje ljudi te tako i fontanska voda ne mora zadovoljavati zahtjeve na temperaturu vode koji su kod bazena propisani ovisno o namjeni bazena i ovisno o ugodi ljudi. Postavlja se pitanje, zašto bi sustav tretiranja vode kod fontane imao grijač vode ako voda ne mora zadovoljavati zahtjeve temperature vode?

Grijanjem vode u fontanskom sustavu produljuje se sezona rada fontane i na hladnije dane, tj. nije ograničeni samo na toplijim dane u godini. Naravno, za vrijeme niskih temperatura, kada bi se voda zaledila prije nego bi došla do električnog grijača, fontana prekida s radom i cjevovodi se prazne, stoga električni grijač samo produljuje sezonu rada fontane, ali ne postavlja uvjete za rad cijele godine.

Električni grijač radi na principu zagrijavanja površine izmjenjivanja topline pomoću električnog otpora. On je najpovoljnije rješenje prilikom kupovine grijača vode, ali pored niske cijeni, vrlo su učinkoviti i jednostavni za montiranje u strojarnicu. Uključuju se integriranim termostatom, a zadanu temperaturu postižu za 2 dana te nakon toga temperaturu drže konstantnom. Površina za izmjenjivanje topline je za odabrani model od titana. Energija koja se koristi za električni grijač je 100% električna energija.

Slika 11 Red line električni grijač [7]

Električni grijač se u sustav tretiranja vode postavlja kao mimovod i to odmah nakon filtra i uzorkovanja, prije UV dezinfekcije i dodavanja kemijskih sredstava, kako se sa svježim otopinama ne bi oštetio.



Slika 12 Mimovod električnog grijača [7]

Dimenzioniranje električnog grijača vrši se prema potrebnom protoku za zagrijavanje.

Alternativne metode izabranom električnom grijaču bili bi pločasti ili cjevasti izmjenjivači topline. Takvi grijači imaju veću iskoristivost za isti protok, ali zbog početne investicijske cijene, i zapremnine fontane, odabran je logičniji, i puno jeftiniji izbor.

2.5 Doziranje kemijskih sredstava

U uvodnom poglavlju navedene su norme sa zahtjevima na kvalitetu vode. Isto tako potrebno je osigurati ispravnost vode u pogled gornje granice broja mikroorganizma, pH vrijednosti, mutnoće, dozvoljene količine kemijskih sredstava, te redoks potencijala, prema kojemu se dimenzioniraju uređaji za doziranje kemijskih sredstava.

Otopinu natrij-hipoklorita [NaOCl] koristimo za kloriranje vode i inaktivaciju mikroorganizama. Osim natrij-hipoklorita može se odabrati kalcij-hipoklorit [$Ca(OCl)_2$] ili plinovit klor, koji se razlikuju u koncentraciji klora u otopini, ali zbog sigurnosnih razloga i cijene odabran je natrij-hipoklorit, koji se danas najviše i upotrjebljuje u fontanskim sustavima.

Sulfatna kiselina [H_2SO_4] služi za snižavanje pH vrijednosti. Razne nečistoće iz okoliša, ili ipak kontakt s ljudima, vodi povećava pH vrijednost te ju je potrebno sniziti na dozvoljene razine, a to se upravo postiže sulfatnom kiselinom.

Aluminijev poliklorid [$Al_2(SO_4)_3$] koristi se prije filtracije kako bi se uspostavilo ubrzano agregiranje te sedimentacija čestica te kako bi se što lakše zadržale u pješčanom filtru. Dozira se kao vodena otopina s koncentracijom od 20%.

Natrijev bisulfit [$NaHSO_3$] koristi se za neutralizaciju klora u vodi nakon pranja filtra, kako se u sustav javne odvodnje ne bi puštala voda s rezidualnom koncentracijom klora. Dozira se kao vodena otopina s koncentracijom od 10%.

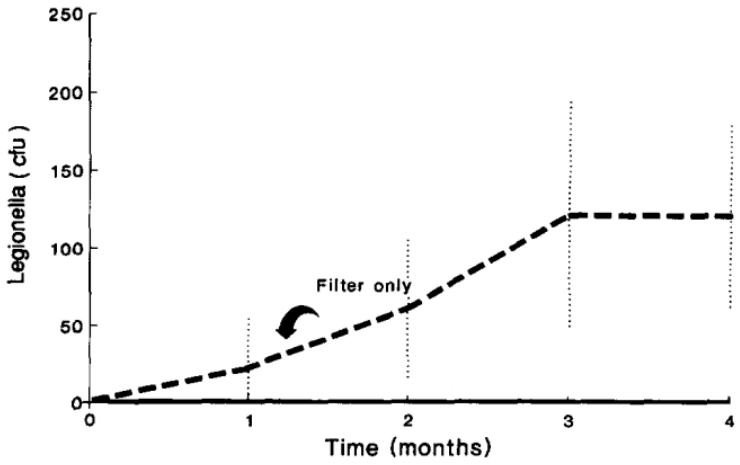
Filtratu se u kontinuiranom radu mora dodavati dezinfekcijsko sredstvo. Za svaku fontanu mora biti instaliran automatski uređaj za doziranje i uređaj za mjerenje i registriranje pomoćnih higijenskih parametara, slobodnog klora, redoks-potencijala i pH vrijednosti.

Regulacijski uređaj vrši mjerenje temperature, slobodnog klora, vezanog klora, redoks-potencijala i pH vrijednosti, i regulira dozirnu količinu kemijskih sredstava koje treba dozirati u sustav.

Slobodni klor su raspoloženi oblici klora kao npr. hipoklorit (OCl^-), odnosno hipoklorasta kiselina (HOCl). On se dodaje u sustav u obliku otopina. Vezani klor je kada se slobodni klor veže s kontaminantima (npr. s amonijevim ionom) te tada ima smanjenu sposobnost dezinfekcije. Ukupni klor je zbroj slobodnog i vezanog klora.

Redoks potencijal mjeri sposobnost vode da primi elektrone, te pomoću njega regulacijski uređaj određuje pH vrijednost.

