

Hidraulički proračun crpne stanice podsustava odvodnje Brnaze

Majica, Roko

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:732414>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-07**



Repository / Repozitorij:

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Roko Majica

Split, 2024.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Roko Majica

**HIDRAULIČKI PRORAČUN CRPNE
STANICE U SKLOPU PODSUSTAVA
ODVODNJE NASELJA BRNAZE**

Završni rad

Split, 2024.



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING,
ARCHITECTURE AND GEODESY

STUDIJ: STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ GRAĐEVINARSTVO
KANDIDAT: ROKO MAJICA
MATIČNI BROJ: 0083228315
KATEDRA: Katedra za hidromehaniku i hidrauliku
KOLEGIJ: Osnove vodogradnje

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Hidraulički proračun crpne stanice podsustava odvodnje naselja Brnaze.

Opis zadatka: Potrebno je provesti hidraulički proračun crpne stanice za odvodnju otpadne vode u kanalizaciji. Podloge i mjerodavne količine kanalizacije za predmetni proračun potrebno je preuzeti za naselje Brnaze u sklopu aglomeracije Sinj. Hidraulički proračun mora obuhvatiti određivanje statičke visine dizanja te hidrauličke gubitke u cjevovodu kako bi se u konačnici odredila ukupna potrebna visina dizanja crpki. Također, proračunom je potrebno odrediti volumen usisnog bazena crpne stanice te odabrati tip crpke temeljem provedenog hidrauličkog proračuna.

U Splitu, 08. ožujka 2024.

Mentor: doc.dr.sc. Toni Kekez

Hidraulički proračun crpne stanice podsustava odvodnje naselja Brnaze

Sažetak:

U ovom radu izvršen je hidraulički proračun crpne stanice za potrebe kanalizacijskog podsustava naselja Brnaze u sklopu aglomeracije Sinj. Cilj proračuna odnosi se na određivanje potrebne zapremine crpne stanice odnosno volumena usisnog bazena za dnevno izravnavanje dotoka otpadne vode. Također, proveden je hidraulički proračun gubitaka u tlačnom cjevovodu kako bi se, uz statičku visinu, odredila ukupna visina dizanja koju crpna stanica mora ostvariti za zadani protok otpadne vode.

Ključne riječi: hidraulički proračun, crpna stanica, crpka, Bernoullijeva jednadžba , Darcy-Weisbachova jednadžba.

Hydraulic calculation of pumping station within the Brnaze drainage subsystem

Abstract:

In this paper, a hydraulic calculation of pumping station was carried out for the sewage subsystem in the village of Brnaze, as a part of Sinj Agglomeration. The goal of the calculation is to determine the required volume of the pumping station for daily inflow variations. Additionally, hydraulic calculation is performed to estimate hydraulic losses and to determine the required hydraulic head height for default wastewater discharge.

Keywords: Hydraulic calculation, pumping station, pump, Bernoulli's equation, Darcy-Weisbach equation.

Sadržaj

1. UVOD	1
2. Kanalizacijski sustavi.....	2
2.1 Općenito.....	2
2.2 Crpke i crpni sustavi	3
2.3 Osnovna analiza crpki	4
2.4 Spajanje više crpki.....	6
2.5 Crpne stanice	6
3. Hidraulički proračun	9
3.1 Osnove hidrauličkog proračuna.....	9
3.2 Otpadne vode stanovništva.....	9
3.3 Tuđe vode	10
3.4 Ulazni podaci	10
3.5 Crpna stanica-Brnaze 2.....	14
3.6 Proračun crpke	15
3.7 Proračun zapremine crpne stanice	18
4. Rezultati	20
5. Zaključak	22
6. Popis slika i tablica	23
7. Literatura	24

1. UVOD

U sklopu ovog završnog rada, izrađen je hidraulički proračun dijela sustava odvodnje „Podsustava Brnaze“ u Sinju, odnosno crpne stanice kako bi se osigurala odvodnja otpadnih voda koja će biti u skladu s današnjim standardima i pravilima struke. Dio mreže sa ulaznim podacima preuzet je iz glavnog projekta sustava odvodnje „Podsustav Brnaze sustava prikupljanja i odvodnje otpadnih voda s područja aglomeracije Sinj“.

Kanalizacijski sustav služi za sigurno prikupljanje, odvodnju i obradu otpadnih voda iz domaćinstava, industrije i oborinskih voda. Njegova glavna svrha je zaštita zdravlja ljudi i okoliša sprječavanjem onečišćenja tla, podzemnih voda i vodnih tokova. Isto tako, za današnje standarde očuvanja okoliša, kanalizacijska voda se pročisti do potrebnog stupnja prije ispuštanja u okoliš, a sve u skladu s ekološkim zahtjevima, zakonskim propisima i pravilima struke.

Hidraulički proračun odnosi se na izračun linijskih gubitaka u tlačnom cjevovodu u svrhu određivanja ukupne visine dizanja odnosno podizanja linije energije unutar tlačnog sustava kako bi se osiguralo crpljenje otpadne vode prema glavnom kolektoru. Također, proračunatom je određen volumen usisnog bazena za dnevno izravnavanje dotoka otpadne vode. U konačnici, temeljem provedenog proračuna odabran je tip crpke koji zadovoljava potrebe promatranog sustava.

2. KANALIZACIJSKI SUSTAVI

2.1 Općenito

Kanalizacijski sustavi postoje od drevnih civilizacija poput Mezopotamije i Rima, gdje je Cloaca Maxima služila za odvodnju otpadnih voda. U srednjem vijeku, kanalizacija je nazadovala, a otpadne vode su se ispuštale na ulice, uzrokujući širenje bolesti.

S industrijskom revolucijom, urbanizacija je potaknula razvoj naprednih sustava, poput onih u Londonu i Parizu, koji su sprječavali zarazne bolesti. Tijekom 20. stoljeća, tehnologija je omogućila složenije sustave i pročišćavanje otpadnih voda.

U današnje doba, kanalizacijski sustavi imaju ključnu ulogu u održavanju javnog zdravlja, zaštiti okoliša i očuvanju pitke vode. Moderni sustavi obuhvaćaju odvajanje oborinskih voda od sanitarnih otpadnih voda, čime se smanjuje rizik od poplava i onečišćenja. Korištenje naprednih tehnologija u pročišćavanju otpadnih voda omogućuje ponovno korištenje pročišćene vode u poljoprivredi i industriji, što doprinosi održivosti resursa.

