

RJEŠAVANJE PROBLEMA VONJA U TLAČNIM TRANSPORTNIM SUSTAVIMA OTPADNIH VODA

Krešimir PEČAR, dipl. ing.

Razvoj tlačnih transportnih sustava odvodnje otpadnih voda je, uz svoje prednosti, donio i neke do tada manje poznate probleme. Naime, za razliku od gravitacijskih sustava kod kojih otpadna voda zapunjava tek dio presjeka cjevovoda, kod tlačnih transportnih sustava u pravilu je potopljen cjelokupan presjek. To uzrokuje jedan od najvećih problema za ljude u okolici, duž trase cjevovoda u blizini odzračnih ventila te osobito kod izljevnog okna tlačnog cjevovoda: pojavu intenzivnog vonja koji nastaje razvojem anaerobnih procesa raspadanja organskih tvari za vrijeme zadržavanja otpadne vode u tlačnom cjevovodu bez dovoljnih količina kisika. U članku je prikazana mogućnost za rješavanje tog problema u slučaju urbanog tlačnog cjevovoda otpadnih voda jedne jadranske turističke ljepotice.

Kod tlačnih cjevovoda otpadnih voda duljine veće od 500 m u punom opsegu dolazi do izražaja sljedeća problematika:

- otežano održavanje i čišćenje zbog dugačkih dionica između pojedinih revizijskih okana
- proces stvaranja taloga u donjem dijelu cjevovoda zbog duljih razdoblja mirovanja crpki (posebice u noćnim satima) pa postoji opasnost od začepjenja tijekom uporabe
- nemogućnost 'ispiranja' (misli se na potpunu izmjenu tekućine unutar cjevovoda) u jednom radnom ciklusu crpki i prilično dugo zadržavanje otpadnih voda u anaerobnim uvjetima pri čemu dolazi do anaerobnih procesa truljenja što smanjuje kvalitetu otpadne vode za preradu na biološkom uređaju za pročišćavanje, a nusproizvod je intenzivna pojava metana i sumporovodika koji vrlo neugodno vonjaju, a uz to su i eksplozivni
- heterogeno tečenje unutar cjevovoda gdje se zbog veće gustoće donji slojevi tekućine kreću sporije od gornjih pri čemu dolazi do intenzivnog zanošenja čestica i disipacije energije crpke zbog čega teoretskom proračunu treba pribrojiti iskustveni dodatak visini dobave crpke
- osim u visini dobave, dodatna sigurnost je potrebna u količini dobave crpki zbog mogućih ilegalnih priključenja oborinske kanalizacije (što je, istina, problem komunalne tvrtke), ali sigurnost sustava se ne smije dovesti u pitanje pa se već u fazi projektiranja mora ostaviti određena iskustvena pričuva u tom pogledu.

Dva su osnovna postulata transporta otpadnih voda.

Prvi je što brže transportirati otpadne vode. Pri tome maksimalno dopušteno vrijeme zadržavanja otpadne vode u cjevovodu iznosi 3 h. Naime, praksa je pokazala da nakon toga zbog nedostatka kisika dolazi do masovnog ugibanja aerobnih bakterija, razvoja kiselina, opasnih plinova i različitih vrsta enzima. Zadržavanje otpadne vode u cjevovodu 4 - 5 h je kritično pa zbog nedostatka aerobnih sastojaka (ugibanja zbog nedostatka kisika) uređaj za pročišćavanje ostaje bez prihrane.

Drugi je spriječiti taloženje krutih čestica u cjevovodu. Za podizanje taloga (šljunka, pijeska, mulja, ostalih krutih čestica) s dna cjevovoda potrebna je kritična brzina približno deset puta veća od one samo za nošenje taloga. S obzirom na to da gustoća otpadne sanitarno-fekalne vode iznosi 1020 - 1050 kg/m³, praksa je pokazala taloženje i bez veće prisutnosti šljunka, pijeska i dr, a što se značajno pogoršava u razdobljima obilnih kiša. Stoga je od iznimne važnosti da nadležna komunalna tvrtka cjevovod redovito kontrolira, održava i čisti.