U uvodu je istaknuto da se norma za bazene koja se koristi i za projektiranje fontana, DIN 19643, preradila u DIN 19643-1 I DIN 19643-2 u svrhu ispunjavanja njemačkog Saveznog zakona o epidemijama, koji navodi nove vrijednosti za *Legionellu pneumophilu* s nužnošću integracije u DIN 19643. [1] *Legionella pneumophila* može uzrokovati ozbiljnu plućnu bolest, a prenosi se infektivnim aerosolom koji se stvara iznad fontana. *Legionela pneumophila* su štapićaste, gram negativne bakterije veličine (0,3 – 0,9) × 2-20 mikrometara koje mogu preživjeti u vodi duže od godinu dana. Prvi puta je otkrivena na Zboru američkih legionara u Philadelphiji 1976. godine, po čemu i je dobila ime. Vrlo brzo se uvidjela važnost prevencije ove bolesti te je počelo njezino praćenje u Europi. Kako je zapažena veća učestalost zaraze, pogotovo oko vodenih površina, norma DIN 19643 uvodi gornje vrijednosti za bakteriju *Legionella pneumophila* na (36 ± 1)°C. Gornja vrijednost za čistu vodu, voda kojom se dopunjuje ili puni fontanski sustav, je 20 1/ml, dok je gornja vrijednost za fontansku vodu 100 1/ml.



Slika 13 Dijagram za nastajanje Legionella pneumophila [15]

Na ordinati dijagrama je broj izraslih kolonija *Legionelle* (engl. colony-forming unit - cfu) u fontani, dok je na apscisi vrijeme u mjesecima. Ističu se dvije krivulje - jedna je konstantno na vrijednosti *Legionella* (cfu) = 0, što je za slučaj tretiranja fontanske vode s natrijevim hipokloritom, uz eventualnu dezinfekciju s UV-C zračenjem, dok druga (isprekidana) pokazuje kako bi s vremenom rastao broj bakterija da se fontanska voda ne dezinficira.

3 OSNOVNI PRORAČUN POSTROJENJA

Osnovni proračun fontanskog postrojenja temelji se na normi DIN 19643-1 „Obrada vode za bazene“ i prati sve njezine zahtjeve i preporuke.

3.1 Osnovni podaci

GRAĐEVINA: Fontana s jednom mlaznicom i jednim reflektorom

Vodena površina $A = 49{,}0\ \text{m}^2$

Dubina $H = 0{,}41$ m (fontana može imati do 45 cm vode)

Volumen vode $V = 20{,}0\ \text{m}^3$

MEDIJ: Voda iz gradskog vodovoda

TIP UREĐAJA: pješčani filtar promjera 900 mm kapaciteta 30 m^3/h

CIRKULACIJA: unos obrađene vode na bočnoj stranici fontane

INSTALACIJA: tlačni PVC-U

VRIJEME IZMJENE VODE: $T \approx 0{,}67$ h (40 min)

DODATNA OPREMA:

- dezinfekcija vode
- korekcija pH vrijednosti
- doziranje flokulanta
- doziranje sredstva za neutralizaciju klora
- grijanje fontane
- podvodni LED RGB reflektor

3.2 Odabir filtarskog uređaja

Određivanje potrebnog volumenskog protoka fontanske vode:

$$Q = \frac{N}{k} = \frac{A}{a \times k} = \frac{49}{2{,}7 \times 0{,}6} = 30{,}25\ m^3/h$$

Q – protok vode [m^3/h]

N – nazivno opterećenje [h^{-1}]

k – faktor specifičnog opterećenja. Odabrano $k = 0{,}6$.

a – specifična površina vode za jednog kupača. Odabrano $a = 2{,}7$ m^2.

Odabran je filtar Astralpool Aster sljedećih karakteristika:

- promjer filtra: $D = 900$ mm
- površina filtriranja: $A_F = 0{,}636$ m^2
- ukupna visina: $h = 1100$ mm
- priključci: 2" = 50,8 mm
- protok filtra: $Q_F = 30$ m^3/h
- brzina filtracije: $v = 50$ m/h
- nazivni tlak: 2,5 bar
- radni tlak: 2,0 bar
- filtarska baterija s automatskim ventilima
- materijal filtarske posude: poliester u potpunosti otporan na agresivnost bazenske vode

Vrijeme izmjene cjelokupne vode računa se na način:

$$T = \frac{V}{Q} = \frac{20}{30} = 0{,}667\ h = 40\ min$$

V – zapremnina vode ($V = 20$ m^3)

Q – radni kapacitet filtra ($Q = 30 m^3/h$)

Preporuka je zadržavanje vremena izmjene ispod 4 h.

3.3 Hidraulički proračun

Filtarska crpka se odabire prema padovima tlaka:

Tlačna instalacija:

Pješčani filtar: h = 9,0 m.v.s.

Grubi predfiltar: h = 1,0 m.v.s

Cjevovod: h = 1,0 m.v.s.

Geodetska visina: h = 2 m.v.s.

Ukupno: h = 13,0 m.v.s. [h=1,3 bar]

3.4 Grijanje fontane

Proračun izmjenjivača topline se radi na osnovu početnog zagrijavanja vode kod punjenja vodom iz vodovoda:

T – vrijeme zagrijavanja T = 72 h

c_v – specifični toplinski kapacitet c_v = 4187 J/(kgK) [14]

m – količina vode za zagrijavanje m = 20 000 kg

t_v – temperatura vode u fontani t_v = 28°C

t_s – temperatura vode iz vodovoda t_s = 12°C

3.4.1 Snaga potrebna za početno zagrijavanje vode fontane

Početno zagrijavanje kod prvog punjenja predviđa se u trajanju od 72 h. Toplinski kapacitet izmjenjivača za početno zagrijavanje treba biti:

$$Q = \frac{m \times c_v \times (t_v - t_s)}{T} = \frac{20000 \times 4187 \times (28 - 12)}{72} = 18{,}609\ kW \text{ [13]}$$

3.4.2 Proračun potrebne snage zbog gubitka vode ishlapljivanjem

Procijenjena količina vode koja ishlapljuje je G = 0,1 – 0,2 L/h po m^2 vodene površine fontane.

q – specifična toplina isparavanja za t_v = 28°C

q = 2440 kJ/kg

$$Q_i = A \times G \times q = 49\ x\ 0{,}2 \times 2440 = 23\,912 \frac{kJ}{h} = 6{,}642\ kW \text{ [13]}$$

3.4.3 Proračun potrebne snage za zagrijavanje vode izgubljene pranjem

Kod jednog pranja filtra, potroši se maksimalno 3 m^3 vode koju je potrebno nadoknaditi i zagrijati na temperaturu vode u bazenu u roku od 6 h.

$$Q_{pr} = \frac{G_{pr} \times c_v \times (t_v - t_s)}{6} = \frac{3\,000 \times 4187 \times (28-12)}{6} = 33472 \frac{kJ}{h} = 9{,}298\ kW \text{ [13]}$$

G_{pr} – maksimalna količina vode koja se potroši kod jednog pranja filtra. Odabrano G_{pr} = 3 m^3.

