

# ANALIZA MOGUĆIH TEHNIČKIH RJEŠENJA DUGAČKIH TLAČNIH CJEVOVODA ZA OTPADNE VODE (2. dio)

*Jedan od najznačajnijih uvjeta pristupanja Hrvatske Europskoj uniji će biti potpuno poštivanje strogih propisa vezanih uz zaštitu zemlje, vode i zraka pri čemu je odvodnja i pročišćavanje otpadnih voda ključan ekološki segment. U članku se razmatra problematika tehničkih rješenja dugačkih tlačnih cjevovoda za otpadne vode na primjeru planiranog cjevovoda u naselju Drenovci u županjskoj Posavini ukupne duljine oko 5400 m, a podijeljen je u dva dijela. U prvome po redu, koji je objavljen u broju časopisa EGE 2/2005 (str. 40. - 42.), tema su bile osnovne značajke tlačnih cjevovoda za otpadne vode i osnovni podaci o projektu u Drenovcima, a u ovome broju slijedi prikaz tehničko-tehnološke analize pojedinih varijanti rješenja.*

## TEHNIČKO-TEHNOLOŠKA ANALIZA VARIJANTE A

Varijanta A podrazumijeva klasičan sustav tlačne stanice i cjevovoda s potopljenim crpkama i standardnom opremom tlačnog cjevovoda kao što su muljnici - odzračnici (il. 1).

### Varijanta A.1. - tlačni cjevovod od PEHD-a, DN 180

Gubici u tlačnom cjevovodu D-TS1 iznose oko 4,6 bar, a u D-TS2 oko 5,4 bar. Da bi postojala kakva-takva zaliha tlaka, odabire se crpka karakteristika  $Q = 25 \text{ l/s}$ ,  $H = 6,0 \text{ bar}$ ,  $P = 54 \text{ kW}$ ,  $I = 550 \text{ A}$ ,  $\eta_u = 0,34$ . Radna točka sustava crpka - cjevovod je daleko izvan dopuštenog raspona 0,5 - 1,25 BEP-a crpke (eng. best efficiency point - radna točka crpke s najvećim stupnjem djelovanja). Stoga se tu varijantu dalje neće razmatrati.

Ipak, mogla bi se razmotriti instalacija serijskog (kaskadnog) spoja dvije crpke karakteristika  $Q = 25 \text{ l/s}$ ,  $H = 3,0 \text{ bar}$ ,  $P = 15 \text{ kW}$ ,  $\eta_u = 0,55$ . Pri tome odmah upada u oči da bi se serijskim spojem crpki s  $2 \times 15 \text{ kW}$  instalirane snage



**Ilustracija 1**  
Potopljene crpke u pogonu

postigao isti učinak kao i u prethodno razmatranoj varijanti s jednom crpkom snage 54 kW, a sve zbog puno boljeg pojedinačnog stupnja djelovanja. Međutim, to zahtijeva suhu izvedbu crpnog postrojenja i značajno povećanje gabarita stanice. Osim kompliciranja građevinske izvedbe i problematike suhe ugradnje crpki, kod serijskog spoja crpki postoji izrazito velika osjetljivost u pogonu. Naime, postoji opasnost da gornja crpka radi na prazno (stvara podtlak) u tlačnom cjevovodu donje i u normalnim uvjetima, a posebice zbog mogućih problema sa začepljenjem (blokadom) donje. Tako već kod najmanjeg gubitka učinkovitosti jedne od crpki osjetno pada kapacitet cijele grane. Stoga je radnu i pričuvnu liniju serijski spojenih crpki potrebno dodatno frekvencijski (elektronički) regulirati što je vrlo skupo. Zato se u praksi serijski spoj crpki u kanalizaciji izbjegava i koristi samo za nužnu sanaciju postojećih crpnih stanica kada druga rješenja nisu moguća.