U klasično projektiranim kratkim tlačnim cjevovodima ni jedan ni drugi uvjet ne moraju u potpunosti biti zadovoljeni, s obzirom na predvidivost mogućih događaja unutar cjevovoda i lako održavanje kratkog cjevovoda jednostavnim ispiranjem kada dođe do začepjenja. Kod dugačkih se tlačnih cjevovoda situacija mijenja te

do danas čak ni sveobuhvatne njemačke smjernice ATV nisu dale jednoznačan odgovor za projektiranje tlačnih cjevovoda otpadnih voda duljine veće od 500 m. Naime, rad precrpnih stanica uključeno/isključeno dovodi do neizbježnog taloženja u cjevovodima, dok vrijeme zadržavanja u njima ovisi o njihovoj duljini, promjeru i količini dotoka na crpnu stanicu, što je osobito kritično noćnu (23.00 - 5.00 h).

Problem vonja u tlačnim cjevovodima otpadnih voda

Pri duljem zadržavanju otpadne vode u anaerobnim uvjetima dolazi do razvoja metana i sumporovodika koji u životnom procesu anareobnih bakterija nastaju u njihovim stanicama. Pri tlaku višem od 1,0 bar ti se plinovi sublimiraju u stanicama pa se oslobađaju eksplozivno na kraju tlačnog cjevovoda, pri izlasku vode u izljevno okno. Tako se stvaraju ne samo emisije vonja, nego i sumporna kiselina koja nagrizi djelove daljnjeg transportnog sustava, kanalne mreže i/ili uređaja za pročišćavanje. Određena pomoć može biti dodavanje tekućeg peroksida (H₂O₂) i tekućina na osnovi klora (slično se dodaje i u bazene za kupanje). Međutim, umjesto dodavanja kemikalija, prednost bi trebalo dati kompresorskoj (zračnoj) stanici, s obzirom na to da doziranje kemikalija u sustav ne može riješiti problem istaloženog otpada u cjevovodu!

Taloženje krutih čestica i začepijavanje tlačnog cjevovoda

Unatoč svim mjerama predostrožnosti i eventualnoj uporabi ulazne grube rešetke za odvajanje krupnih nečistoća prije ulaska u crpke i tlačni cjevovod, nužno je povremeno ispiranje cijevnog sustava količinama otpadnih voda i brzinama koje osiguravaju odnošenje nataloženih čestica iz tlačnog cjevovoda, što je obveza korisnika sustava (nadležne komunalne tvrtke).

Naime, između ostalih istraživača, dr. Kenneth WILSON iz Kanade je nakon 30-godišnjeg znanstvenog rada definirao potrebnu kritičnu brzinu za podizanje nataloženog materijala nomogramom koji je dan u stručnom radu Theodora GUTZEITA, dipl. ing. 'Feststoff-Transport in Abwasserdruckleitungen' (Feluwa, 2001). Po tom nomogramu, za podizanje pijeska, kamenčića, metalnih i staklenih komada i sl. gustoće oko 2600 kg/m³, određene su kritične brzine u tlačnim cjevovodima različitih promjera (il. 1, tablica 1)

Povremenim propuhivanjem komprimiranim zrakom te se pojave mogu spriječiti u korijenu. Povrh toga, pokusi su dokazali (prof. BÖHNKE) da u aeriranim tlačnim cjevovodima dolazi do pojave autopurifikacije pa je moguće osjetno smanjenje biološke i kemijske potrebe za kisikom već

nazivni promjer cjevovoda <i>d</i> , mm	kritična brzina za podizanje istaloženih čestica gustoće 2600 kg/m ³ <i>w_{krit}</i> , m/s
100	1,95
150	2,50
250	2,80
500	5,10
1000	10,0

Tablica 1
Kritične brzine u tlačnim cjevovodima različitih promjera

u cjevovodu, što vrlo pozitivno djeluje na rad uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. U protivnom, dolazi do obrnutog učinka pa su mjerenja pokazala da već 10% anaerobnih transportiranih otpadnih voda smanjuje učinkovitost uređaja za oko 20%, a 25 % otpadnih voda za oko 50%.