3.4.4 Gubitak toplinske energije transmisijom kroz zidove i dno fontane

A_d – površina dna fontane. Odabrano A_d = 49,0 m^2.

A_z – površina zidova fontane. Odabrano A_z = 11,48 m^2.

k – koeficijent prolaza topline. Odabrano prema postojećim strojarskim projektima fontana k = 2,07 W/(m^2K).

t_v – temperatura vode u bazenu. Odabrano t_v = 28°C.

t_2 – temperatura sa vanjske strane školjke fontane. Odabrano t_2 = 12°C.

Gubitak toplinske energije kroz zidove fontane:

$$Q_z = A_z \times k \times (t_v - t_2) = 11{,}48 \times 2{,}07 \times (28 - 12) = 0{,}38\ kW \text{ [13]}$$

Gubitak toplinske energije kroz dno fontane:

$$Q_d = A_d \times k \times (t_v - t_2) = 49{,}0 \times 2{,}07 \times (28 - 12) = 1{,}623\ kW \text{ [13]}$$

Ukupno:

$$Q_{z+d} = Q_z + Q_d = 0{,}38 + 1{,}623 = 2{,}003\ kW$$

3.4.5 Snaga potrebna za ukupno grijanje fontane

Za početno grijanje fontane potrebno je osigurati 18,609 kW toplinske snage.

U normalnom režimu rada potrebno je osigurati toplinsku snagu koja se gubi ishlapljivanjem, toplinu za grijanje vode izgubljene pranjem i gubitak topline kroz dno i zidove fontane.

$$Q_D = Q_i + Q_{pr} + Q_{z+d} = 6{,}642 + 9{,}298 + 2{,}003 = 17{,}943\ kW$$

3.5 Određivanje broja mlaznica

Kako bi se ubacila obrađena vodu u fontanu, ugrađuju se mlaznice u zidove fontane. Broj mlaznica određuje se prema površini bazena pri čemu jedna mlaznica pokriva cca 8 m^2 površine fontane.

$$N_{mlaznica} = \frac{A}{A_{mlaznica}} = \frac{49}{8} = 6{,}125 \rightarrow 6\ mlaznica$$

Ukupan broj mlaznica za povrat obrađene vode je 6, i stavljaju se na tri bočna zida po dvije, a zid na kojem je *skimmerski* preljev vode ostaje bez mlaznica kako bi sve mlaznice tjerale mlaz prema njemu.

3.6 Proračun podvodnih reflektora

Za fontanu se odabire RGB LED reflektor koji služi kao svjetlosna atrakcija na mlaz mlaznice. Kako je u fontani samo jedna srednje frekventna mlaznica, tako će imati i samo jedan LED RGB reflektor.

3.7 Dimenzioniranje priključka vodovoda i odvodnje fontanske tehnike

Kako je već napisano, predviđa se punjenje fontane u roku od 3 h. Ukupna zapremnina vode u fontani je V=20 m^3, potrebno je osigurati 6,7 m^3/h (1,861 L/s) vode iz javnog vodovoda.

Za predviđen profil DN50 brzina u cjevovodu bi bila 0,95 m/s.

Otpadne vode fontanske tehnike su vode nastale pranjem filtra i otpadne vode nastale pražnjenjem bazena. Sve otpadne vode se ispuštaju u sustav odvodnje građevine, dok se u otpadnoj vodi od pranja filtra neutralizira klor.

4 UTROŠAK ENERGIJE I KEMIKALIJA

Kako bi se točno odredio utrošak energije i kemijskih sredstava, na temelju provedenog proračuna odabere se te na temelju specifikacija izračuna potrošnja energije i kemijskih sredstava.

4.1 Utrošak kemijskih sredstava

Prema Pravilniku o sanitarno-tehničkim i higijenskim uvjetima bazenskih kupališta te o zdravstvenoj ispravnosti bazenskih voda (NN 107/12, 88/14), voda u fontanama i bazenima, osim propisane čistoće mora imati i određenu kemijsku i bakteriološku ispravnost. [1] Zbog

toga je fontansku vodu osim filtriranja i UV dezinficiranja potrebno i adekvatno dezinficirati kemijskim sredstvom. Osim što dezinfekcijsko sredstvo mora uništiti bakterije i viruse, ono mora onemogućiti stvaranje algi. Fontanska voda radi učinkovitosti dezinfekcije mora biti prethodno profiltrirana kako bi se uklonile suspendirane čestice koje ometaju fizikalnu dezinfekciju UV zračenjem i ujedno štite patogene mikroorganizme od djelovanja dezinfekcijskog sredstva.

4.1.1 Dezinfekcija natrij-hipokloritom

Osnovni način dezinfekcije vode u fontani je dezinfekcija klornom otopinom. Već je spomenuto da se od dostupnih klornih otopina izabire otopina natrijevog hipoklorita (NaOCl). Klor je osnovno najraširenije sredstvo za dezinfekciju vode. U vrlo kratkom vremenu razara patogene mikroorganizme u vodi, oksidira sve organske tvari i osigurava bakteriološku ispravnost vode. Opremu za dezinfekciju natrij-hipokloritom čini dozirna crpka s mjernim uređajem koja uzima uzorak vode nakon filtracije pri čemu se mjeri pH vrijednost i redoks potencijal, te na temelju dobivenih rezultata i željene razine pH i sadržaja slobodnog klora usisava klornu otopinu iz spremnika, te je ubrizgava u tlačni cjevovod iza filtra, električnog grijača i UV dezinfekcije. Na taj se način kontinuirano osigurava tražena koncentracija slobodnog klora u fontanskoj vodi. Klorna otopina NaOCl se dobavlja u koncentraciji oko 15% aktivnog klora. Pravilnik o sanitarno-tehničkim i higijenskim uvjetima bazena, koji se primjenjuje i na fontane kao i Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti bazenskih voda, propisuju vrijednosti slobodnog klora između 0,1 mg/L do 1,02 mg/L slobodnog klora. [1]

Za dezinfekciju bazena klornom otopinom natrijevog hipoklorita potrebno je dozirati 0,1 - 0,2 L/10 m^3 dnevno.