Postupak projektiranja sastoji se od sljedećih koraka:

- Prikupljanje ulaznih podataka: Prikupljanje podataka o broju stanovnika, namjeni objekata, količini i vrsti otpadnih voda.
- Analiza terena: Pregled terena na predviđenoj trasi, pregled topologije, hidrologije i geologije područja.
- Dimenzioniranje sustava: Proračun potrebnog kapaciteta cijevi, ovisno o količini otpadnih i oborinskih voda.
- Odabir kanalizacijskog sustava: Odabir između mješovitog i separatnog kanalizacijskog sustava.
- Projektiranje mreže: Definiranje promjera i vrste cijevi, nagiba, crpnih stanica i mjesta daljnje odvodnje.
- Projektiranje postrojenja za pročišćavanje: Određivanje tehnologija i kapaciteta potrebnih za obradu otpadnih voda.
- Izrada tehničke dokumentacije: Priprema nacрта, troškovnika i svih potrebnih dokumenata za realizaciju projekta.
- Ispitivanje i usklađenosti s propisima: Pregled projekta od strane revidenta, provjera usklađenosti projekta s pravilima struke i zakonskim normama.

- Izrada plana izvođenja: Organizacija plana izvedbe radova, uzimajući u obzir sve parametre uključene u projekt.

Osnovni ciljevi projektiranja kanalizacijskog sustava su osigurati sigurno i učinkovito odvođenje otpadnih i oborinskih voda kako bi se zaštitilo javno zdravlje i okoliš. Projektiranje mora optimizirati kapacitet sustava, spriječiti poplave i osigurati dugotrajnu funkcionalnost uz minimalne troškove održavanja. Također je važno usklađivanje s propisima i standardima za zaštitu okoliša.

2.2 Crpke i crpni sustavi

Crpke se koriste za transport vode s jednog mjesta na drugo, najčešće s niže na višu visinsku točku. Zbog današnjih ekoloških standarda, potrebno je objediniti sve otpadne i zagađene vode te ih usmjeriti na postrojenja za pročišćavanje prije ispuštanja u okoliš. Kako bi se voda uspješno dovela do postrojenja, često je potrebna izgradnja više crpnih stanica jer rijetko koji sustav može potpuno gravitacijski dopremiti vodu.

Crpne stanice koriste se i u sustavima oborinske kanalizacije kako bi se savladale visinske prepreke, no njihova uporaba je ograničena zbog visokih troškova izgradnje i održavanja. Uglavnom se koriste u sustavima otpadnih voda, dok se u oborinskoj kanalizaciji primjenjuju rjeđe. Danas su najčešće u upotrebi dvije vrste crpki: pužne i centrifugalne. Pužne crpke podižu vodu vertikalno na više kote, dok centrifugalne, putem tlačnih cjevovoda, omogućuju transport vode na veće visinske razlike i udaljenosti. [2]

Projektiranjem crpnih stanica nastoji se postići optimalno rješenje koje treba imati sljedeće karakteristike:

- Automatski rad
- Pouzdan i djelotvoran rad
- Minimalno održavanje
- Minimalne troškove održavanja i pogona

Da bi se pouzdano i kvalitetno odredile veličine i karakteristike crpnih stanica, potrebno je poznavati sljedeće podatke:

- veličinu i karakteristike protoka koji dotječe na crpnu stanicu
- kakvoću voda
- veličine i karakteristike protoka koji se prepumpava

- lokaciju i karakteristike mjesta gdje se voda prepumpava
- ciklus rada crpki i potrebni retencijski prostor crpnog bazena
- minimalan potreban slobodni protočni prostor crpki i talčnog cjevovoda
- karakteristike tlačnog cjevovoda
- potrebe budućeg širenja
- karakteristike terena na kojem su locirani crpna stanica i tlačni cjevovod
- uvjete dobivanja energije
- posebne uvjete izvedbe u skladu sa zaštitom okoliša

2.3 Osnovna analiza crpki

Osnovni proračun crpki uključuje:

- kapacitet (m^3/s)
- visinu dizanja (m)
- učinkovitost (η)
- karakteristike krivulje
- ulaznu energiju (Nm/s), (kW);

Kapacitet crpki je volumen tekućine koja se crpi u jedinici vremena, odnosno iskoristivi protok koji crpka daje kroz svoj izlazni otvor

Razlikuju se:

Q_n - nominalni protok za koji je crpka predviđena

$Q_{optimalni}$ - protok koji crpka daje na točki optimalne učinkovitosti

Q_{min} - minimalno dozvoljeni protok

Q_{max} - maksimalno dozvoljeni protok

Razlikuje se i maseni protok m , a to je iskoristiva masa tekućine koju crpka precrcpljuje kroz izlazni otvor u određenom vremenu. Odnos masenog protoka m i protoka Q je:

$$m = \rho \cdot Q$$

gdje je ρ - gustoća tekućine

Visina dizanja crpke je iskoristivi mehanički rad transformiran od strane crpke da precrcpljuje tekućinu, a izražava se po jedinici težine precrcpljene tekućine na lokalnoj gravitacijskoj konstanti.

Za svaku crpku razlikuje se:

H_N - nominalnu visinu dizanja za koju je crpka predviđena

$H_{\text{optimalna}}$ - optimalnu visinu dizanja koju crpka daje u točki maksimalne učinkovitosti

H_0 - visinu dizanja kada nema protoka, odnosno kada je $Q=0$

Ukupna visina dizanja H crpke mjeri se kao povećanje mehaničke energije E protoka po jedinici težine G na ulazu i izlazu crpke (odnosno između ulazne i izlazne prirubnice crpke):

$$H = \frac{E(Nm)}{G(N)} (m)$$

Općenito, iskoristiva energija tekućine je zbroj energije položaja (potencijalne energije), tlaka i dinamičke energije. U skladu s tim razlikuje se:

