

NESTANDARNI KANALIZACIONI SISTEMI: VAKUUMSKA KANALIZACIJA I KANALIZACIJA POD PRITISKOM

Dejan LJUBISAVLJEVIĆ, Građevinski fakultet Beograd
Marko OBRENOVIĆ, Projektomontaža Beograd

REZIME

Kanalizacioni sistemi, sa stanovišta režima tečenja kanalskog sadržaja u cevima, dele se na:

- Gravitacione: klasični kanalizacioni sistemi
- Pod pritiskom: kanalizacioni sistemi pod pritiskom i vakuumski kanalizacioni sistemi

Kanalizacioni sistemi pod pritiskom nastali su iz potrebe prevazilaženja specifičnih tehničkih problema i iz potrebe za ekonomičnijim i racionalnijim rešenjima kanalisanja naselja.

Ključne reči: vakuumska kanalizacija, kanalizacija pod pritiskom

1. VAKUUMSKI KANALIZACIONI SISTEMI

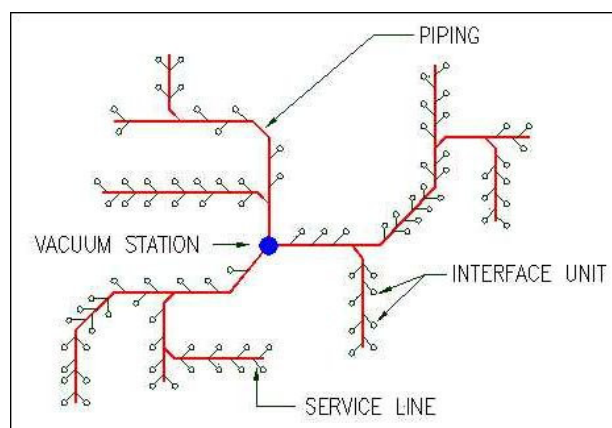
Vakuumski kanalizacioni sistemi su prvi put upotrebljeni još 1860.godine. Patentirao ih je Liernur i primenio u Amsterdamu-Holandija, Stanstedu-Britanija, Tourvilu-Francuska i u Rusiji. Švedanin, Jeol Liljendhal, usavršio je ovaj sistem i njegova masovnjia primena je usledila 1950. godine u Švedskoj.

Sistem se primenjuje u slučajevima kao što su:

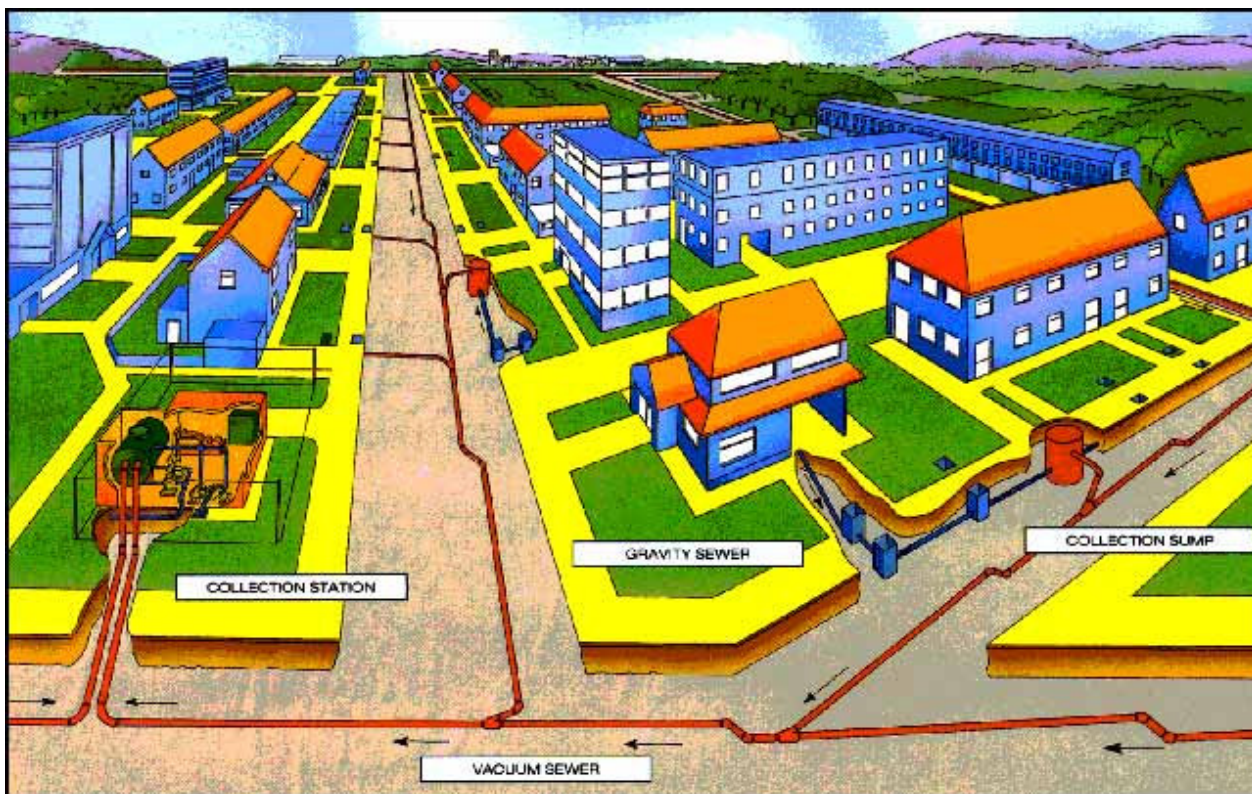
- **potpuno ravan teren**, naročito ako je **visok nivo podzemnih voda**,
- nepovoljan uzdužni profil sa **izraženim usponima i padovima**,
- **nestabilno tlo**,
- male gustine naseljenosti i **veliki koeficijenti neravnomernosti** potrošnje vode, odnosno neravnomerno tečenje u kanalizaciji,
- potreba zaštite terena od **moćućeg zagađenja kanalskim sadržajem**, potreba za visokim stepenom ekološke zaštite