V – ukupna količina vode u fontani (V = 20 m^3)

Q_{NaOCl} - dnevna potrošnja NaOCl-a [L/dan]

$$Q_{NaOCl} = \frac{V \times 0{,}2}{10} = 0{,}4\ L/dan = 12\ L/mjesec$$

Potrebno je predvidjeti spremnike dezinfekcijskog sredstva od 30 litara.

4.1.2 pH vrijednost fontanske vode

Važna karakteristika vode u fontanama je pH vrijednost. Voda iz gradskog vodovoda, za koju je predviđen rad fontane ima vrijednost pH od oko 7,0. Voda u fontani ima tendenciju odlaska u lužnato područje, tj. rasta pH vrijednosti te ju je zbog toga potrebno kontinuirano

mjeriti i snižavati. Visoka pH vrijednost, iznad pH 9,0, agresivna je za oči i za kožu. Kako je već navedeno u Uvodu ovoga rada, dozvoljena pH vrijednost je od 6,7 do 7,6. [1]

Snižavanje pH vrijednosti postiže se otopinom sulfatne kiseline, H_2SO_4. Oprema za mjerenje, doziranje, uzorkovanje, spremnici i dovod u tlačni cjevovod je više-manje ista kao i za natrijev hipoklorit.

Proračun potrebne količine sulfatne kiseline ovisi o vremenu, poziciji fontane, okolini, tj. o izmjerenoj pH vrijednosti, te je kao takav jako općenit i nije propisano koliko ga je potrebno dozirati na 10 m^3 po danu kao što je to slučaj sa natrijevim hipokloritom. Doziranje sulfatne kiseline ovisi jedino o pH vrijednosti u fontanskoj vodi i kao takvo se ne računa nego uzima spremnik iste veličine kao za natrijev hipoklorit.

Potrebno je predvidjeti spremnike sulfatne kiseline od 30 litara.

4.1.3 Doziranje flokulanta

Uloga flokulanta je da ukloni mutnoću vode i pospješi rad filtra. Flokulant služi za agregiranje suspendiranih čestica u flokule koje se lakše uklanjaju na filtru. Kao flokulant odabire se 10%-tnu koncentraciju aluminijevog poliklorida $Al_2(SO_4)_3$. Aluminijev poliklorid se dozira u tlačni cjevovod prije filtracije.

Oprema za doziranje, spremnici i dovod u tlačni cjevovod su isti kao kod natrijevog hipoklorita i sulfatne kiseline, s razlikom da se dozirna crpka unaprijed podesi na određenu vrijednost kojom se osigurava potrebna doza.

Flokulant se dozira u rasponu 0,05 – 0,1 L/10 m^3 dnevno. [1]

V – ukupna količina vode u fontani (V=20m^3)

$Q_{Al_2(SO_4)_3}$- dnevna potrošnja aluminijevog poliklorida [L/dan]

$$Q_{Al_2(SO_4)_3} = \frac{V \times 0{,}1}{10} = 0{,}2\ L/dan = 6\ L/mjesec$$

Potrebno je predvidjeti spremnike aluminijevog poliklorida od 15 litara.

4.1.4 Doziranje sredstva za neutralizaciju klora

Prilikom pražnjenja fontane i prilikom pranja filtra, fontanska voda se ispušta u javni sustav odvodnje. Kako se u javni sustav odvodnje ne bi ispustila voda sa rezidualnim klorom, vrši se postupak neutralizacija. Za neutralizaciju klora koristit će se 20%-tna otopina natrijevog bisulfita $NaHSO_3$. Oprema za doziranje, spremnici i dovod u ispusni cjevovod su isti kao i kod

flokulanta, natrijevog hipoklorita i sulfatne kiseline, s razlikom da se ovdje mjeri protok u cijevi za ispuštanje otpadnih voda, te kada mjerni uređaj registrira protok, počinje doziranje natrijevog bisulfita.

Natrijev bisulfit se doprema u tvorničkom pakiranju zapremnine 25 litara.

4.1.5 Multifunkcionalne mjerne dozirne crpke

Kvalitetu vode u fontani nadziru mjerne multifunkcionalne dozirne crpke DLX pH-Rx-CL/M tvrtke ETATRON D.S. koje imaju mogućnost mjerenja vrijednosti redoks potencijala i pH vrijednosti te obavljaju doziranje sukladno zadanoj mjernoj vrijednosti. Predviđeno je četiri crpke, za svako kemijsko sredstvo koje se dozira po jedna, od kojih tri rade konstantno u ovisnosti o mjernom uređaju, a jedna se pali prilikom pranja filtra kako bi se neutralizirao klor. Mjerni uređaj uzima uzorak pomoću posebnog priključka u tlačnom cjevovodu nakon filtra, koji prolazi preko mjerne elektrode mjernog uređaja i daje podatke o količinama slobodnog klora i pH vrijednosti fontanske vode. Karakteristike fontanske vode mjerene mjernim uređajem DLX pH-Rx CL/M mogu se očitati na njegovom zaslonu. Vrijednosti koje su izmjerene se uspoređuju sa zadanim vrijednostima u mjernom uređaju te uređaj upravlja radom dozirnih crpki.

Nominalni protok [L/h]	Maksimalni protok [L/h]	Maksimalni tlak [bar]	Vršna snaga [W]
1	8	15	40

Tablica 2 Karakteristike mjernog uređaja [9]

Slika 14 Dozirna crpka [9]

4.1.6 Spremnici kemije

Spremnici kemijskih sredstava osiguravaju dovoljnu količinu za neprekidni rad uređaja za obradu fontanske vode. Napravljeni su od polu-transparentnog polietilena, koji na prednjoj strani ima ljestvicu (nivokaz) kako bi se lakše mjerila razina napunjenosti spremnika te kako bi se na vrijeme naručila nova količina.

Slika 15 Spremnici kemije [5]

U proračunima potrošnje kemijskih sredstava izračunate su dnevne i mjesečne količine svakog potrebnog sredstva te su predviđeni spremnici za prihvat tih kemijskih sredstava koji osiguravaju kontinuirani rad postrojenja u razdoblju od približno 3 mjeseca.