### Varijanta A.2. - tlačni cjevovod od PEHD-a, DN 200

Potrebna je tlačna stanica dimenzija  $3 \times 2,5 \text{ m}$ , dubine oko 4,5 m koja se kompletira zasunskim oknom. Gubici u tlačnom cjevovodu D-TS1 iznose oko 2,8 bar, a u D-TS2 oko 3,2 bar. Da bi postojala kakva-takva zaliha tlaka, odabire se crpka karakteristika  $Q = 25 \text{ l/s}$ ,  $H = 4,0 - 4,5 \text{ bar}$ ,  $P = 25 - 30 \text{ kW}$ ,  $I = 390 \text{ A}$ ,  $\eta_u = 0,37$ . Radna točka sustava crpka - cjevovod je unutar dopuštenog raspona 0,5 - 1,25 BEP-a, ali ipak s dosta slabim ukupnim stupnjem djelovanja. Naime, kritične dopuštene vrijednosti primjene kanalizacijskih jednokanalnih crpki su ograničene slobodnim prolazom kugle kroz crpku  $d = 80 - 100 \text{ mm}$  (zbog smanjenja opasnosti od

njezinog začepļivanja od većih krutih komada otpada koji se mogu naći u kanalizaciji). Ta veličina otvora jako ruši hidrauličke karakteristike impelera crpke jer one naprosto nisu konstruirane za postizanje visokih tlakova dobave (uz te projektne male protoke do oko 50 l/s) koji su potrebni kod dugačkih tlačnih cjevovoda. Puno se bolji stupnjevi djelovanja mogu postići korištenjem tzv. visokotlačnih kanalizacijskih crpki s otvorima impelera 30 - 40 mm, međutim njihova uporaba zahtijeva korištenje ulazne rešetke, odnosno sita koje će iz vode separirati sve krute komade i vlaknaste tvari veće od 20 mm. Brzina strujanja vode u cjevovodu iznosi oko 1,0 m/s i ne osigurava neometani transport zračnih džepova uzduž tlačnog cjevovoda. S time nije moguće reducirati broj odzračnika duž trase cjevovoda.

Unatoč zalih tlaka od oko 1,0 - 1,5 bar u radnoj točki, dobava crpke za projektne parametre (bez ikakvih začepļjenja u cjevovodu) iznosi svega 31 l/s. Povećanje tlaka začepļjenja za 0,5 bar smanjuje dobavu crpke na oko 12 - 15 l/s što je donekle povoljnije od varijante A.1, ali još ne zadovoljava. Nastalo začepļjenje je na nepoznatom mjestu pa treba zaustaviti rad tlačne stanice i provjeravati od muljnika do muljnika tražeći ga negdje na 2 - 3 km dugačkoj trasi.

### **Zaključak tehničko-tehnološke analize varijanti A.1. i A.2.**

U varijanti A.1. uopće ne postoji klasična potopljena kanalizacijska crpka koja bi zadovoljavala rubne uvjete izbora, dok se uporaba serijskog spoja ne preporučuje. U obje do sada razmatrane varijante crpke su u pogonu svega oko 3000 h godišnje s razmjerno slabim stupnjem djelovanja oko 35%, velik je broj uključivanja i isključivanja (opterećenje električne mreže), veliko je očekivano taloženje u cjevovodu (posebice u kišnom razdoblju) i nemoguće je održavanje projektiranih parametara sustava. Pogonska sigurnost sustava je vrlo slaba i nema mogućnosti kontrole procesa u tlačnom cjevovodu pa se mogu samo otkrivati i uklanjati posljedice začepļjenja cjevovoda i to tek kada zbog suženog slobodnog presjeka cijevi crpke moraju raditi pri kraju svoje radne krivulje (područje vrlo malih protoka) pri čemu dolazi do pregrijavanja motora i prestanka rada crpke. Tada se prepoznaje začepļjenje koje je još k tome na nepoznatom mjestu. Stoga je neophodno na ulazu u tlačnu stanicu instalirati učinkovit uređaj - sito za odvajanje krupnih komponenti i ostalog krutog i vlaknastog otpada većeg od 4 - 6 mm kako bi se tlačni cjevovod zaštitio, što povećava investiciju za dodatnih 30 000 - 40 000 eura, ali i nedvojbeno sprječava opasnost od začepļjenja i oštećenja crpki i/ili cjevovoda te na taj način štedi značajno vrijeme i novac na njihovom održavanju, a da se ne govori o blokadi cjelokupnog kanalizacijskog sustava naselja u slučaju potrebnih dugotrajnijih radova na tlačnom cjevovodu. Time je omogućena 100%-tna zaštita crpki i cjevovoda od mogućih začepļjenja i/ili oštećenja većim krutim otpadom, dugačkim vlaknastim tvarima i sl.