Kompresorska (zračna) stanica

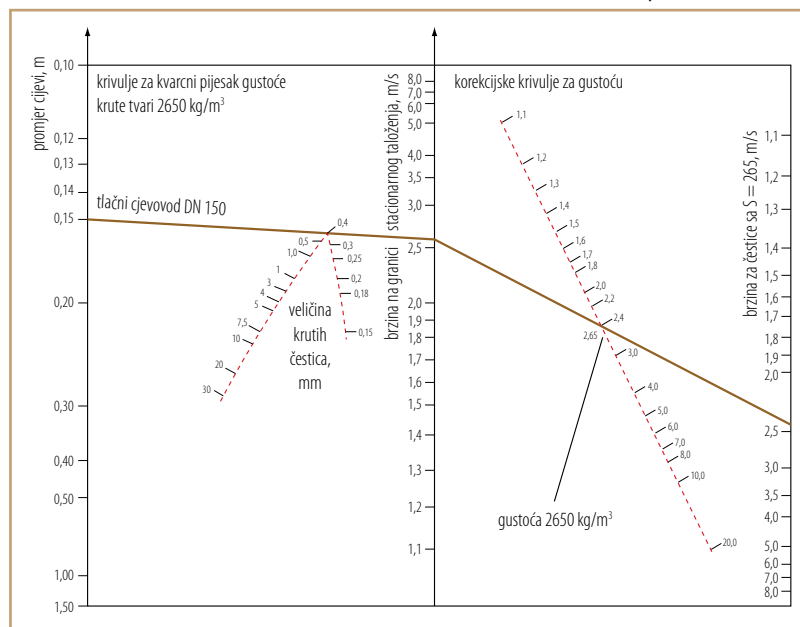
Prije oko 25 godina počele su se primjenjivati kompresorske (zračne) stanice za ispiranje i održavanje svježine otpadnih voda u tlačnim cjevovodima (inspirirano u strojarскоj praksi uobičajenim pneumatskim transportima kod kojih se značajne količine raznih čvrstih tvari mogu transportirati dugačkim cjevovodima pomoću komprimiranog zraka).

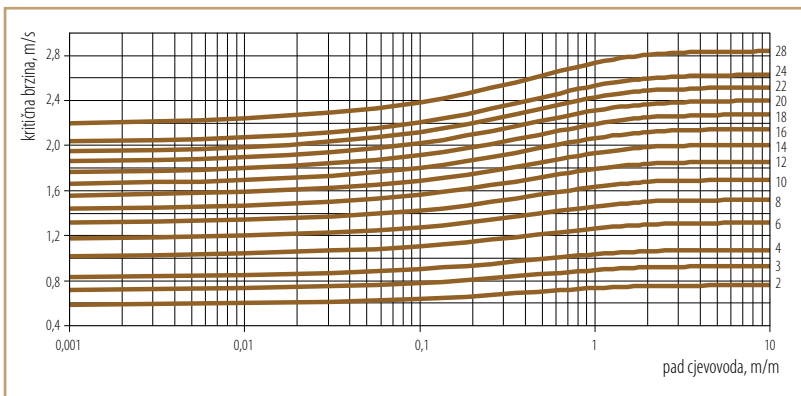
Zračna stanica obavlja sljedeće zadatke:

- propuhivanje i pražnjenje tlačnih cjevovoda
- sprječavanje hidrauličkih udara
- pogon zasuna crpne stanice (dodatna mogućnost)
- provjetravanje usisnog spremnika (dodatna mogućnost)
- čišćenje rešetke spremnika (dodatna mogućnost).