/	Natrijev hipoklorit	Sulfatna kiselina	Aluminijev poliklorid	Natrijev bisulfit
Dnevna potrošnja	0,4 litara/dan	/	0,2 litara/dan	/
Mjesečna potrošnja	12 litara/mjesec	/	6 litara/mjesec	/
Veličina spremnika	30 litara	30 litara	15 litara	25 litara

Tablica 3 Potrošnja kemijskih sredstava i veličina spremnika

4.2 Utrošak energije

U sustavu tretiranja fontanske vode postoji puno uređaja koji koriste električnu energiju za svoj rad. Iz tog razloga proveden je izračun utroška električne energije za svaki odabrani uređaj.

4.2.1 Filtarska crpka

Filtarsku crpku odabiremo prema ukupnom padu tlaka u sustavu i prema potrebnom protoku sustava.

Zadani podatci su:

Q – protok (Q = 30m^3/h)

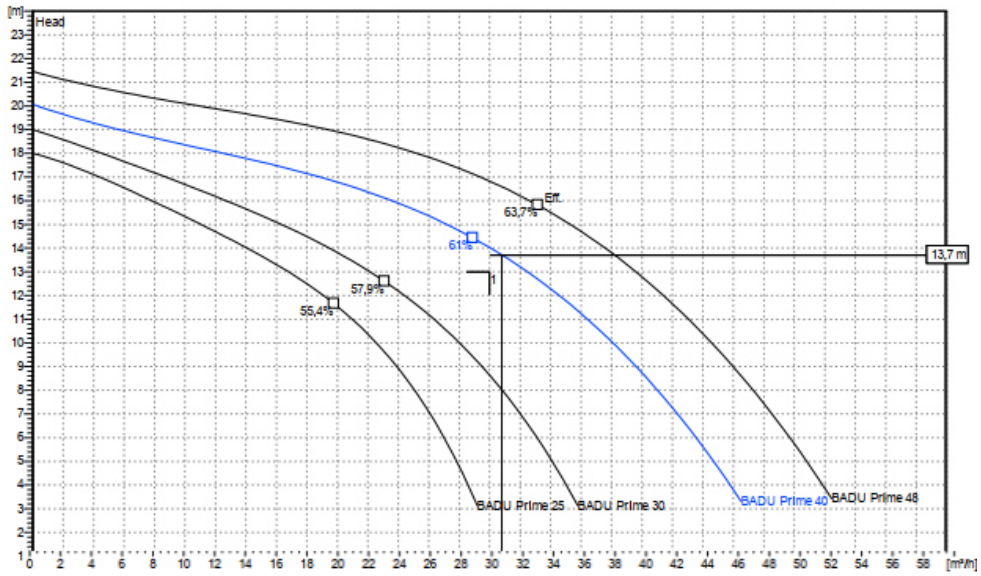
h – pad tlaka (h = 13 m.v.s = 1,3 bar)

Na temelju tih vrijednosti odabrana je crpka SPECK BADU Prime 40.

Nominalni protok	30,807	m^3/h
Maksimalni protok	46,5	m^3/h
Nominalna visina vodenog stupca	13,709	m
Maksimalna visina vodenog stupca	20,068	m
Snaga	2,2	kW
Frekvencija	50	Hz

Tablica 4 Karakteristike filtracijske crpke [11]

Slika 16 Filtracijska crpka [11]



Slika 17 Karakteristika crpke [11]

4.2.2 Crpka mlaznice

Fontana radi s jednom mlaznicom postavljenom na sredini fontane koju pokreće crpka mlaznice koja je potopljena u fontani, sa frekvencijskim upravljanjem protoka. Frekvencijsko upravljanje protoka znači da mlaz vode nije konstantan. Odabrana crpka koja pokreće vodu kroz mlaznice je OASE Varionaut 270/DMX/02 koju programiramo preko WECS-a, s kojim je crpka spojena DMX kablom.

Maksimalan protok	270	l/min
Minimalan protok	10	l/min
Maksimalna visina vodenog stupca	10	m
Snaga	430	W
Napon	230 [AC]	V

Tablica 5 Karakteristika crpke mlaznice [10]

Slika 18 Crpka mlaznice [10]

4.2.3 LED reflektor mlaznice

Za mlaznicu je pričvršćen LED RGB reflektor promjenjivih boja, koji daje dodatan izgled tome mlazu. Odabrani reflektor je OASE Profilux LED XL RGBW FLOOD/DMX/02, koji je isto spojen sa DMX kablom na WECS pomoću kojega se može napraviti program po kojem će se reflektor paliti i gasiti, mijenjati boje ili prigušivati jačinu svjetla, u skladu sa frekvencijski reguliranom crpkom koja je isto tako spojena na WECS.

Maksimalni svjetlosni tok	2065	lm
Snaga	50	W
Kut zrake svjetlosti	31 ± 2	°
Temperatura LED bijelog svjetla	4000 ± 200	K

Tablica 6 Karakteristike LED reflektora mlaznice [10]

Slika 19 LED RGBW reflektor [10]

4.2.4 Potopna crpka strojarnice

Za smještaj većine opreme od koje se sastoji uređaj za obradu fontanske vode kao i pripadajući cjevovodi, predviđena je strojarnica. Kako kroz sav taj sustav voda konstantno protječe, postoji mogućnost da strojarnica poplavi. Isto tako u strojarnici se mora nalaziti umivaonik zbog kemijskih sredstava za koje je propisano postojanje umivaonika u njihovoj blizini. Za odvod sve te nabrojane vode (slučajnim puštanjem ili vode iz umivaonika) predviđeno je sabirno okno s potopnom crpkom, koja na sebi ima plovak koji se aktivira kada tu crpku potopi voda. Odabrana potopna crpka je SPECK TOP 59, Version WS.

Maksimalni protok	11	m^3/h
Maksimalna visina vodenog stupca	11	m
Snaga	0,5	kW

Tablica 7 Karakteristike potopne crpke [11]

Slika 20 Potopna crpka [11]

4.2.5 Umekšivač

Kod odabira umekšivača, važni podaci su volumen fontane, brzina strujanja vode, protok kroz umekšivač i promjer cijevi kojima voda dolazi do umekšivača, i kojima voda napušta umekšivač.

V – volumen fontane (V=20 m^3)

v_{vod} – brzina strujanja vodovodne vode. Odabrano v_{vod} = 2 m/s.

d – promjer cijevi kojima je opremljen umekšivača. Odabrano d = 25 mm.