Vrijeme zadržavanja otpadne vode u cjevovodu pri minimalnom dotoku noću iznosi oko 6 h što je nedopušteno dugo i zasigurno će dovesti do pada kvalitete otpadnih voda u noćnim satima što je, međutim, dijelom moguće

kompensirati tehnologijom na uređaju za pročišćavanje, a radi se i o manjim količinama otpadne vode u odnosu na cjelokupni dnevni dotok.

U uobičajenom je pogonu potrebno i redovito kontroliranje i čišćenje odzračnika jer nečistoće vrlo brzo sjednu na kuglu i sjedište ventila tako da oni kasne u otvaranju i izbacivanju zraka i sakupljenih plinova. Neodržavanjem odzračnika, oni se mogu i u potpunosti zatvoriti što opet može začepiti cjevovod u slučaju većih nakupina zraka na kritičnim mjestima (lokalne najviše točke cjevovoda i okomiti lomovi trase).

Građevinski objekt je malih dimenzija (ukupni gabariti tlačne stanice, ulaznog okna s rotacijskim sitom i zasunskog okna ne prelaze tlocrtne dimenzije 6,5 × 3 m) i kompaktne izvedbe bez potrebe za nadzemnim dijelom.

### **TEHNIČKO-TEHNOLOŠKA ANALIZA VARIJANTE B**

Varijanta B podrazumijeva sustav tlačne stanice i cjevovoda sa zračnom stanicom. Prije oko 25 godina počele su se primjenjivati zračne stanice za ispiranje i održavanje svježine otpadnih voda u tlačnim cjevovodima, što je bilo inspirirano (u strojarskoj praksi uobičajenim) pneumatskim transportima gdje se značajne količine raznih čvrstih tvari mogu transportirati cjevovodima pomoću stlačenog zraka. U tlačnim stanicama za otpadne vode one imaju višestruku primjenu:

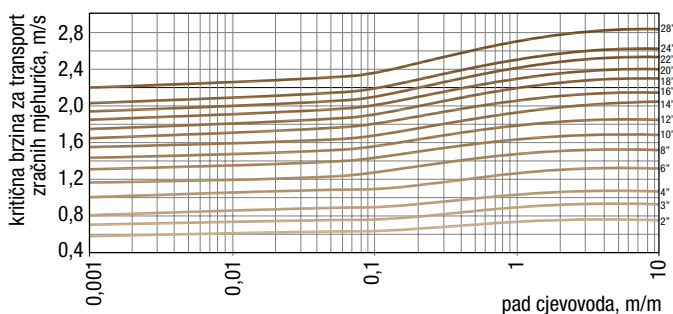
- propuhivanje i pražnjenje cjevovoda - aktivno upravljanje događajima u njemu gdje se po automatskoj prijavi povišenja pogonskog tlaka on propuhuje stlačenim zrakom pretlaka oko 3 bar, a s obzirom na to da su ukupni hidraulički gubici pri strujanju zraka u njemu ispod 0,3 bar, sila od 27 t/m<sup>2</sup> (oko 700 kg po poprečnom presjeku cijevi) ispire cjevovod brzinom 4 - 5 m/s što je daleko veće od kritične te ga prazni noseći sa sobom sve nataložene nečistoće
- osiguranje dobre kvalitete otpadne vode na ulazu u uređaj za pročišćavanje
- pogon pneumatskih ventila crpne stanice, povoljno i sigurno automatiziranje sustava i u slučaju prekida dovoda električne energije
- provjetravanje usisnog bazena - podizanje taloga i transport u uređaj za pročišćavanje
- propuhivanje ulazne rešetke tlačne stanice.

Najvažnija upotreba zračne stanice, osim spomenutih, je to da ona kod prijave povišenog pogonskog tlaka uzrokovanog od rastućeg začepļjenja automatski 'propuhuje' tlačni cjevovod i tako osigurava 'aktivno' upravljanje njime! Naime, na dodirnoj površini zraka i vode dolazi do parcijalnih ubrzavanja medija raznih vektorskih smjerova s brzinama daleko većim od kritične. Tako se nataložen materijal podiže s dna i transportira do kraja tlačnog cjevovoda. U primjeru PS Hundshübel u Njemačkoj tom se tehnologijom uspijeva iz cjevovoda isprati do 1,0 m<sup>3</sup> tucanika po jakoj kiši (ceste bez rubnjaka, odnosno slivnici bez taložnika) koji se transportira u tlačnu stanicu za otpadne vode!