Najvažnija upotreba zračne stanice je da kod prijave povišenog pogonskog tlaka uzrokovanog

Ilustracija 1
Nomogram za određivanje kritične brzine podizanja krutih čestica koje su istaložene u cjevovodu (prema dr. Wilsonu)





Ilustracija 2
Zahtijevana brzina strujanja
otpadne vode (kritična
brzina za transport zračnih
mehurića) u cjevovodu

rastućim začepljenjem automatski 'propuhuje' i tako osigurava aktivno upravljanje tlačnim cjevovodom! Naime, na dodirnoj površini zraka i vode dolazi do parcijalnih ubrzanja medija raznih vektorskih smjerova, s brzinama koje su daleko veće od potrebne kritične. Tako se nataloženi materijal podiže s dna i transportira do kraja cjevovoda.

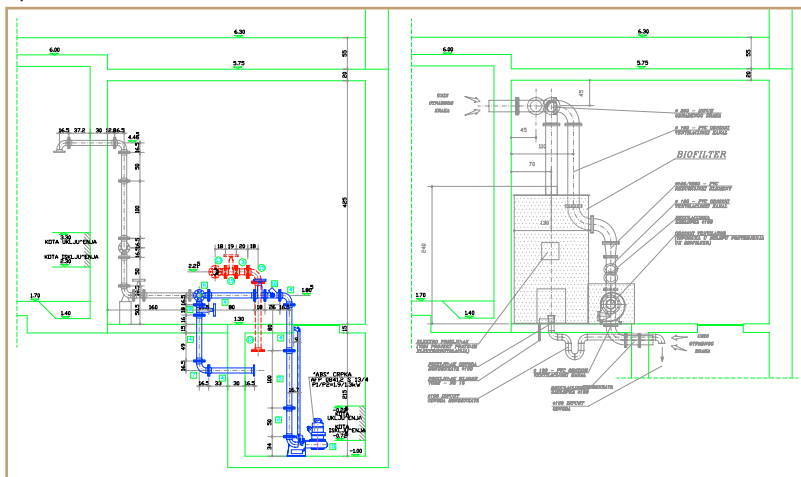
Minimalna potrebna brzina strujanja otpadne vode u tlakovodu pri normalnom radu iznosi oko 1,2 m/s, a okomiti pad trase pojedinih dionica cjevovoda ne smije biti veći od 15% (il. 2)! U tom slučaju, kod primjene kompresorskih (zračnih) stanica nisu potrebna odzračna i muljna okna, već se svakih 500 m predviđa revizijsko okno s fazonom za otvaranje cjevovoda i manometrom.

Proračun prikazanog sustava

U prikazanom se slučaju radi o problematici vonja tlačnog cjevovoda mješovitih otpadnih voda (sanitarno-fekalne i oborinske) duljine 500 m, nazivnog promjera 230 mm (od polivinilkloridnih cijevi promjera DN 250) i sa srednjim dnevnim dotocima na razini 200 m³/d, odnosno maksimalno 400 m³/d na vrhuncu turističke sezone u kolovozu (tablica 2). Dnevni broj radnih ciklusa crpki iznosi time 8 (19).

Iz proračuna se vide sljedeći zanimljivi parametri:

Ilustracija 3
Presjek postojeće
crpne stanice



- već spomenuta nedostatna brzina strujanja otpadne vode u tlačnom cjevovodu (svega 0,3 m/s)
- razdoblje radnog ciklusa noću načelno zadovoljava, međutim potrebno je gotovo osam ciklusa da se u potpunosti promijeni voda u tlačnom cjevovodu (vrijeme ispiranja od 261 min načelno zadovoljava europske norme, ali je stručni dojam da je tih 360 dopuštenih minuta 'medvjeda usluga' da se veći broj cjevovoda može provući kao legalan, a zapravo već nakon 3 h, odnosno 180 min postoji jak proces anaerobnog truljenja)

Također, zbog značajne predimenzioniranosti tlačnog cjevovoda i male realne brzine strujanja otpadne vode, trenutačni hidraulički gubici strujanja su manji od 0,1 bar (što je uzorkovano vrlo malom brzinom strujanja).