Q_{ume} – protok kroz umekšivač

$$Q_{ume} = A \times v_{vod} \times 3600 = \frac{d^2\pi}{4} \times v_{vod} \times 3600 = \frac{0{,}025^2 \times \pi}{4} \times 2 \times 3600 = 3{,}534 \frac{m^3}{h}$$

Iz kataloga proizvođača 3M za vrijednost Q_{umek}=3,534 m^3/h odabere se 3M-WS 80 umekšivač, koji na sebi ima upravljački ventil FLECK.

Upravljački ventil	Fleck 5600	/
Snaga Fleckovog ventila	15	W
Kolona za ionsku masu	13x54	/
Ionska masa	80	litara
Posuda za sol	190	litara
Ugradbene mjere [dužina x širina x visina]	1000x600x1600	mm
priključak	1	Inch [col]

Tablica 8 Karakteristika umekšivača [4]

Slika 21 Umekšivač sa posudom za sol [4]

4.2.6 Električni grijač

Za odabir električnog grijača bitne su dvije informacije - koliko toplinske energije treba nakon punjenja za zagrijavanje vode na željenu temperaturu te koliko se toplinske energije odvodi tijekom rada fontane. Odabrani električni grijač je ZODIAC RED LINE 12 koji ima maksimalnu snagu grijača 12 kW. Izračunata toplinska energija od 17,943 kW, podrazumijeva istovremeni gubitak ishlapljivanja u ljetnom danu, pranje filtra i gubitak topline kroz zidove i pod fontane te će u praksi biti dovoljna snaga grijača od 12 kW.

Snaga grijača	12	kW
Maksimalan učinak	18	kW
Minimalan protok vode	5	m^3/h
Maksimalan protok vode	30	m^3/h

Tablica 9 Karakteristike električnog grijača [7]

4.2.7 UV dezinfekcija

Odabir UV reaktora za dezinfekciju vrši se isključivo prema potrebnom protoku.

Za zadani protok od 30 m^3/h odabran je UV reaktor BIO-UV UV340.

Maksimalan tlak	3	bara
Protok	34	m^3/h
UV-lampa	2x87	W
Ukupna snaga svih lampi	174	W
UV-C doza zračenja	30	mJ/cm^2

Tablica 10 Karakteristike odabranog UV reaktora za dezinfekciju fontanske vode [6]

4.2.8 Ostala oprema koja troše električnu energiju

Snaga odabranih dozirnih crpki je 20 W. Za potrebe postrojenja koriste se četiri dozirne crpke.

Unutar strojarnice se nalaze spremnici kemijskih sredstava te je predviđeno da se nalazi ispod površine zemlje. Strojarnica mora zbog toga biti opremljena sa specijalnim vratima s rupama i ventilatorom koji odsisava zrak iz prostorije i kroz vrata vuče svježi. Izabran je ventilator koji troši 20 W energije.

Proračun strojarnice veličine 10 m^2 provodi se uz pretpostavku da je za svaki m^2 potrebno osigurati 300 lm. Odabrane su četiri LED žarulje, svaka po 10 W, koje pokriju traženih 3000 lm. Ukupna snaga žarulja strojarnice iznosi 40 W.

A_{stroj} – površina strojarnice. Odabrano A_{stroj} = 10 m^2.

Φ_s – svjetlosni tok [lm]

$$\frac{\Phi s}{\text{Astroj}} = 300\ lm/m^2$$

Φ_s = 3000 lm – potrebno u prostoriji

Svaka LED žarulja ima 800 lm, što pomnoženo sa 4 (žarulje) daje 3200 lm.

Snaga dozirnih crpki	40	W
Snaga ventilatora	20	W
Snaga LED žarulja	40	W

Tablica 11 Potrošnja električne energije ostale opreme

4.2.9 Ukupna potrošnja energije

Ukupna potrošnja energija za svu odabranu opremu prikazana je tablično.

Filtracijska crpka	2200	W
Crpka mlaznice	430	W
LED reflektor mlaznice	50	W
Potopna crpka	500	W
Fleck 5600	15	W
Električni grijač	18000	W
UV dezinfekcija	174	W
Dozirne crpke	40	W
Ventilator	20	W
LED žarulje	40	W
UKUPNO	21,46	kW

Tablica 12 Ukupna potrošnja energije

Najveći dio energije (83,88%) troši se na grijanje vode i na crpku za filtraciju (10,25%). Na ostalu opremu odlazi tek nešto više od 5% ukupno potrošene energije.

5 ZAKLJUČAK

Fontana je građevina čisto vizualnog karaktera, koja nema posebnu ulogu, ali je mjesto okupljanja ljudi, kao što je u ljudskoj povijesti uvijek voda i bila. Kada toj vodi dodamo mlaznice, reflektore i frekvencijski regilirane crpke, dobije se ne samo mjesto okupljanja nego vizualno predivno mjesto koje mami poglede i na koje se ljudi često vraćaju. Zbog mogućeg utjecaja na zdravlje ljudi, prilikom projektiranja ovakvih sustava potrebno je udovoljiti visokim zahtjevima na kvalitetu fontanske vode. Ako se sa fontanom i njenom opremom postupa kako je to predviđeno i ako se oprema redovito održava i servisira, ona će biti dugotrajna i neće predstavljati zdravstveni problem već će ostati vizualno predivna vodena figura što zapravo i jest.

6 LITERATURA

[1] DIN 19463-1 „Bazenska tehnika“

[2] DIN 19463-2 „Bazenska tehnika“

[3] Juretić H., Predavanja iz kolegija Voda, gorivo i mazivo profesora

[4] Katalog tvrtke 3M

[5] Katalog tvrtke Astralpool

[6] Katalog tvrtke Bio-UV

[7] Katalog tvrtke Zodiac

[8] Katalog tvrtke Inokem

[9] Katalog tvrtke ETATRON D.S.