Glavni delovi kanalizacionog sistema pod vakuumom su:

- **gravitacioni kućni priključci**, (vode od kuće do priključne jedinice) rade kao klasična kanalizacija;
- **priključne jedinice sa pneumatskim sifonskim ventilima**, su posebna okna u koja se sliva voda iz pojedinih kuća (može imati do 5 kućnih priključaka priključnoj jedinici), a odatle se, dejstvom sifonskih ventila, voda prebacuje u sistem cevi pod vakuumom, odnosno vakuumski glavni kolektor. Sifonski ventili na priključnim jedinicama se otvaraju pneumatski, samo pomoću energije vakuuma, koji se proizvodi u sabirnoj stanici;
- **vakuumski glavni kolektor**, (od PVC ili PE cevi) funkcioniše pod vakuumom od približno 0.60 bara i služi za transport kanalskog sadržaja od priključnih jedinica do sabirne stanice;
- **sabirna stanica** nalazi se na kraju vakuumskog kolektora i sakuplja kanalski sadržaj iz celog sistema u sabirni kotao. Iz sabirnog kotla vodu potiskuje crpka za vodu, zavisno od nivoa vode u kotlu, u drugi kanalizacioni sistem, recipijent ili na postrojenje za prečišćavanje. Samo je ovde potrebna električna energija u celom sistemu.



Slika 1. Shema vakuumske kanalizacije



Slika 2. Dispozicija vakuumske kanalizacije

1.1. Princip funkcionisanja sistema

Ukratko, vakuumski kanalizacioni sistemi funkcionišu po sledećem principu:

- Upotrebljena voda od svakog korisnika otiče gravitacijom, kroz gravitacione priključne jedinice, puneći rezervoar priključne jedinice do određenog nivoa.
- Porastom nivoa vode do određenog nivoa u rezervoaru priključne jedinice, vazduh potiskivan porastom nivoa vode sabija se u indikatorskoj cevi. Ovaj pritisak vazduha se prenosi kroz indikatorsku cev do senzora/kontrolera, koji je postavljen na gornjoj strani pneumatskog ventila. Pritisak vazduha, preko kontrolera/senzora aktivira klip ventila, pokreće ga pomoću podpritiska iz vakuumskog glavnog kolektora i omogućava vakuumu, koji se konstantno održava u cevovodu, da uđe u operator ventila.
- Operator ventila otvara pneumatski zatvarač i aktivira podesivi tajmer na senzoru/kontroleru. Tokom ciklusa otvaranja sadržaj vode iz rezervoara u priključnoj jedinici se prazni, a vreme ciklusa u kom ventil biva

otvoren traje približno 3 do 30 s. Vremenski ciklus otvaranja ventila se podešava tako da traje dvostruko duže od vremena koje je potrebno da sav sadržaj iz rezervoara usisa u cevovod. Svrha podešavanja dužine ciklusa je omogućavanje ulaska i vazduha u sistem, zajedno sa vodom, u potrebnom odnosu (voda/vazduh). Upotrebljena voda zajedno sa određenom količinom vazduha rapidno ulazi u sistem, odnosno granu vakuumskog cevovoda. Posle programiranog vremena klip zatvarača u pneumatskom ventilu se zatvara, pod dejstvom izjednačenja pritiska.