Primjena takve tehnologije je u pravilu moguća na tlačnim cjevovodima do DN 250 i na veće udaljenosti, a do DN 500 na kraćim dionicama - duljine do 500 m.

## Ilustracija 2

Dijagram kritične brzine za daljnji transport zračnih džepova



Uobičajeni nusproizvodi raspadanja organskih tvari bez prisutnosti kisika u klasičnom cjevovodu su metan i sumporovodik, koji u životnom procesu anareobnih bakterija nastaju u njihovim stanicama. Pri tlakovima većim od 1,0 bar ti se plinovi sublimiraju u stanicama pa se eksplozivno oslobađaju na kraju tlačnog cjevovoda. Tu se stvaraju ne samo emisije vonja, nego i sumporna kiselina koja nagrizava djelove daljnjeg transportnog sustava, kanalne mreže ili uređaja za pročišćavanje. Sve te nuspojave sprječavaju se redovitim propuhivanjem tlačnog cjevovoda pri čemu zbog nepostojanja anaerobnih procesa nema ni intenzivnog smrada na njegovom ispuhu. Zračna je stanica jednostavan i pouzdan sustav koji se sastoji od kompresora, spremnika stlačenog zraka i regulacijske linije zraka. Za D-TS1 i D-TS2 potrebni su spremnici volumena oko 8 - 10 m<sup>3</sup> (dimenzije oko (2000 × 3500 mm) pod tlakom zraka oko 15 bar i kompresori snage 11,0 kW. Spremnik stlačenog zraka se može smjestiti unutar objekta tlačne stanice ili vani pa nije nužno povećanje gabarita objekta stanice, ali se svakako povećava potreban prostor za njezinu izgradnju. Odzračna i muljna okna nisu potrebna, već se samo na svakih oko 500 m izvodi okno s armaturom za omogućavanje pristupa cjevovodu te se kompletira s manometrom. Tlačni cjevovod se polaže s nagibom nivelete do 2 %, a na kraćim dionicama (do 10 m) i do 5% (il. 2).

### Varijanta B.1. - tlačna stanica s jednokanalnim crpkama i zračnom stanicom

Uključujući suhu ili mokru izvedbu crpki, razmatrani parametri, projektni gubici u tlačnim cjevovodima, izbor crpki te građevinska i ostala problematika su jednaki onima iz varijante A. Ipak, velika je razlika u odnosu na nju to što je tim sustavom ispiranja cjevovoda stlačenim zrakom moguća aktivna kontrola događanja unutar dugačkog tlačnog cjevovoda te pravodobna reakcija jednostavnim propuhivanjem cjevovoda. Time se pad tlaka u sustavu održava približno na razini projektnih parametara što je od presudne važnosti.

Zanimljiv primjer takvog sustava se može vidjeti u primjeni na svinjogojskoj farmi u Dardi kod Osijeka gdje funkcionira tlačni cjevovod fekalnih voda farme duljine oko 2 km koji se ispire zrakom 2 puta dnevno (il. 3 i 4). Cjevovod je dosta pucao jer je izrađen od PVC-a s PN 6, a dolazilo je do čestih kvarova na redukcijском ventilu zračne stanice te je puštanjem zraka dolazio pod tlak 15 bar. Taj je problem riješen kvalitetnijim redukcijским ventilom pa

sada stanica funkcionira besprijekorno već 12 godina. Iskustvo je pokazalo da bez nje normalan rad gotovo nije moguć (učestali zastoji postrojenja, mukotrpno pronalaženje i čišćenje začepjenja). Radi sigurnosti se razmišlja o uvođenju usporednog cjevovoda koji bi preuzimao rad u slučaju rijetkih začepijavanja radnog cjevovoda. Pri tome je ipak potrebno imati na umu posebno teške radne uvjete sustava zbog velike gustoće crpljenog materijala koji čine fekalije s vrlo malim sadržajem vode od ispiranja, što u komunalnim sustavima općenito nije slučaj.