[10] Katalog tvrtke OASE

[11] Katalog tvrtke SPECK

[12] Masschelein W.J., Ultraviolet Light in Water and Wastewater Sanitation, 2002, FL

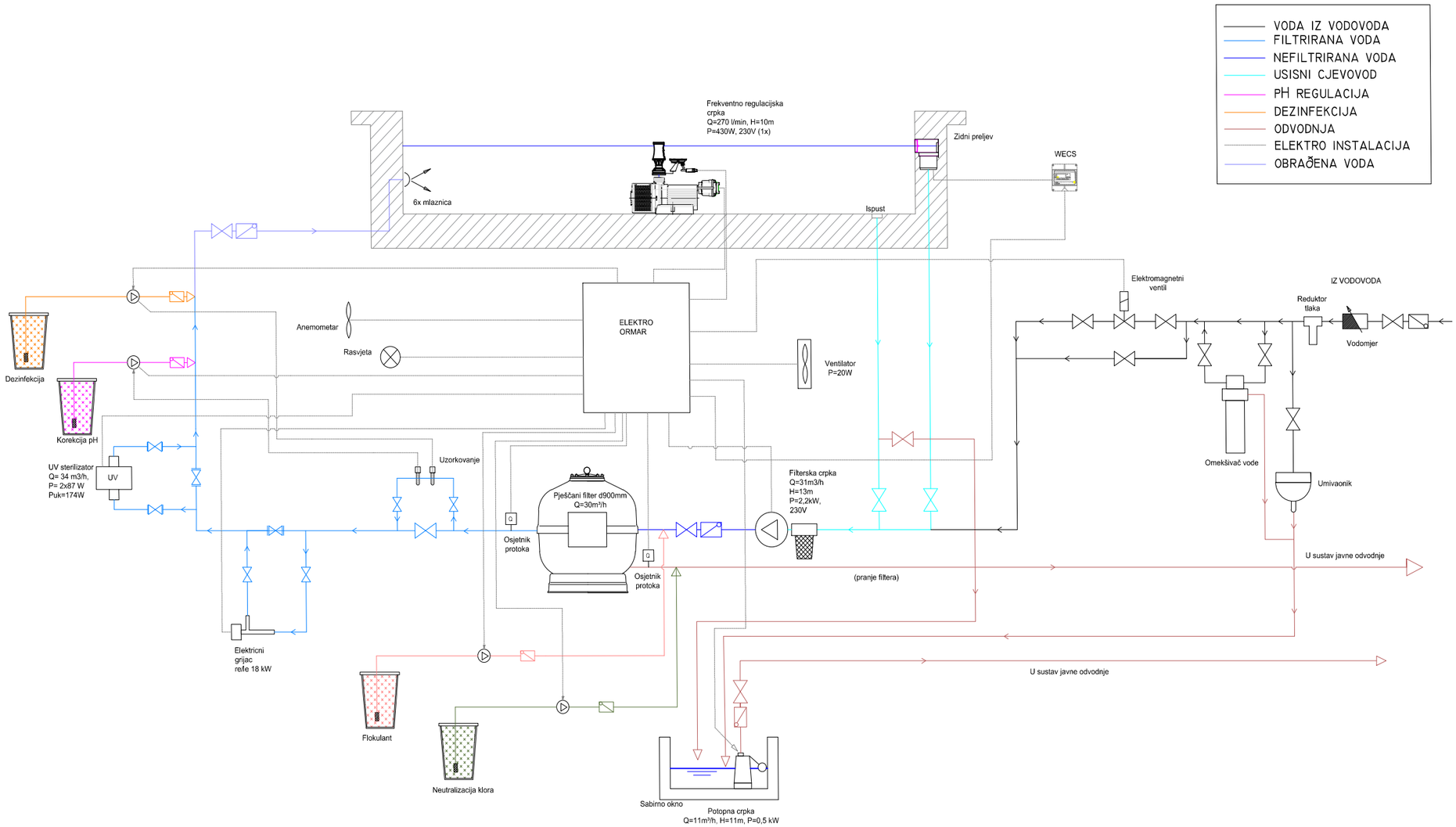
[13] Galović A., Termodinamika 1, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014

[14] Halasz B., Galović A., Boras I., Toplinske tablice, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015

[15] Departments of Engineering and Medicine, University of Pittsburgh and the VA Medical Centre Pittsburgh, U.S.A., 1995

7 SHEMA I PRIKAZ SMJEŠTAJA POSTROJENJA

Fontana pravokutnog oblika
A= 49 m², Hv=0,41m



	DATUM	IME I PREZIME	POTPIS
PROJEKTIRAO	14.05.2021.	Matija Škrivanek	
RAZRADIO	14.05.2021.	Matija Škrivanek	
CRTAO	14.05.2021.	Matija Škrivanek	
PREGLEDAO	14.05.2021.	prof.dr.sc. Hrvoje Juretić	