- Voda pomešana sa vazduhom (uobičajena razmera smeše je vazduh : voda = 6 : 1) se u cevima kanalizacionog sistema kreće tangencijalnom brzinom od 4,5 - 6,5 m/s. Voda se kreće po približno zavojnoj, spiralnoj putanji i pravi oblik šupljeg, cilindričnog čepa (helikoidalno strujanje). Pod uticajem trenja o zidove cevi, vodeni čep se rasformira i razlije po cevi, zadržavajući se u uvalama, odnosno vertikalnim krivinama cevovoda.

- Pri sledećem otvaranju ventila, u sistem ulazi novi vodeni čep, koji se ponovo razliva u uvale cevovoda. Nivo vode u uvalama se lagano izdiže, sve dok ne popuni ceo poprečni profil uvale. Time se stvara novi vodeni čep, koji je energija vakuuma u stanju da pokrene. Vodeni čepovi sačinjeni od prethodno sakupljene vode u uvalama cevovoda se pomeraju pod impulsom sile koju proizvodi vakuum, a on se oslobađa kada se pneumatski ventili otvore i propuste nov fluid u cevovod. Na ovaj način otpadna voda putuje sistemom cevi do sabirne vakuumske stanice u intervalima i taktovima, putem vodeno/vazdušnih čepova.
- Kada jedinica mase fluida stigne u vakuumsku sabirnu stanicu, ona ulazi u sabirni kotao (vakuumski rezervoar), odakle se radom pumpi za vodu/kanalski sadržaj transportuje u novi kolektor, postrojenje za prečišćavanje vode.
- U sabirnoj vakuumskoj stanici, na gornjoj strani sabirnog kotla, smeštene su vakuum pumpe, povezane preko kotla za vazduh u kome se stvara i održava podpritisk, radi izvlačenja vazduha i pravljenja podpritiska u sistemu, što dovodi do pokretanja fluida (smeše vazduh/voda) u cevima.

Centralni elementi vakuumskog kanalizacionog sistema su pneumatski sifonski ventil i vakuumska sabirna stanica. Pneumatski sifonski ventil, je zbog svog značaja, napravljen kao robustna, izuzetno otporna i sigurna komponenta. Kontroliše se pneumatski i aktivira bez ikakve potrebe za električnom energijom, mehaničkim komponentama i opremom.

1.2. Povoljnosti sistema pod vakuomom

Najbitnije prednosti opisanog sistema su:

- **Glavni kanali mogu da prate površinu terena**, male dubine ukopavanja cevi (samo potrebna dubina za zaštitu od mržnjenja), rovovi za polaganje cevi su plitki i uzani za razliku od klasičnih gravitacionih sistema i može se izbeći građenje ispod nivoa podzemne vode, troškovi iskopa smanjeni. Cevovodi sistema mogu biti **položeni i iznad i ispod nivoa terena**.
- **Brži iskop sa "lakšom" mehanizacijom**, lakše dovođenje terena u pređašnje stanje.
- **Fleksibilno postavljanje cevovoda, cevni materijal nije krut pa je manja mogućnost pucanja cevi**.
- **Nema crpnih stanica duž glavnog kolektora, sva električna oprema i njeno održavanje koncentrisani** su samo **na jednom mestu** u sabirnoj stanici u blizini naselja ili postrojenja za prečišćavanje, gde je inače potrebna električna energija. **Mogućnost transporta vode "uzbrdo"**, vakuumski sistemi podižu vodu kontinualno. **Mala potrošnja električne energije** (0.2-1 kWh/m³ otpadne vode).
- **Velike dužine grana kanalizacije** - grane vakuumske kanalizacije mogu biti do 4 km dužine. **Nema preopterećenja kolektorskih grana mreže**, sifonski ventili se otvaraju samo ako dođe do snižavanja podpritiska u sistemu.
- **Nema šahтова i revizionih okana** - za razliku od klasičnih sistema, vakuumska kanalizacija ne zahteva šahtove i revizionna okna bilo gde u sistemu. Brzine tečenja su velike, pa stoga praktično nema potrebe za održavanjem, jer nema istaložavanja i blokade cevovoda. Samočišćenje glavnih kolektora sistema je na visokom nivou. Sifonski ventili na priključnim stanicama nedozvoljavaju prolazak u sistem većem čvrstom otpadu, koji ostaje u rezervoaru u priključnoj jedinici, te se ovaj mehanički lako čisti. Ne postoji mogućnost ulaska većeg čvrstog otpada u kolektorski sistem.
- **Vertikalne revizije cevi na sistemu**, postavljaju se na približno svakih 100m i omogućuju ispitivanje cevovoda na čvrstoću i precizno utvrđivanje mesta eventualnih pukotina pomoću naduvanih lopti, a takođe i za merenje veličine podpritiska u cevovodu.
- **Mali prečnici cevi**, jer nije potrebno delimično punjenje, u njima se mogu održavati dovoljne brzine strujanja (4,5-6m/s) vode bez obzira na nagib kanala i bez obzira na nejednoliko doticanje vode, jer je strujanje na udar uvek istom brzinom. Klasični gravitacioni sistemi koriste najmanje prečnike Ø200mm za kolektore i Ø100mm za priključke na kolektore, vakuumski sistemi koriste Ø80mm ili Ø65mm respektivno. Time se **smanjuje koštanje cevovoda po dužnom metru**.
- **Lakoća prelaska preko prepreka** - vakuumska kanalizacija može prelaziti iznad ili ispod bilo kakve prepreke, kao što su drugi cevovodi ili otvoreni kanali.
- **Nema infiltracije u sistem**, pogodno za primenu kod terena sa visokim nivoom podzemnih voda. Zahvaljujući maloj dubini ukopavanja, značajno se smanjuje mogućnost infiltracije podzemnih voda. Eliminisanje infiltracije rezultira manjim kanalskim sadržajem i manjim potrebama za prečišćavanjem na postrojenjima za prečišćavanje.