### Varijanta B.2. - tlačna stanica s membranskim crpkama tipa Feluwa ili sličnima

Potrebna je građevina tlačne stanice dimenzija 9 × 5,5 × 4,8 m s podrumom dubine 4 m koja se oprema kranom nosivosti 3 t i ostalom pratećom opremom. Polaže se dvostruki tlačni cjevovod od PEHD-a, DN 160, bez odzračnih i muljnih okana. Svakih 500 m predviđeno je jednostavno okno za pristup cjevovodu kako je već opisano. Tlačna stanica se oprema membranskim crpkom kapaciteta oko 12,5 l/s pri 5,0 bar tlaka dobave (maksimalnog radnog tlaka do 12 bar uz motor snage oko 20 kW) i snage motora 10 kW i stupnjem djelovanja 80%. Za maksimalna opterećenja u paralelu se spaja klasična višekanalna crpka istog kapaciteta, slobodnog prolaza 60 × 40 mm s nožem za usitnjavanje, maksimalnog tlaka dobave 5,6 bar, snage motora 22 kW i stupnja djelovanja 40%. Pri tome ipak valja napomenuti sljedeće: iskustvo je pokazalo da se nož za usitnjavanje otpada na ulazu u crpku dosta brzo troši te ga treba redovito kontrolirati i mijenjati pa te crpke nisu osobito pouzdane i preporuka je nekih proizvođača izbjegavati ih gdje je to moguće. Kapacitet te crpke pri radu na oba tlačna cjevovoda iznosi oko 18 l/s. Zračnu stanicu čine dva kompresora snage 11 kW i tri tlačna spremnika po 6,0 m<sup>3</sup> s tlakom zraka oko 15 bar.

Membranska crpka radi sa samo 50 taktova u minuti, a njezin je vijek trajanja oko 150 000 h, tj. oko 5 puta veći nego kod klasičnih crpki. Za tu je varijantu potreban velik retencijski volumen ispred tlačne stanice koji će kompenzirati povećani priljev maksimalnog sata kanalizacijskog sustava. Također je nužan i preliv za slučaj nedopuštenog povećanja razine otpadne vode u tlačnoj stanici čiji se nedostatak može kompenzirati ugradnjom hidranta u tlačni cjevovod

### Ilustracija 3

Spremnik stlačenog zraka (10 m<sup>3</sup>, 15 bar) i mjerno-regulacijska linija na svinjogojskoj farmi Darda kod Osijeka



kroz koji se u slučaju duljeg ispadanja crpke iz pogona može pokretnom crpkom transportirati otpadna voda izravno iz crnog bazena u tlačni cjevovod. Uz izabran kapacitet membranskih crpki od 12,5 l/s i s retencijskim volumenom oko 60 m<sup>3</sup>, ispred tlačne stanice će membranska crpka, od ukupno oko 7000 h, raditi oko 6500 h godišnje i to sa stupnjem djelovanja 80%.

Druga crpka i pomoćni cjevovod se uključuju samo kod maksimalnih opterećenja i kada je retencijski volumen popunjen (vjerojatno samo kod kišnih dana). Nakon prestanka potrebe za pomoćnim cjevovodom, on se propuhuje i prazni do sljedeće potrebe.

## Zaključak tehničke analize varijanti B.1 i B.2.

Varijanta B.1. ima određene tehničke prednosti u odnosu na varijantu A. Kao što je prikazano, višestruka je prednost uporabe zračne stanice čiji se rad može jednostavno i potpuno uklopiti u potrebe hidrauličkog sustava za transport otpadnih voda uz potpunu kontrolu nad procesima taloženja krutih čestica i anaerobnog truljenja. Prednost sustava sa stlačenim zrakom u odnosu na klasične je neupitna u smislu održavanja radnih parametara cjevovoda jer omogućava održavanje tlačnog cjevovoda uz minimalne troškove. Mogući nedostatak te varijante je osjetljivost nezaštićenih crpki na začepljivanje i/ili oštećenje zbog većih krutih otpadaka i/ili dugačkih vlaknastih tvari koji se u redovnom pogonu stanice često pojavljuju što može utjecati na značajno povećanje troškova održavanja i potrebne hitne intervencije.