Preliminarni grubi izračuni pokazuju da je u prikazanom slučaju potreban sljedeći sustav:

- kompresorska (zračna) stanica u slučaju postojećeg tlačnog cjevovoda s nazivnim otvorom 230 mm
- kompresorska (zračna) stanica u slučaju tlačnog cjevovoda s nazivnim otvorom 150 mm.

**Kompresorska (zračna) stanica
u slučaju postojećeg tlačnog
cjevovoda nazivnog otvora 230 mm**

Kod propuhivanja i pražnjenja cjevovoda ostvaruje se aktivno upravljanje događajima. U cjevovod se nakon automatske prijave povišenja pogonskog tlaka uvodi stlačeni zrak pretlaka oko 3 bar. S obzirom na to da su ukupni hidraulički gubici pri strujanju zraka u cjevovodu manji od 0,2 bar, sila od 28 t/m² (oko 5000 kg po poprečnom presjeku cijevi) ispire ga brzinom 4 - 5 m/s (što je mnogo veće od kritične brzine) i prazni.

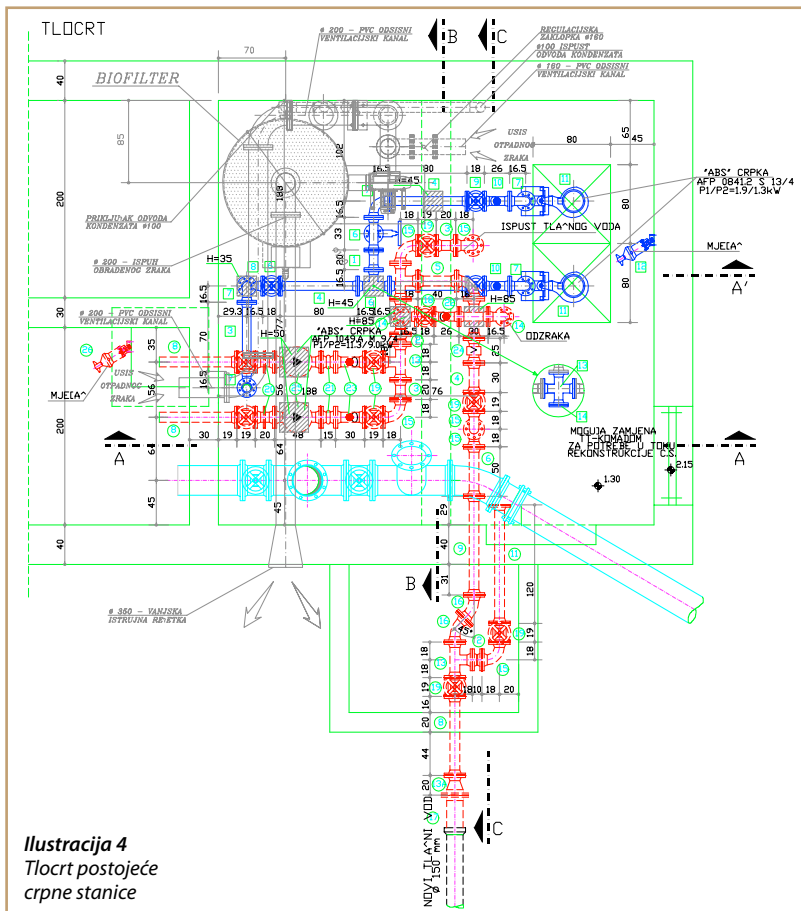
Zračna stanica je jednostavan i pouzdan sustav koji se sastoji od kompresora, spremnika komprimiranog zraka i regulacijske linije za zrak (il. 3 - 5). U prikazanom je slučaju potreban spremnik komprimiranog zraka volumena oko 8 m³, tlaka 10 bar i dimenzija ø1800 x 3500 mm, kompresor snage oko 6,0 kW (grubi račun) i cjelovita mjerno-regulacijska ventilska linija. Tim se spremnikom osigurava ispiranje tlačnog cjevovoda u trajanju oko 2 min pri brzinama 4 - 5 m/s koje podižu i iznose iz njega sve nataložene čestice, uključujući šljunak!

