



Investitor: **"VODOVOD DUBROVNIK" d.o.o., DUBROVNIK**

Građevina: **SUSTAV ODVODNJE I PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA
NASELJA SUĐURAĐ NA OTOKU ŠIPANU**

Vrsta projekta: **Glavni projekt – strojarski projekt**

B.2 PRORAČUNI

- B.2.1. Hidraulički proračun visine dizanja crpke i potrebnog radnog volumena crpnog bazena
- B.2.2. Proračun potrebne debljine stjenke iz nehrđajućeg čelika

Zagreb, svibanj 2016.

B.2.1. Hidraulički proračun visine dizanja crpke i potrebnog radnog volumena crpnog bazena

Crpna stanica ima ugrađene 2 crpke, svaka kapaciteta ~12,9 l/s. Jedna je crpka radna, a druga pričuvena. Sustav crpljenja treba biti automatiziran.

Ulazni parametri za dimenzioniranje crpne stanice:

Ostvareni kapacitet crpljenja:

$$Q \sim 12,9 \text{ l/s}$$

Hidrauličkim proračunom sustava odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda naselja Suđurađ na otoku Šipan, potreban kapacitet CS je $Q = \sim 5,5 \text{ l/s}$.

Hidrauličkim proračunom potrebnog kapaciteta za ispiranje podmorskog ispusta (vidi Mapa 3 – Podmorski ispust – građevinski projekt), potreban kapacitet CS je $Q = \sim 12,7 \text{ l/s}$.

Srednja geodetska visina dizanja:
(srednja razina vode radnog volumena u crpnom bazenu)

$$H_{\text{geod.sr.}} = 1,7 \text{ m}$$

Tlačni cjevovod do podmorskog ispusta:

$$\text{PEHD dv140/10 bara} \rightarrow du = 123,4 \text{ mm}$$

$$\text{Dužina tlačnog cjevovoda najvišeg zračnog ventila na vrhu brda: } L = 500 \text{ m}$$

Podmorski ispust:

$$\text{PEHD dv140/10 bara} \rightarrow du = 123,4 \text{ mm}$$

$$\text{Dužina tlačnog cjevovoda kopnene dionice podmorskog ispusta: } L = 150 \text{ m}$$

$$\text{Dužina tlačnog cjevovoda morske dionice podmorskog ispusta: } L = 1750 \text{ m}$$

Napomena:

Postoje dva kriterija za odabir volumena crpnog bazena. Jedan kriterij odabira volumena crpnog bazena je maksimalni broj uključivanja crpke, dok je drugi kriterij odabira volumena crpnog bazena potreba propiranja tlačnog cjevovoda podmorskog ispusta. Usvaja se kriterij sa većim izračunatim minimalnim volumenom.

**Minimalni potrebni volumen crpnog bazena (u odnosu na maksimalni broj uključivanja crpke):**

$$V_{\min} = \frac{0,9 \cdot Q}{n}$$

Q – kapacitet crpke

n – broj uključivanja crpke u jednom satu

Realno, crpke imaju dozvoljen znatno viši broj uključivanja u satu (oko 30), ali zbog sigurnosti kod većih dotoka u CS npr. dugotrajni kišni period, odabran je dozvoljeni broj uključivanja $n = 10$.

- minimalni potrebni volumen crpnog bazena iznosi:

$$V_{\min} = \frac{0,9 \cdot Q}{n} = \frac{0,9 \cdot 12,9}{10} = 1,16 \text{ m}^3$$

Minimalni potrebni volumen crpnog bazena (u odnosu na propiranje cjevovoda podmorskog ispusta):

$$V_{\min} = \frac{d^2 \Pi}{4} \cdot l \rightarrow \text{za detaljan hidraulički proračun vidi}$$

Mapu 3 "Podmorski ispust – građevinski projekt"

d – unutrašnji promjer PEHD cjevovoda podmorskog ispusta

l – minimalna dužina dionice podmorskog ispusta koju je potrebno propirati u svakom startu crpke

- minimalni potrebni volumen crpnog bazena iznosi:

$$V_{\min} = \frac{d^2 \Pi}{4} \cdot l = \frac{0,1234^2 \cdot \Pi}{4} \cdot 250 = \sim 3 \text{ m}^3$$

Kao što je već prethodno navedeno, uzima se u obzir veći minimalni volumen, znači volumen crpnog bazena prema kriteriju minimalnog volumena tlačnog cjevovoda podmorskog ispusta.