$Z_t - Z_u$ - visinska razlika ulaza crpke u i izlaza crpke t

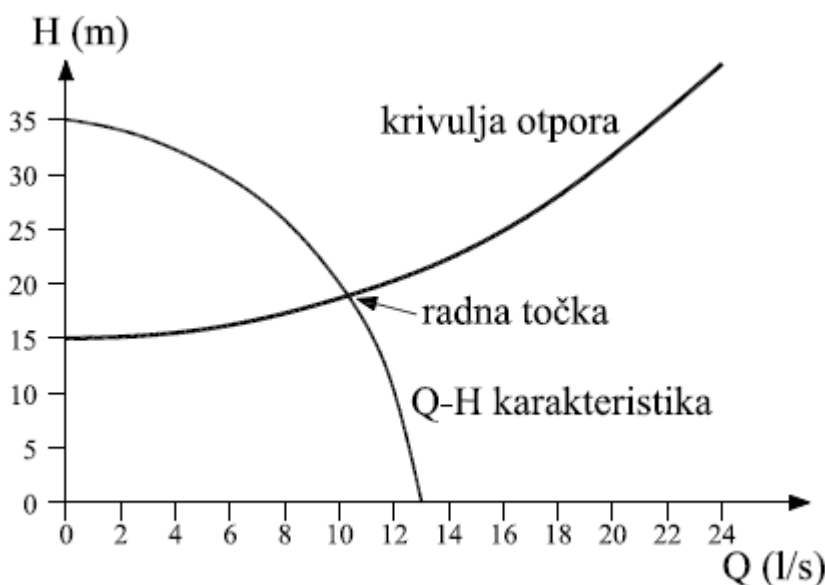
$\frac{p_t - p_u}{\rho \cdot g}$ – razlika tlačne visine tekućine na ulazu crpke u i na izlazu crpke t

$\frac{v_t^2 - v_u^2}{2g}$ – razlika brzinske visine tekućine na ulazu crpke u i na izlazu crpke t

Ukupna visina H dizanja crpke je:

$$H = (Z_t - Z_u) + \frac{p_t - p_u}{\rho \cdot g} + \frac{v_t^2 - v_u^2}{2g}$$

Prva dva člana s desne strane izraza su statička komponenta koja je nezavisna od veličine protoka, dok je zadnji član dinamička komponenta ovisna o protoku. [2]



Slika 1: Q-H karakteristika , krivulja otpora i radna točka [3]

2.4 Spajanje više crpki

Dvije crpke u kanalizacijskim sustavima mogu biti spojene **serijski** ili **paralelno**, a svaka konfiguracija ima specifične primjene i prednosti ovisno o zahtjevima sustava.

- **Serijski spoj:** Ova veza omogućuje crpkama da rade uzastopno, gdje prva crpka podiže vodu na određenu visinu, a druga crpka dodatno povećava tlak kako bi savladala veće visinske razlike. Crpke mogu imati različitu visinu dizanja, ali je bitno da imaju približno isti kapacitet, kako crpka većeg protoka ne bi gušila crpku manjeg protoka. Takav sustav povećava ukupni tlak u cjevovodu, ali ne značajno povećava kapacitet protoka. Tipično se koristi u situacijama gdje gravitacijski pad nije dovoljan, primjerice za prebacivanje otpadnih voda preko brda ili visokih prepreka.
- **Paralelni spoj:** U paralelnoj vezi, crpke rade istovremeno, dijeleći opterećenje i omogućujući veću količinu vode da prolazi kroz sustav, ali bez povećanja tlaka. Svaka crpka u sustavu radi na istom niskom tlaku, ali povećava ukupan protok, što je korisno u situacijama gdje je potrebno prenositi velike količine vode, ali na manjoj visinskoj razlici. U kanalizaciji je rad obih crpki postupa, to jest najprije radi samo jedna crpka do određene visine punjenja crpnog bazena, a zatim se postupno uključuju druge. Ukoliko jedna crpka prestane raditi, druga može nastaviti s pumpanjem, smanjujući rizik od prekida rada sustava. Ovo je posebno korisno u velikim sustavima otpadnih voda, gdje kontinuirani rad i kapacitet crpne stanice imaju ključnu ulogu.

Paralelna konfiguracija često se koristi u situacijama gdje je potrebna velika količina vode, poput sustava za oborinsku odvodnju, dok serijska veza dolazi do izražaja u kanalizacijama s velikim visinskim razlikama ili dugim transportnim cjevovodima, gdje je potrebno postići veći tlak. [2]

2.5 Crpne stanice

Crpne stanice su jednostavni podzemni armirano-betonski objekti kružnog oblika dimenzija Ø2000, a dubine prema specifikaciji. Karakteristike crpnih stanica su prikazane u Tablici 1.

Čitav objekt ukopan je u teren i zatvoren inox AISI 304 poklopcem dimenzija 1400 x 800 mm. Kompletna crpna stanica zatrpava se slojem zamjenskog materijala i humusa u sloju 30 cm. Objekt mora biti vododrživ (obavezni dodaci za vodonepropusnost), a svi spojevi cijevi moraju biti vodotijesni te dodatno osigurani trajno elastičnim kitom.

Napajanje crpnih stanica električnom energijom prikazano je u Elektrotehničkom projektu, a kao rezervni izvor napajanja predviđen je mobilni dizel agregat kojieg nabavlja korisnik.

Tablica 1. Karakteristike crpnih stanica u sklopu promatranog podsustava Brnaze

Naziv crpne stanice	Dubina crpne stanice (m)	Promjer crpne stanice Ø mm	Kota dolaznog cjevovoda m n.m.	Kota tlačnog cjevovoda m n.m.
Brnaze 1	3,77	2000	297,46	298,75
Brnaze 2	4,85	2000	316,25	318,45
Mandaci	3,24	2000	308,60	309,40
Jagnjići	3,77	2000	324,57	325,77

Tablica 1. Karakteristike crpnih stanica u sklopu promatranog podsustava Brnaze [1]

Crpna stanica planiraju se opremiti s dvije crpke (uronjenog tipa), automatikom za samostalan rad te elektroormarićem. Predviđa se ugradnja jednostupanjske centrifugalna crpka za podizanje i pumpanje otpadnih voda, dizajnirane za rad s prekidom i stalan rad u potopljenim uvjetima. Radno kolo mora omogućavati prolaz dugih vlakana i krutih tvari do 80 mm i biti pogodno za otpadne vode sa udjelom suhih tvari do 5 %. Priključak na cjevovod putem DIN prirubnica. Ugrađuju se dvije crpke, jedna radna i druga rezervna.

Dotjecanjem otpadnih voda dolazi do punjenja dijela crpnog bazena koji odgovara volumenu potrebnom za siguran rad crpke 1 i kad se dosegne odgovarajuća razina uključuje se crpka 1 koja radi sve do trenutka potpunog pražnjenja volumena.