Vrlo gruba preliminarna procjena investicije daje da takav sustav može stajati 200 000 - 300 000 kuna.

Međutim, s obzirom na to da je riječ o turističkom središtu, nije dopušteno postavljanje spremnika komprimiranog zraka iznad same crpne stanice, već se on mora integrirati unutar nje.

dimenzioniranje dotoka otpadnih voda u precrpnu stanicu		
vrsta naselja (selo/grad)		grad
ukupan broj stanovnika slivnog područja		5000
broj stanovnika priključenih na crpnu stanicu		800
priključenost na kanalizacijsku mrežu		80%
koeficijent potrošnje (bez tuđih voda)		200 l/d po stanovniku
usvojen koeficijent potrošnje		160 l/d po stanovniku
dnevna količina sanitarnih otpadnih voda $Q_{d,san}$		128 m ³ /d
dodatak za tuđe vode		50%
količina tuđih voda $Q_{d,tuđo}$		64 m ³ /d = 0,7 l/s
ukupna dnevna količina dotoka otpadnih voda Q_d		192 m ³ /d
koeficijent maksimalne varijacije satne potrošnje k_s		3,0 (za prikazanu stanicu)
srednji dnevni dotok sanitarnih otpadnih voda $Q_{sr,san,d}$		5,3 m ³ /h = 1,5 l/s
satni maksimum otpadnih sanitarnih voda $Q_{max,san,h}$		16,0 m ³ /h = 4,4 l/s
maksimalan satni dotok otpadnih voda (uključujući tuđe vode) $Q_{max,h}$		5,2 l/s
prosječan satni minimalni dotok noću (23.00 - 5.00 h) $Q_{min,h}$		12,80 m ³ /h = 0,6 l/s
prosječan satni minimalni dotok noću (23.00 - 5.00 h, uključujući tuđe vode) $Q_{min,h}$		1,3 l/s
transzit iz uzvodnih crpnih stanica	$Q_{t,max,h}$	0,0 l/s
	$Q_{t,min,h}$	0,0 l/s
potreban kapacitet precrpne stanice Q_{potr}		5,2 l/s
ukupan minimalni dotok noću (23.00 - 5.00 h) $Q_{u,min}$		1,3 l/s
odabran ukupni kapacitet precrpne stanice Q		15,0 l/s (OK)
odabran broj radnih crpki n		1
približan hidraulički profil tlačnog cjevovoda ($w = 0,8$ m/s) d_u		155 mm
odabrana dimenzija tlačnog cjevovoda (PN = 10 bar) d_v		250,0 mm
proračun minimalne brzine strujanja otpadne vode u tlačnom cjevovodu		
unutarnji promjer tlačnog cjevovoda d_u		0,2204 m
hidraulički polumjer tlačne cijevi R		0,0551 m (kružni presjek cijevi)
eksponent $f^{\circ} n$		3,53
kritična brzina strujanja w_{krit}		0,69 m/s
koeficijent propagacijske korekcije k		1,20
minimalna potrebna brzina strujanja w_{min}		0,83 m/s
stvarna brzina strujanja w_{stv}		0,39 m/s (stvarna brzina strujanja je premala pa treba smanjiti dimenziju tlačnog cjevovoda!)
dimenzioniranje radnog volumena crpnog bazena		
1. kriterij: maksimalno dopušten broj uključivanja crpke u 1 h		
dopušten broj uključivanja crpke u 1 h n		8 h ¹
količina dobave crpke 1 Q_1		15,0 l/s
količina dobave sprege crpki Q_2		15,0 l/s
potreban radni volumen crpke 1 $V_{r,1}$		1,7 m ³
potreban radni volumen sprege crpki $V_{r,2}$		xxx m ³
2. kriterij: volumen tekućine u tlačnom cjevovodu		
duljina tlačnog cjevovoda L		500 m
volumen tekućine u tlačnom cjevovodu V_c		19,1 m ³
odabir dimenzija crpnog bazena		
svijetle tlocrtne dimenzije precrpnog bazena	duljina L	2,00 m
	širina B	1,50 m
odabran radni volumen jedne radne crpke $V_{r,1}$		2,40 m ³
odabran ukupni radni volumen V_r		2,40 m ³
radna visina crpke 1 $h_{r,1}$		0,80 m
ukupna radna visina h_r		0,80 m
3. kontrolni kriterij: kritično vrijeme zadržavanja otpadne vode u tlačnom cjevovodu		
razdoblje radnog ciklusa noću (23.00 - 5.00 h) t		1976 s = 32,9 min
broj ciklusa ispiranja tlačnog cjevovoda n_{rc}		7,9
vrijeme ispiranja tlačnog cjevovoda t_p		261,7 min
Napomene:		
Nije postignuto propiranje cjevovoda u jednom ciklusu.		
Dopušteno vrijeme zadržavanja otpadne vode u tlačnom cjevovodu ($t < 360$ min).		