Za računanje ukupnog volumena crpnog bazena, uzima se u obzir zbroj volumena dva (2) crpna bazena i volumena ulaznog okna.

Iz potrebe za smještajem crpki i vertikalnog finog sita, proizlaze tlocrtne površine crpnih bazena i ulaznog okna.

1) Radni volumen jednog crpnog bazena:

$$V_{\text{radno}} = A \times h_{\text{radno}}$$

h_{radno} – radna visina vode u crpnom bazenu

A – površina crpnog bazena

- površina crpnog bazena pravokutnog presjeka:

$$A = a \times b \text{ [m}^2\text{]}$$

a – dužina crpnog bazena [m]

b – širina crpnog bazena [m]

$$a = 1,7 \text{ m}$$

$$b = 1,5 \text{ m}$$

$$A = 2,55 \text{ m}^2$$

- radna visina crpnog bazena [m]

$$h_{\text{radno}} = \frac{V_{\text{min}}}{A} = \frac{1,16}{2,55} = 0,45 \text{ m} \rightarrow \text{odabrano } h_{\text{radno}} = 0,6 \text{ m}$$

Odabrana visina vode u crpnom bazenu iznosi $h_{\text{radno}} = 0,6 \text{ m}$ (radna visina vode između kota uključivanja i gašenja crpki u crpnom bazenu).

Radni volumen crpnog bazena crpne stanice je razlika između kote uključivanja i isključivanja crpki. Ukupni volumen crpnog bazena uvećan je za količinu vode koja se ne može iscrpiti iz bazena crpne stanice. Minimalna visina vode u crpnom bazenu iznosi 1 m i na toj koti se moraju ugasiti crpke. Kako ne bi došlo do oštećenja crpki zaštita crpki od rada na suho je na razini 0,7 m iznad dna crpnog bazena (vidi grafičke priloge).

- radni volumen jednog crpnog bazena iznosi:

$$V_{\text{radno}} = A \times h_{\text{radno}} = 2,55 \text{ m}^2 \times 0,6 \text{ m} = 1,53 \text{ m}^3$$

- 2) Radni volumen drugog crpnog bazena je istog iznosa kao i prvi crpni bazen, te iznosi također $V_{\text{radno}} = 1,53 \text{ m}^3$

3) Radni volumen ulaznog okna:

$$V_{\text{radno}} = A \times h_{\text{radno}}$$

h_{radno} – radna visina vode u ulaznom oknu

A – površina ulaznog okna

- površina ulaznog okna pravokutnog presjeka:

$$A = a \times b \text{ [m}^2\text{]}$$

a – dužina ulaznog okna [m]

b – širina ulaznog okna [m]

$$a = 1,8 \text{ m}$$

$$b = 3,3 \text{ m}$$

$$A = 5,94 \text{ m}^2$$

- radni volumen ulaznog okna iznosi:

$$V_{\text{radno}} = A \times h_{\text{radno}} = 5,94 \text{ m}^2 \times 0,6 \text{ m} = 3,56 \text{ m}^3$$

Ukupni radni volumen crpnog bazena iznosi:

$$V_{\text{uk}} = V_{\text{crpnog bazena1}} + V_{\text{crpnog bazena2}} + V_{\text{ulaznog okna}}$$

$$V_{\text{uk}} = 1,53 + 1,53 + 3,56$$

$$V_{\text{uk}} = 6,62 \text{ m}^3$$

Ukupni radni volumen crpnog bazena veći je od minimalno potrebnog, a to je zbog što boljeg ispiranja tlačnog cjevovoda i smanjivanja stvaranja neugodnih mirisa u tlačnom cjevovodu.

$$V_{\text{min}} = \sim 3 \text{ m}^3 < V_{\text{uk}} = 6,62 \text{ m}^3$$

Odabir crpki vršen je računalnim programom jednog proizvođača crpke prema ulaznim parametrima:

- kota terena crpne stanice: +2,45 m.n.m.
- niveleta dovodnog gravitacijskog cjevovoda u crpnu stanicu: -1,03 m.n.m.
- kota osi izlaza tlačnog cjevovoda iz crpne stanice: +0,50 m.n.m.
- maksimalni dotok u crpnu stanicu: ~5,5 l/s
- količina vode potrebna za ispiranje podmorskog ispusta: ~12,7 l/s
- usvojeni kapacitet za odabir crpke: ~12,9 l/s
- stop crpke: -2,00 m.n.m.
- start crpke: -1,40 m.n.m.
- srednja geodetska visina dizanja: 1,7 m
- maksimalna geodetska visina dizanja: 2 m
- broj uključivanja crpke/sat: 10 n