U crpnom bazenu instalirane su obje crpke - crpka 1 i crpka 2 (pričuvna - u pravilu radi samo jedna crpka pa se zbog njihovog ravnomjernog trošenja predviđa automatsko prebacivanje režima rada crpke 1 na pričuvnu crpku 2 i obratno. (nakon isključivanja radne). Crpka 2 također se uključuje i u slučaju dotoka većeg od predviđenog maksimalnog dnevnog, odnosno ako se prijede radni volumen. U slučaju razine vode od oko 10 cm niže od uljeva kolektora, pali se alarm.

U slučaju kvara na crpki 1 zamjenjuje je pričuvna crpka 2 i obratno. Osim iz distributivne mreže predviđa se napajanje i iz pričuvnog izvora – mobilnog diesel - električnog agregata snage 10 kVA predviđenog za pogon samo jedne crpke.

Objekt crpne stanice je izrađen armiranog betona vodonepropusnih svojstava i u potpunosti je smješten ispod razine terena, a svi otvori za montažu i za reviziju pokriveni su odgovarajućim

poklopcima tako da razina buke neće prelaziti propisane granične vrijednosti. Zaključno, prema iskustvima sa svim izgrađenim crpnim stanicama ovakvog tipa (cjelokupni gabarit objekta je u potpunosti ukopan) , proizlazi da rad crpki ne utječe na povećanje razine buke u okolišu. [1]

3. HIDRAULIČKI PRORAČUN

3.1 Osnove hidrauličkog proračuna

Hidraulički proračun i dimenzioniranje glavnih kolektora odvodnje i crpnih stanica predmetnog područja grada Sinja provedeno je na osnovi svih važećih relevantnih podloga navedenih u projektnom zadatku. Projektnim zadatkom predviđen je razdjelni sustav odvodnje. [1]

3.2 Otpadne vode stanovništva

Na osnovi predviđene vodoopskrbne norme potrošnje procijenjene su količine koje, u ovisnosti o broju stanovnika, dopijevaju u sustav odvodnje. U sustav odvodnje dopijeva 120 l/stan/dan što je preporučena vrijednost za naselja veličine 10.000-50.000 stanovnika.

Određivanje vršnih protoka temeljeno je na principu smanjivanja koeficijenta maksimalne satne varijacije u slijedu povećanja broja priključenih korisnika. Konkretno, vrijednost koeficijenta maksimalne satne varijacije potrošnje kojim se utvrđuje vršni protok u odvodnom sustavu, razmatrana je na temelju odnosa:

$$K_s = 12,5 \times N^{-0,2}$$

gdje je: N = broj potrošača/stanovnika na uzvodnom području od razmatranog presjeka;

Broj potrošača/stanovnika koji pripada pojedinim dionicama odabran je na temelju podataka o postojećem stanju koji su pribavljeni terenskim rekognosciranjem, uz procjenu daljnjeg planiranja izgradnje na tome prostoru. Maksimalna količina otpadnih voda:

$$Q_h = k_s \times N \text{ (l/s) (maksimalni satni protok)}$$

Koeficijenti satne i dnevne neravnomjernosti odabrani su u iznosima $k_h=1,6$ i $k_d=1,4$, što su također preporučene vrijednosti za naselja veličine 10.000-50.000 stanovnika [1]. Na promatranom području, u skladu s provedenom prognozom kretanja broja stanovnika, predviđa se da će na kraju planskog razdoblja (PP 30godina) ukupan broj stanovnika iznositi $N=3300$ stanovnika. [1]

3.3 Tuđe vode

Za prihvaćanje neočekivanog i nedopuštenog dotoka “tuđih voda” potrebno je iz sigurnosnih razloga predvidjeti određeni dio kanalskog presjeka.

Tuđe vode mogu u kanalizacijski sustav ući na nekoliko načina:

- zbog loše izvedenih spojeva cijevi (utjecanje procjednih voda)
- zbog nedopuštenog spajanja drenažnih i oborinskih voda
- zbog utjecanja površinskih oborinskih voda preko poklopaca (loša izvedba).

Kod dimenzioniranja kanala u razdjelnom sustavu odvodnje potrebno je u pravilu računati sa dotokom “tuđih voda” koji je jednak zbroju dotoka otpadnih voda od stanovništva i otpadnih voda od industrije.

U ovisnosti o karakteristikama promatranog slivnog područja taj omjer može biti i veći ili se može računati po nekim drugim osnovama (npr. na osnovi karakteristika slivnih površina i vezano uz njih specifičnog dotoka tuđih voda).

Proračun količina “tuđih voda” proveden je po slijedećem izrazu:

$$Q_f = 0.5 \cdot (Q_h + Q_i), \text{ gdje je } m \leq 1$$

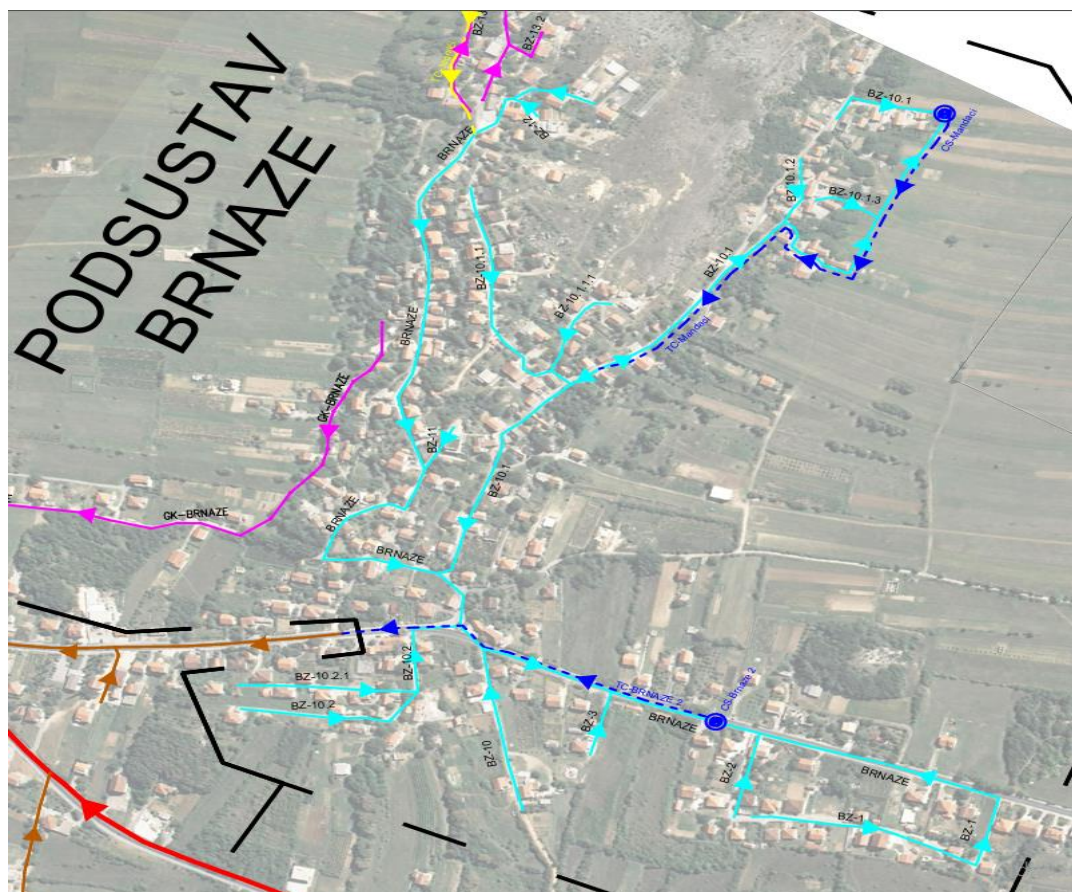
U našem slučaju:

$$Q_f = m \cdot (Q_h + Q_i)$$

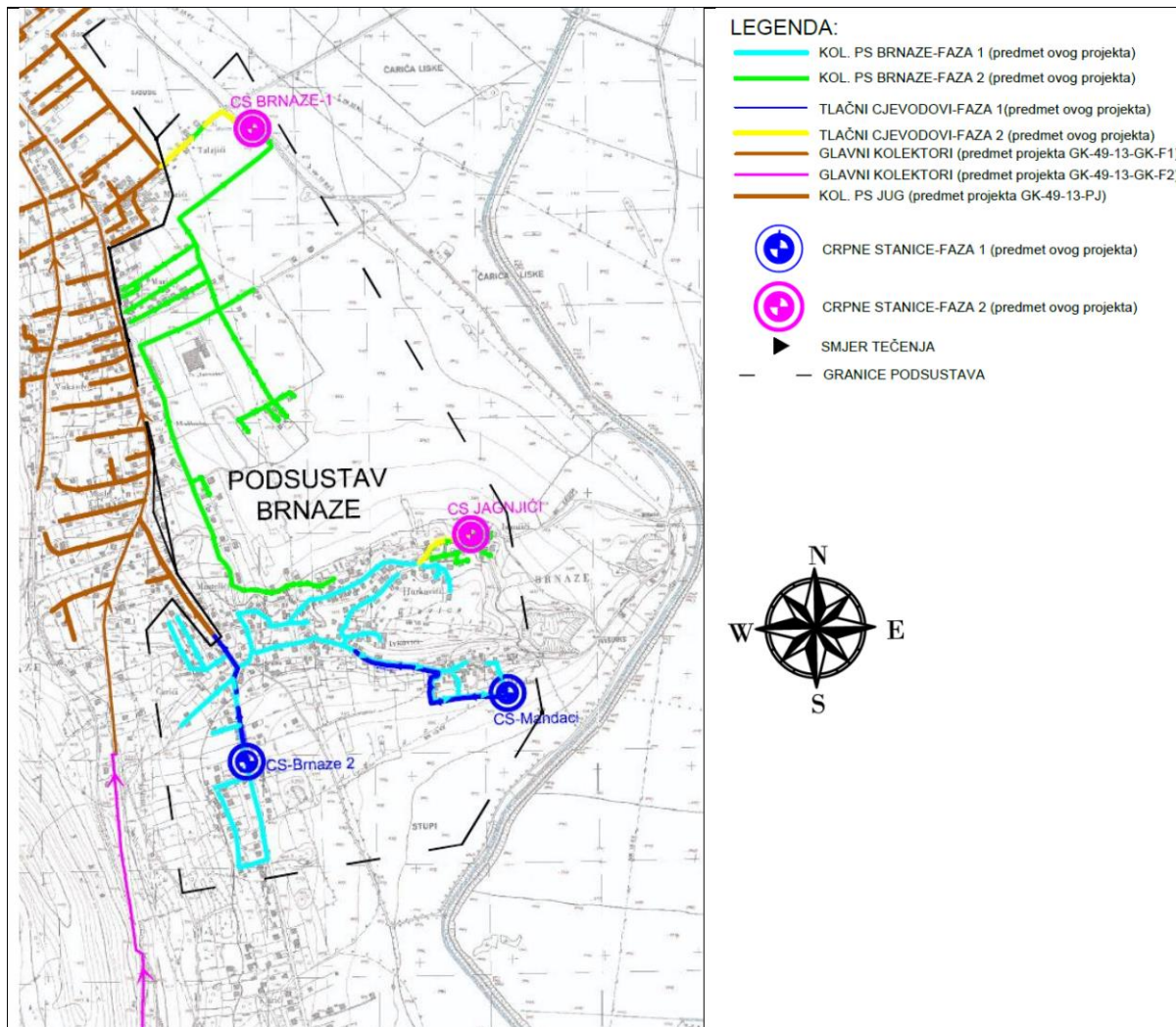
Odnosno, kao količina “tuđih” voda uzima se 50% količina otpadnih voda od stanovništva i industrije. [1]

3.4 Ulazni podaci

Ukupna dužina kanalizacijske mreže u Podsustavu Brnaze iznosi 9.614,37m (predmet ovog projekta) 8.255,58 m kolektora i 1.358,79 m tlačnih cjevovoda. Izgradnja Podsustava Brnaze podijeljena je u dvije faze. Prvom fazom obuhvaćena je kanalizacijska mreža od 4030,05 m kolektora i 855,18 m tlačnog cjevovoda, te dvije crpne stanice. Drugu fazu čini mreža od 4225,53 m kolektora i 503,61 m tlačnih cjevovoda, te također dvije crpne stanice. [1]



Slika 2: Situacija Podstava Brnaze [1]



Slika 3: Situacija Podsustava Brnaze [1]

Faza 1	
Podatak	Vrijednost
Specifična potrošnja vode po stanovniku [l/dan]	120
Stvarni broj stanovnika	2600
Godišnji prirast stanovništva [%]	0
Projektni period [god]	30
Dnevni koeficijent varijacije (1.2 - 1.7)	1,4
Satni koeficijent varijacije (1.2 - 1.7)	1,6
Predviđeni broj stanovnika	2600
Srednja dnevna potrošnja [l/dan]	312000
Srednja satna potrošnja [l/sat]	13000
Max. dnevna potrošnja [l/dan]	436800
Max. satna potrošnja [l/sat]	29120
Koeficijent neravnomjernosti (Fedorov)	1
Ukupna dužina dionica [m]	4038
Ukupna virtuelna dužina dionica [m]	4038
Specifični protok [l/s/m']	0,002