Tablica 2
Dimenzioniranje hidrauličkih parametara crpne stanice (postojeće stanje) prema ATV A118



Ilustracija 4
Tlocrt postojeće
crpne stanice



Ilustracija 5
Postojeće stanje
opreme crpne stanice



Stoga je, s obzirom na značajnu predimenzioniranost tlačnog cjevovoda i potrebu za smanjenjem gabarita spremnika, investitoru predloženo smanjenje profila cjevovoda.

Kompresorska (zračna) stanica u slučaju tlačnog cjevovoda nazivnog otvora 150 mm

U slučaju tlačnog cjevovoda nazivnog otvora 150 mm smanjuju se potrebni kapaciteti spremnika komprimiranog zraka. U tom je slučaju potreban spremnik tlaka 15 bar i volumena 2 m³, što omogućuje njegovo integriranje unutar postojeće crpne stanice! Cjevovod se ispiri brzinom 5 m/s pri tlaku 3 bar u trajanju oko 125 s.

Pri smanjenju profila cjevovoda s 230 mm (vanjski promjer) na 150 mm, stvarna brzina strujanja otpadne vode povećava se na 1 m/s, dok se volumen tekućine u njemu smanjuje na oko 8 m³, a vrijeme ispiranja na 107 min u noćnim satima! Time neznatno rastu hidraulički gubici strujanja unutar cjevovoda za 0,3 bar, a vrijeme zadržavanja dolazi u područje sigurnosti, na manje od 2 h.

Još neki parametri o kojima valja voditi računa

Smanjivanjem profila cjevovoda s DN 250 (od cijevi od PVC-a) na DN 160 (od cijevi od polietilena visoke gustoće) neće biti moguć paralelan rad crpki ni transport više od 20 l/s otpadnih voda. To može biti problem u slučaju pojave neočekivano velikih količina padalina i nelegalnih priključaka.

Pri ugradnji kompresorske (zračne) stanice valja voditi računa o tome da će se na izljevnom oknu tlačnog cjevovoda u roku 2 min ispiranja pojaviti 30 m³ rastlačenog zraka koji valja obraditi u biofiltru na ispuhu iz prekidnog okna (dodatna investicija).

Tehnika uvlačenja nove u postojeću cijev, tj. reparacije postojeće cijevi nije nipošto jeftin zahvat, ali je nužan u dugoročnim hidrauličkim uvjetima malih dotoka.

Unatoč ponudama nekih proizvođača, bez spremnika komprimiranog zraka nema tehničkih mogućnosti za kvalitetno propuhivanje cjevovoda pri spomenutim tlakovima, parcijalnim brzinama i vremenu propuhivanja. ■