Varijanta B.2. je tehničko-tehnološki neusporediva s ranije spomenutim sustavima. Mogućnosti sustava za povremeno podizanje tlaka dobave otpadne vode crpkom (do 10 bar), dugovječnost crpki i mala potrošnja energije, uz (za klasične kanalizacijske crpke nedostižan) stupanj djelovanja 80%, kontinuiran rad crpki čak 6500 h godišnje i usporedan tlačni cjevovod čine taj sustav nadmoćnim u tehničkom smislu. Ipak, velik je nedostatak te varijante značajno složenija i veća građevina s nadzemnim dijelom.

## EKONOMSKA USPOREDBA OPISANIH TEHNIČKIH RJEŠENJA

Jednostavno ekonomsko vrednovanje varijanti u kojima se nastojalo obuhvatiti sve najvažnije čimbenike koji utječu

**Tablica 1**

*Investicijski i troškovi jednogodišnje eksploatacije sustava za pojedine varijante*

*Napomene:*

- troškovi održavanja tlačnog cjevovoda ni priključenja cjevovoda sela Đurići nisu uzeti u obzir
- u sveukupne troškove varijante A. uključena je cijena jednog okomitog rotacijskog sita.

kategorija	potkategorija	varijanta A	varijanta B.1.	varijanta B.2.
investicijski troškovi izgradnje, kuna	crpna stanica (građevinski objekt)	150 000,00	150 000,00	300 000,00
	crpke i hidrotehnička oprema	400 000,00	400 000,00	1 300 000,00
	ulazno sito	230 000,00	-	-
	sustav za stlačeni zrak	-	210 000,00	250 000,00
	ukupno tlačna stanica po komadu	780 000,00	760 000,00	1 850 000,00
godišnji troškovi pogona sustava, kuna	tlačni cjevovodi s pratećom opremom L = 5400 m	1 100 000,00	1 100 000,00	1 450 000,00
	amortizacija	35 000,00	31 000,00	21 000,00
	redovno održavanje tlačne stanice - komplet	15 000,00	14 000,00	20 000,00
	generalni servis	10 000,00	9000,00	13 000,00
	energija	60 000,00	70 000,00	50 000,00
	ostali troškovi	6000,00	6000,00	6000,00
	ukupno	126 000,00	130 000,00	110 000,00
broj stanica na trasi		2	2	1
sveukupno u jednoj godini		2 680 000,00	2 880 000,00	3 410 000,00



**Ilustracija 4**  
Mjerno-regulacijska linija stlačenog zraka 15/4 bar

na cijenu investicije i troškove jednogodišnje eksploatacije sustava prikazani su u tablici 1. Pri analizi se ne smije ispustiti iz vida da je tlačni cjevovod dosta specifičan u odnosu na uobičajene slučajeve. To se prije svega odnosi na činjenicu njegove duljine (oko 5400 m) i nužnost priključenja lateralnog tlačnog cjevovoda na oko polovici duljine. Kao što je već rečeno, klasične kanalizacijske crpke s impelerom imaju veliko hidrauličko ograničenje, a to je zahtjev da tzv. slobodni prolaz kugle kroz crpku mora iznositi minimalno 80 - 100 mm zbog opasnosti od začepljivanja. Taj zahtjev posebno 'pogađa' sustave s malim protocima, do oko 50 l/s, u slučajevima dugačkih tlačnih cjevovoda.

Potreba razdjeljivanja sustava na dvije tipske crpne stanice tako da se ukupna duljina trase tlačnog cjevovoda podijeli na razumno dugačke sekcije poskupljuje investiciju za oko 40%.

Kao što je vidljivo, tlačna stanica s membranskim crpkama (varijanta B.2) je neprihvatljiva za manje zahtjevne tlačne cjevovode unatoč svojoj tehnološkoj nadmoći i sigurnosti pogona. Razlog tome je vrlo visoka cijena crpnih membranskih agregata. U specifičnom slučaju tlačnog cjevovoda Drenovci ta varijanta, međutim, postaje koliko-toliko konkurentna (iako i dalje najskuplja) zahvaljujući činjenici da se inače moraju graditi dvije tipske stanice s klasičnim kanalizacijskim crpkama. No, pri tome i dalje ostaje problem lateralnog priključka koji također zahtijeva primjenu istih crpki. U ekonomskoj analizi tehnička rješenja i cijena lateralnog priključka nisu uzeti u obzir, već samo glavni tlačni sustav otpadnih voda naselja Drenovci.