FSB ZAGREB

OBJEKT: Shema fontane

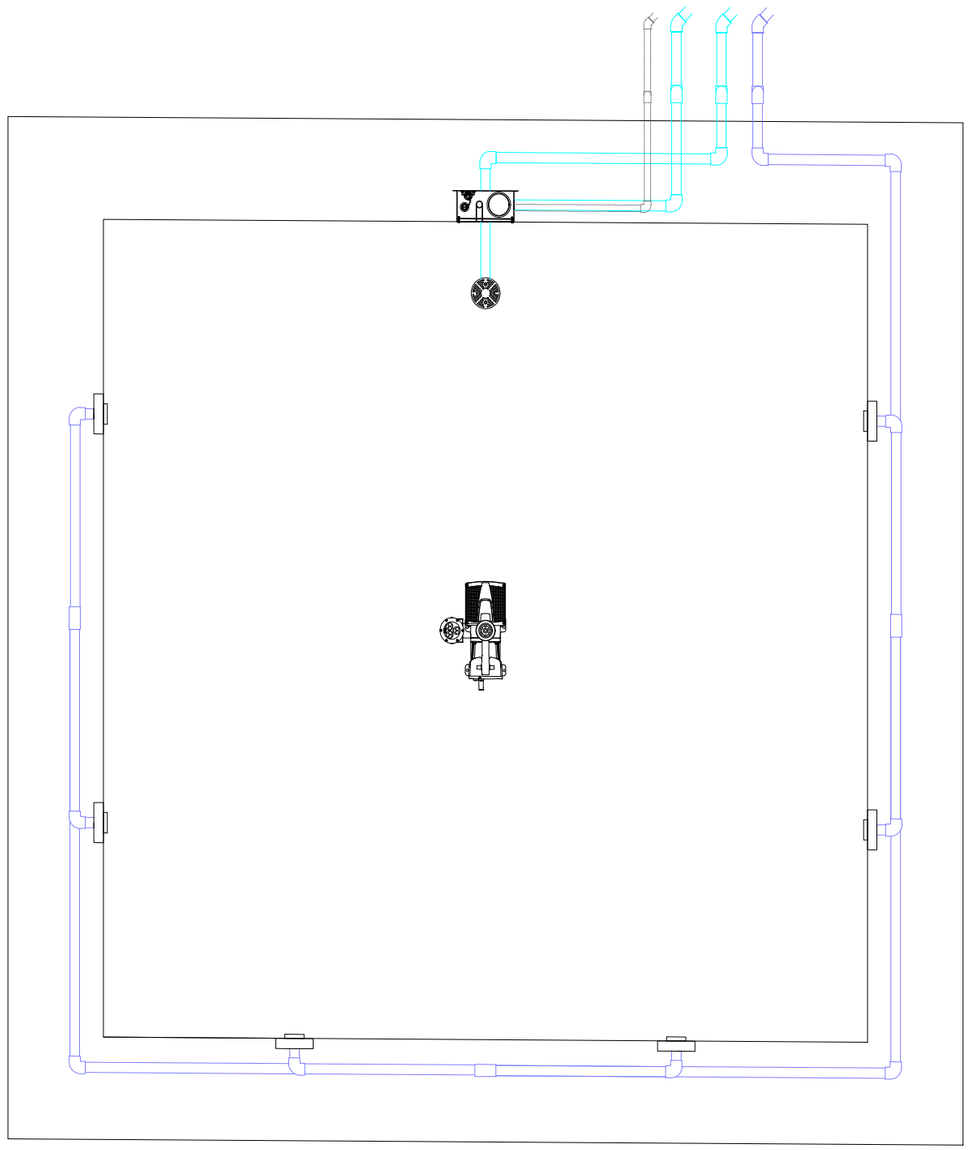
OBJEKT BROJ: 1

R. N. BROJ: 14-05-2021-VT-1

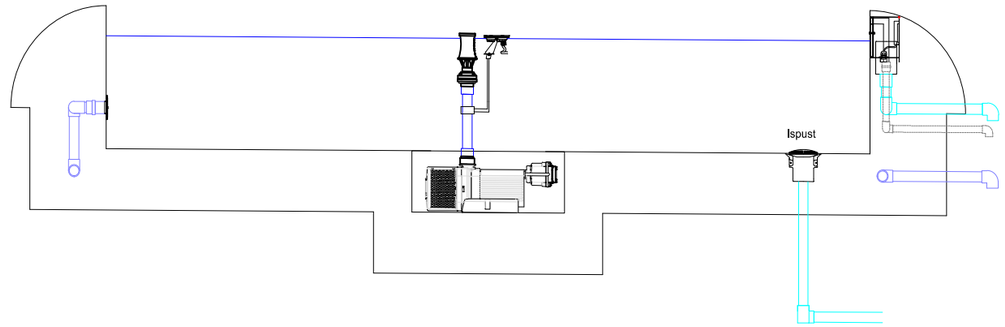
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

DESIGN BY CADLAB

Tlocrt fontane



Presjek fontane

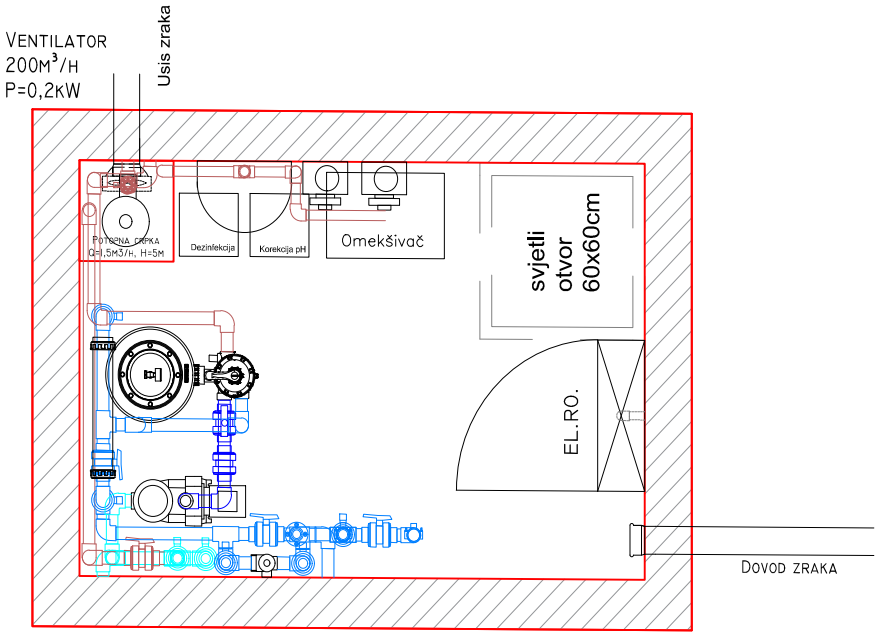


	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	14.05.2021.	Matija Škrivanek		FSB Zagreb
Razradio	14.05.2021.	Matija Škrivanek		
Crtao	14.05.2021.	Matija Škrivanek		
Pregledao	14.05.2021.	prof.dr.sc. Hrvoje Juretić		

Objekt: Fontana	Objekt broj: 1	
	R. N. broj: 14-05-2021-VT-1	
Napomena:		Kopija
Materijal:	Masa:	
Mjerilo originala: 1:30	Naziv: Tehnički nacrti fontane	Pozicija: 14
	Crte broj: 2,3	Format: A3
		Listova: 3
		List: 2

Design by CADLAB

Tlocrt strojarnice



	DATUM	IME I PREZIME	POTPIS	FSB ZAGREB
PROJEKTIRAO	14.05.2021.	Matija Škrivanek		
RAZRADIO	14.05.2021.	Matija Škrivanek		
CRTAO	14.05.2021.	Matija Škrivanek		
PREGLEDAO	14.05.2021.	prof.dr.sc. Hrvoje Juretić		

OBJEKT: Strojarnica	OBJEKT BROJ: 1	
	R. N. BROJ: 14-05-2021-VT-1	
NAPOMENA:		KOPIJA
MATERIJAL: / MASA:		
NAZIV: Tehnički nacrt strojarnice	POZICIJA: 14	FORMAT: A4
MJERILO ORIGINALA 1:30	CRTE BROJ: 4	LISTOVA: 3
		LIST: 3

DESIGN BY CADLAB