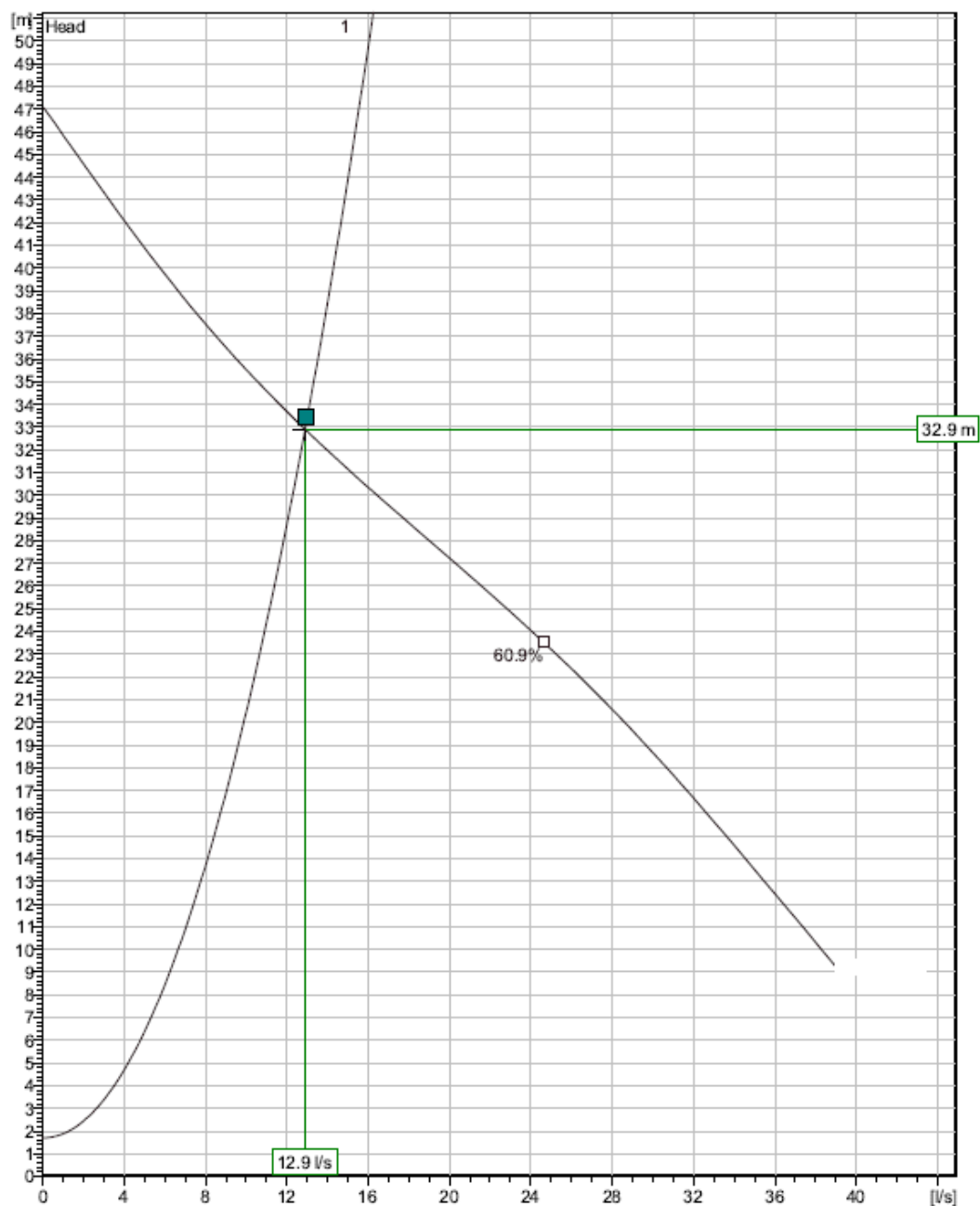


- minimalni radni volumen crpnog bazena: 1,16 m³
(u odnosu na maksimalni broj uključivanja crpke)
- minimalni radni volumen crpnog bazena: ~3 m³
(u odnosu na propiranje podmorskog ispusta)
- radna visina vode u crpnom bazenu: 0,6 m
- ukupni radni volumen crpnog bazena: 6,62 m³
- materijal tlačnog cjevovoda: PEHD
- vanjski promjer tlačnog cjevovoda: Ø140 mm
- unutarnji promjer tlačnog cjevovoda: Ø123,4 mm
- dužina tlačnog cjevovoda najvišeg zračnog ventila na brhu brda: 500 m
- dužina tlačnog cjevovoda kopnene dionice podmorskog ispusta: 150 m
- dužina tlačnog cjevovoda morske dionice podmorskog ispusta: 1750 m
- hrapavost cjevovoda: 0,3
- volumen tlačnog cjevovoda najvišeg zračnog ventila na vrhu brda: ~5,98 m³
- volumen tlačnog cjevovoda kopnene dionice podmorskog ispusta: ~1,79 m³
- volumen tlačnog cjevovoda morske dionice podmorskog ispusta: ~20,93 m³

Prema zadanim ulaznim parametrima računalni program je proračunao krivulju sustava tj. krivulju svih gubitaka u tlačnom cjevovodu (linijske i lokalne gubitke) u koju je uključena i geodetska visina dizanja.

U nastavku su prikazani rezultati proračuna otpora u tlačnom cjevovodu te Q - H krivulja crpke koja za zadane uvjete dizanja daje traženi protok od ~ 12,9 l/s.

UPOV "Suđurađ"



Slika 1

Q – H krivulja crpke (1+1) sa ucrtanom karakterističnom krivuljom tlačnog cjevovoda uz $H_{\text{geod.sr.}} = 1,7 \text{ m}$

Osnovne karakteristike odabrane crpke u traženoj radnoj točki:

- dobava: $Q = \sim 12,9 \text{ l/s}$
- visina dizanja: $H = \sim 32,3 \text{ mVS}$
- nazivna snaga el.motora: $N = 11 \text{ kW}$