Naziv kolektora	Min. nagib	Max. nagib	Max. postotak ispunjenosti	Max. brzina	Ukupni dotok
	[%]	[%]	[%]	[m/s]	[m/s]
BZ-1	0,4	5,5	8,05	0,86	0,79
Brnaze	0,4	8,0	38,31	1,61	13,08
BZ-10.1	0,4	8,0	16,82	1,57	4,4

R. br	Crpna stanica	H _{geod} [m]	Pripadni tlačni cjevovod	Dubina uljeva	Dubina izlaznog tlačnog cjevovoda	Duljina TC [m]	Kapacitet CS [l/s]	DN TC
2	CS-Brnaze 2	16,5	TC-Brnaze 2	3,10	0,80	341,33	12,10	125
3	CS-Mandaci	33,42	TC-Mandaci	1,57	0,77	513,85	6,66	110

Tablica 2: Prikazuje ulazne podatke zadane projektom Podsustava Brnaze [1]

3.5 Crpna stanica-Brnaze 2

Osnova svakog hidrauličkog proračuna je Bernoulijeva jednadžba koja predstavlja osnovni zakon strujanja idealnog fluida, a tvrdi kako je zbroj potencijalne energije, energije tlaka i kinetičke energije jednak na jednoj dionici cijevi kao i na drugoj. Ovo se odnosi na idealnu tekućinu koja ne pruža otpre promjeni oblika uslijed djelovanja sile.

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} + \Delta H_{tr}$$

Gdje su:

- z_1, z_2 – visine položaja točaka 1 i 2 s obzirom na referentnu ravninu, [m],
- p_1, p_2 – tlakovi u istim točkama, [Nm^{-2}],
- g – ubrzanje polja sile teže, [ms^{-2}],
- ρ – gustoća mase vode, [kg m^{-3}],
- α – Coriolisov koeficijent, [1], ($\alpha = 1.0$),
- v – (srednja profilna) brzina vode u cijevi, [ms^{-1}],
- ΔH_{tr} – hidraulički (tlačni) gubici zbog otpora trenja (linijski gubici) na dionici između promatranih točaka, [m].

Kako je već prethodno rečeno, Bernoulijeva jednažba ne uzima u obzir linijske i lokalne gubitke energije uslijed promjene cijevi. Stoga, hidrauličke gubitke definirali smo uz pomoć Darcy-Weisbachove jednažbe:

$$\Delta H = \Delta H_{tr} = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

$$\Delta H = \Delta H_{tr} = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

gdje su:

- λ – koeficijent otpora tečenju zbog trenja, [1],
- L – duljina dionice, [m].

Vrijednost koeficijenta λ je u turbulentno prijelaznom režimu definirana Colebrook – Whiteovom jednažbom:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right)$$

gdje su:

- ε – apsolutna hrapavost, [mm],
- Re – Reynoldsov broj, [1], definiran izrazom:

$$\text{Re} = \frac{vD}{\nu}$$

3.6 Proračun crpke

Pošto je projektom određeno kako crpka treba raditi 12 sati u danu, najprije je potrebno izračunati protok kojeg je potrebno prepumpati za tih 12 sati. Iz ulaznih podataka o potrošnji vode naselja može se odrediti maksimalnu satnu potrošnju koja iznosi 29.12 m³/h, projektom je određen promjer cijevi sustava pa se s tim parametrima ulazi u proračun kako bi se odredila brzinu tečenja unutar sustava.

$$A = \frac{D_1^2 \pi}{4} = \frac{0.25 \times \pi}{4} = 0.049 \text{ m}^2$$

$$v = Q / A = 0.00809 / 0.049 = 0.17 \text{ m/s}$$

$$Q = 29.12 \times 2 = 58.24 \text{ m}^3/\text{h}$$

Pošto je radni opseg crpke 12 sati, ona mora imati duplo veću protočnu moć u odnosu na dolazni protok.

Geodetski napor: 16.5 m.

Ulazni podaci potrebni za dimenzioniranje crpke i zapremine crpne stanice su sljedeći:

$$Q = 58.24 \text{ m}^3/\text{h} = 0.0162 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = 0.150 \text{ m}$$

$$\nu = 1.14 \times 10^{-6}$$

$$L = 200 \text{ m}$$

Uslijed geodetskih izmjera terena, uočeno je da se jedna dionica kanalizacijskog sustava ne može riješiti gravitacijskim padom te će biti potrebna izrada crpne stanice sa odgovarajućim crpnim sustavom. Promjer cijevi određen je hidrauličkim proračunom dijela kanalizacijskog sustava, međutim iz prethodno izračunate brzine tečenja za takav promjer, u slučaju crpke koja je dio tlačnog sustava, ulazimo u proračun s manjim promjerom kako bi zadovoljili minimalnu brzinu tečenja koja iznosi 0.7 m/s. Kinematička viskoznost je pretpostavljena za temperaturu od 20 °C.

Potrebno je izračunati linijske gubitke energije, kako bi se mogla odrediti točna visina koju pumpa treba savladati. Najprije se odredi brzina tečenja, koja mora zadovoljiti uvjet minimalne brzine kako bi se spriječilo taloženje krutih tvari. Pošto je zadan protok kojeg kanalizacijski sustav mora podnijeti i isto tako pretpostavljeni promjer cijevi sustava, može se odrediti brzinu tečenja preko formule koja povezuje sva tri parametra (protok, brzinu i promjer cijevi)