- broj okretaja: $n = \text{do } 2950 \text{ o/min}$

B.2.2. Proračun potrebne debljine stjenke iz nehrđajućeg čelika

Dodatak c_1 dodaje se zbog tolerancija izrade čeličnih limova od kojih se proizvode cijevi.

Dodatak c_2 (korozija i trošenje) za cjevovode od nehrđajućeg čelika nema značaja pa je njegov iznos nula.

Ovdje navedene debljine stjenke su minimalne, a u slučaju problema kod nabave u dogovoru s investitorom moguće je odabrati i veće debljine stjenke.

Napomena:

Proračunate debljine stjenke cijevi odnose se samo na ravne dionice cjevovoda, a T-komadi i cijevni lukovi moraju se nabaviti standardni (izrađeni tvornički), odgovarajućeg profila, za nazivni tlak PN10 bara.

Cjevovod DN 125

Šavne cijevi iz nehrđajućeg čelika:

- dimenzija, mase i tolerancije prema EN 1127
- tehnički zahtjevi sukladno EN 10216-5.
materijal AISI 316Ti (X6 CrNiMo 17-12-2)

Vanjski promjer cijevi:	$D_s = 139,7 \text{ mm}$
Odabrana debljina stjenke cijevi:	$s_e = 4 \text{ mm}$
Unutarnji promjer cijevi:	$D_u = 131,7 \text{ mm}$
Maksimalni radni tlak:	3,23 bara
Ispitni tlak:	10 bara
Proračunski tlak:	10 bara
Koeficijent sigurnosti:	$S = 1,1$
Materijal cjevovoda:	AISI 316Ti
Čvrstoća materijala:	$\sigma = 205 \text{ N/mm}^2 \leftarrow \text{minimalno}$
Dodatak c_1 :	0,2 mm (tolerancija izrade)
Dodatak c_2 :	0 mm (inox)
Vanjski promjer najvećeg priključka:	$d_v = 114,3 \text{ mm}$
Promjer najvećeg priključka:	$d_u = 107,9 \text{ mm}$
Debljina stjenke priključka:	$s_s = 3,2 \text{ mm}$

$p = 10 \text{ bara}$; $S = 1,1$; $K = 205 \text{ N/mm}^2$; $c_1 = 0,2 \text{ mm}$; $c_2 = 0 \text{ mm}$; $v = 0,8 \leftarrow \text{koeficijent zavara}$



Uvjeti primjene :

$$\frac{D_s}{D_u} \leq 1,2 \quad \frac{D_s}{D_u} = 1,061 < 1,2 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Proračun debljine stijenke :

$$s = \frac{D_s \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2 = 0,67 \text{ mm}$$

$s_e > s \rightarrow$ zadovoljava, te možemo usvojiti odabranu debljinu stijenke cijevi

Proračun izreza :

$$0,002 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} \leq 0,1$$

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} = 0,0272 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Izbor ojačanja : ojačanje povećanjem debljine stijenke

Najveći priključak: DN 100

Koeficijent oslabljenja stijenke :

$$\frac{d_u}{\sqrt{(D_u + s_e - c_1 - c_2) \cdot (s_e - c_1 - c_2)}} = 4,76$$

$$\frac{s_s - c_1 - c_2}{s_A - c_1 - c_2} = 0$$

$v_A = 0,3 \leftarrow$ očitano iz dijagrama

Proračun debljine stijenke s izrezom :

$$s_A = \frac{D_s \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot v_A + p} + c_1 + c_2 = 1,44 \text{ mm}$$

$s_e > s_A \rightarrow$ zadovoljava, te možemo usvojiti odabranu debljinu stijenke cijevi

Odabrana je cijev dimenzija $\varnothing 139,7/4$ mm.

Ovaj promjer cijevi usvaja se za sve cjevovode DN 125 u stanici zbog pojednostavljivanja narudžbe cijevi.

Cjevovod DN 100

Šavne cijevi iz nehrđajućeg čelika:

- dimenzija, mase i tolerancije prema EN 1127
 - tehnički zahtjevi sukladno EN 10216-5.
- materijal AISI 316Ti (X6 CrNiMo 17-12-2)

Vanjski promjer cijevi:	$D_s = 114,3$ mm
Odabrana debljina stijenke cijevi:	$s_e = 3,2$ mm
Unutarnji promjer cijevi:	$D_u = 107,9$ mm
Maksimalni radni tlak:	3,23 bara
Ispitni tlak:	10 bara
Proračunski tlak:	10 bara
Koeficijent sigurnosti:	$S = 1,1$
Materijal cjevovoda:	AISI 316Ti
Čvrstoća materijala:	$\sigma = 205$ N/mm ² ← minimalno
Dodatak c_1 :	0,2 mm (tolerancija izrade)
Dodatak c_2 :	0 mm (inox)
Vanjski promjer najvećeg priključka:	$d_v = 0,00$ mm
Promjer najvećeg priključka:	$d_u = 0,00$ mm
Debljina stijenke priključka:	$s_s = 0,00$ mm

$p = 10$ bara ; $S = 1,1$; $K = 205$ N/mm² ; $c_1 = 0,2$ mm ; $c_2 = 0$ mm; $v = 0,8$ ← koeficijent zavora

Uvjeti primjene :

$$\frac{D_s}{D_u} \leq 1,2 \quad \frac{D_s}{D_u} = 1,059 < 1,2 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Proračun debljine stijenke :

$$s = \frac{D_s \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2 = 0,58 \text{ mm}$$

$s_e > s \rightarrow$ zadovoljava, te možemo usvojiti odabranu debljinu stijenke cijevi



Odabrana je cijev dimenzija $\varnothing 114,3/3,2$ mm.

Ovaj promjer cijevi usvaja se za sve cjevovode DN 100 u stanici zbog pojednostavljivanja narudžbe cijevi.

Zaključak proračuna debljine stijenki cjevovoda

Vidljivo je da su naprezanja u cjevovodima od djelovanja unutarnjeg tlaka bitno ispod dozvoljenih. Debljine stijenki odabrane su znatno deblje nego je prema proračunu potrebno, ali to je zbog što veće krutosti cjevovoda jer kanalizacijske crpke u svome radu proizvode znatnu razinu vibracija. Debljim stjenkama cjevovoda povećava se masa cjevovoda i tako se njegova vlastita frekvencija podiže na višu frekvenciju, a dodatno je veću masu teže pobuditi na titranje.

Temperaturna oscilacija medija je beznačajna i nema potrebe za provjerom dodatnih naprezanja uslijed temperature dilatacije.

Razmaci oslonaca cijevi su bitno manji od onih koji se dozvoljavaju kao maksimalni pa nema potrebe za provjerom naprezanja od savijanja.

Projektant:

Zoran Kovačev, dipl.ing.stroj.