$$A = \frac{D_1^2 \pi}{4} = \frac{0.15^2 \times \pi}{4} = 0.018 \text{ m}^2$$

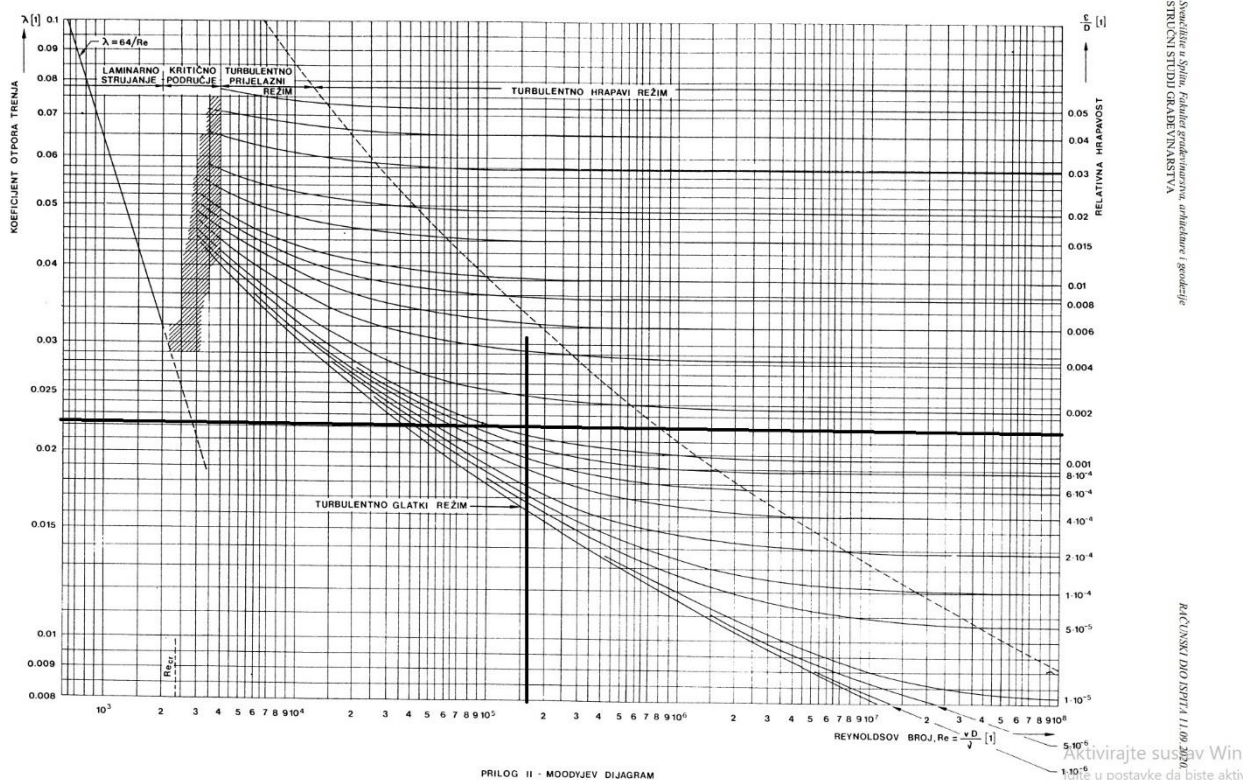
$$v = Q / A = 0.0162 / 0.018 = 0.90 \text{ m/s}$$

Dobivena brzina viša je od minimalne te su prikupljeni svi potrebne parametre kako bi se iz Moody- ovog dijagrama odredili koeficijent otpora tečenju zbog trenja. Najprije se odredi odnos apsolutne hrapavosti koja je specifična za cijevi sustava i samog promjera cijevi te nakon toga odredi Reynoldsov broj. S ta dva parametra iz Moody-evog dijagrama očita se vrijednost lambde u ovisnosti u kojem režimu tečenja se nalazimo.

$$\varepsilon = 0.25 \text{ (mm)} \rightarrow \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.25}{150} = 0.0017$$

$$Re = \frac{V \times D}{\nu} = \frac{0.90 \times 0.15}{1.14 \times 10^{-6}} = 1.2 \times 10^5$$

λ (iz dijagrama) = 0,023



Slika 4: Prikaz očitanoeg koeficijenta lambde, uz pomoć Moody-ovog dijagrama

U konačnici mogu se odrediti gubici energije koji utječu na povećanje potrebne visine koju crpka treba prebaciti.

$$\Delta H = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0.023 \times \frac{200}{0.15} \times \frac{0.9^2}{2 \times 9.81} = 1.27 \text{ m}$$

$$H_{\text{ukupno}} = H_{\text{statičko}} + \Delta H + \frac{v^2}{2g} = 16.5 + 1.27 + \frac{0.90^2}{2 \times 9.81} = 17.81 \text{ m}$$

Na osnovi čega se može odrediti potrebnu snagu crpke, gdje je η_c koeficijent korisnog djelovanja crpke:

$$N_c = \frac{\rho g Q H_{\text{ukupno}}}{\eta_c} = \frac{9810 \times 0.0162 \times 17,81}{0.75} = 3773.87 \text{ W} = 3.77 \text{ kW}$$

3.7 Proračun zapremine crpne stanice

V – volumen crpne stanice smo odredili preko ukupne dnevne količine otpadne vode koja dopijeva u samu crpnu stanicu te količine koja se prepumpava unutar zadanih 12 sati rada same pumpe.

Sati od-do	Količina otpadnih voda (%)	Ukupna količina	Protok crpke (crpka radi 12h dnevno)	Akumulirana količina				
	%	m3/h	m3/h	m3				
0-1	1	6,9888		34,94				
1-2	1	6,99		76,88				
2-3	1	6,99		125,80				
3-4	2	13,98		174,72	V=	272,56	m3	
4-5	3	20,97		216,65	Vuk =	272,56 * 1,2=350 m3	-->	ODABRANO
5-6	6	41,93		272,56				
6-7	6	41,93	58,24	256,26				
7-8	6	41,93	58,24	239,95				
8-9	3	20,97	58,24	202,68				
9-10	3	20,97	58,24	165,40				
10-11	4	27,96	58,24	135,12				
11-12	5	34,94	58,24	111,82				
12-13	6	41,93	58,24	95,51				
13-14	7	48,92	58,24	86,20				
14-15	7	48,92	58,24	76,88				
15-16	6	41,93	58,24	60,57				
16-17	4	27,96	58,24	30,28				
17-18	4	27,96	58,24	0,00				
18-19	4	27,96		27,96				
19-20	5	34,94		62,90				
20-21	6	41,93		104,83				
21-22	5	34,94		139,78				
22-23	3	20,97		160,74				
23-24	2	13,98		174,72				
UKUPNO	100	698,88	698,88	0,00				

Tablica 3: Prikazuje maksimalnu količinu otpadne vode koja se akumulira sa radnim vremenom crpke od 12 sati

Iz priložene tablice jasno se mogu uočiti oscilacije o količini otpadnih voda koje dopijevaju u samu crpnu stanicu, ovisno o dobu dana. Sukladno tomu, radno vrijeme crpke prilagođeno je najvećoj koncentraciji otpadne vode te je tako određena potrebna zapreminu crpne stanice, uzimajući u obzir i koeficijent sigurnosti.

$$V = 265.58 \times 1.2 = 318.70 \text{ m}^3$$

4. REZULTATI

Crpka

Analizom svih parametara koji su ključni u odabiru crpke, dobili smo sljedeće rezultate. Uzeti su u obzir protok i visina podizanja kao glavni kriteriji za odabir potrebne crpke. Također, posebna pažnja posvećena je energetske učinkovitosti crpke, na način da smo izračunali potrebnu snagu. Pored toga, važno je da crpka podržava rad s otpadnim vodama koje mogu sadržavati krute tvari, kako bi se spriječila začepljenja i osigurala pouzdanost sustava. $H_{\text{ukupno}}=20.20 \text{ m}$

$N_c=3.77 \text{ kW}$

Odabrani model crpke

Wilo-EMU FA 08.52W:

- Protok: do $60 \text{ m}^3/\text{h}$ (ovisno o radnim uvjetima i konfiguraciji).
- Snaga motora: 4 kW .
- Maksimalna visina podizanja: ovisno o modelu, do 25 metara.
- Vrsta pumpe: Potopna kanalizacijska crpka za otpadne vode.
- Otporne na čestice: Pumpa može proći krute tvari, s maksimalnim promjerom čestica do 45 mm .
- Materijal izrade: Pumpa je izrađena od nehrđajućeg čelika i otporna je na koroziju, što je ključno za dugovječnost u kanalizacijskim sustavima.
- Radna temperatura: Tipično do 40°C za otpadne vode.
- Način hlađenja: Samohlađenje putem tekućine u kojoj radi (prikladno za kontinuirani rad u teškim uvjetima).
- Primjena: Prikladna za uporabu u komunalnim, industrijskim i stambenim sustavima za otpadne vode, uključujući kanalizacijske sustave i crpne stanice za otpadne vode s visokim udjelom krutih tvari.

Ovaj model je robusna, pouzdana opcija za prepumpavanje otpadnih voda s relativno niskom snagom motora u odnosu na potreban protok.



Slika 5: Prikaz odabranog modela crpke [4]

Crpna stanica

Nakon što smo odredili crpku, potrebno je bilo izračunati zapreminu crpne stanice pošto je predviđeno da crpka ne radi 24 sata. Detalji proračuna su priloženi u poglavlju 3.7. Proračun crpne stanice.

$$V = 265.58 \times 1.2 = 318.70 \text{ m}^3$$

Za građevne jame crpnih stanica predviđene su dimenzije 4,5 x 4,5 m zbog relativno velikih dubina i dimenzija crpnih okana

Iskop će se izvoditi strojno (95%) a ostatak ručno. Građevne jame bit će razuprte velikoplošnom oplatom ili čeličnim talpama, čija nosivost je izračunata u skladu sa podacima o tlu dobivenim iz geotehničkog elaborata.

Iskop i spuštanje oplata će se izvoditi postupno i ravnomjerno, na način da se nakon oko 50 cm iskopanog sloja utisne klizna oplata do dna iskopa. Na predmetnom području, prema geotehničkom elaboratu, nema podzemne vode. Stoga nije potrebno dodatno oblaganje betonom niti izvedba temeljnih ploča koje bi služile kao utezi za savladavanje uzgona.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu izvršen je hidraulički proračun crpke i crpne stanice Podsustava Brnaze za potrebe kanalizacijskog sustava, vodeći se pravilima i normama struke. Proračunom je omogućeno da se nesmetano odvija odvodnja otpadnih voda unatoč zahtjevnim geodetskim karakteristikama terena, a vodeći računa i o ekonomskoj prihvatljivosti rješenja. Kako bi sustav funkcionirao optimalno, pažnja je posvećena odabiru odgovarajuće crpke koja zadovoljava potrebni protok koji u ovom slučaju iznosi $58.24 \text{ m}^3/\text{h}$ i visini dizanja koja iznosi 17.81 m . Sukladno tomu odabrana je crpka Wilo-EMU FA 08.52W, koja ima protočnu moć od $60 \text{ m}^3/\text{h}$ i visinu dizanja od 25 m . Isto tako kako ne bi došlo do stvarnja taloga unutar tlačnog cjevovoda, smanjen je promjer cijevi u odnosu na gravitacijski dio sustava te je odabran $\text{Ø}150$, kako bi se ostvarila optimalna brzina tečenja pri kojoj neće doći do pretjeranog taloženja.

Isto tako, pošto je zbog ekonomskih razloga projektom određeno da crpka radi 12 sati u danu, potrebno je bilo odrediti zapreminu crpne stanice u kojoj će se akumulirati otpadna voda za vrijeme kada je crpka isključena. U obzir smo uzeli doba dana kada je potrošnja veća, odnosno manja i prema tome odredili najoptimalnije vrijeme rada crpke, a potrebna zapremina crpne stanice prema tom modelu iznosi 272.56 m^3 , pošto je predviđeno moguće odstupanje od postavljenog modela uzeli smo i koeficijent sigurnosti u iznosu od 1.2 te tako odabrana zapremina iznosi 350 m^3 .

6. POPIS SLIKA I TABLICA

Slika 1: Q-H karakteristika , krivulja otpora i radna točka [1]

Slika 2: Situacija Podsustava Brnaze [1]

Slika 3: Situacija Podsustava Brnaze [1]

Slika 4: Prikaz očitanoeg koeficijenta lambde, uz pomoć Moody-ovog dijagrama

Slika 5: Prikaz odabranog modela crpke [4]

Tablica 1. Karakteristike crpnih stanica u sklopu promatranog podsustava Brnaze [1]

Tablica 2: Prikazuje ulazne podatke zadane projektom Podsustava Brnaze [1]

Tablica 3: Prikazuje maksimalnu količinu otpadne vode koja se akumulira sa radnim vremenom crpke od 12 sati

7. LITERATURA

[1] Projekt kanalizacije Podsustava Brnaze, aglomeracije Sinj, Infraterra d.o.o

[2] Margeta J., Kanalizacija naselja, Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, 2010.

[3] Bojanić Davor, Osnove vodogradnje predavanja, Sveučilište u splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split 2011.

[4] <https://wilo.com/ke/en/Catalogue/en/products-expertise/wilo-emu-fa>