- **Nema ekfiltracije iz sistema**, čak i u slučaju pojave pukotina, nemoguće je da voda napusti cevi pod vakuumom. Sistem je idealan za primenu u osjetljivim područjima prve zone sanitarne zaštite.
- **Mogućnost postavljanja vodovodnih i vakuumskih cevovoda u isti rov** - kako kod vakuumske kanalizacije nema ekfiltracije, dozvoljeno je postavljanje paralelnih vodovodnih i vakuumskih kanalizacionih cevovoda u isti rov.
- **Nema pojave hidrauličkog udara** - mešavina vazduh/tečnost u potpunosti eliminiše mogućnost pojave hidrauličkog udara.
- **Nezagadujući, bez nepoželjnih mirisa** - kako je sistem visoko aerisan tokom protoka kanalskog sadržaja, manje je toksičan, nema pojave stvaranja opasnih gasova i manji je nivo nepoželjnih mirisa kanalskog sadržaja. Naizmenično kretanje vodenih i vazdušnih čepova održava brzinu vode, spira talog i unosi kiseonik u upotreblijenu vodu.

Realizacijom ovakvih vakuumskih kanalizacionih sistema u uslovima gde ih je realno bolje primeniti, postižu se materijalne i finansijske uštede od 30-45% u odnosu na klasične gravitacione kanalizacione sisteme.

1.3. Opis sistema

Vakuumska kanalizacija koristi razliku u vazdušnom pritisku između atmosferskog pritiska na kućnim priključcima i vakuuma unutar sabirnih cevovoda za transport otpadne vode.

Gravitacioni kućni priključci, vode od kuća, odnosno korisnika do priključne jedinice i funkcionišu kao klasična gravitaciona kanalizacija. Važno je primetiti da se u ovim delovima sistema koristi gravitacioni tok, da bi se sakupila otpadna voda i odvela do sabirnog šahta-vakuumske priključne jedinice. **Priključne jedinice sa pneumatskim sifonskim ventilima**, su slične šahtovima klasične gravitacione kanalizacije, generalno idu do dubine $\approx 1.80\text{m}$ i sastoje se od šahta, rezervoara, ulaza za gravitacione kanalizacione priključke, pneumatskog (vakuumskog) sifonskog ventila i indikatorske cevi sa senzorom. To su posebna okna (šahtovi) u kojima se susiču kućni gravitacioni priključci, od kojih se uliva voda iz pojedinih kuća gravitacijom i sakuplja u rezervoaru priključne jedinice. Rezervoar priključne jedinice može biti različitog kapaciteta, od 45-200 litara, pa i više, zavisno od proizvođača. Gravitacionih priključaka na priključnoj jedinici može biti do 5, u ovim blokovima predviđeno je

3,4,5 u zavisnosti od rasporeda kuća na situaciji i vodeći računa o nekim budućim priključcima. U slučaju da korisnici imaju veću količinu otpadne vode mogu se koristiti nestandardni šahtovi i sa osam gravitacionih priključaka.

U svakoj priključnoj jedinici, predviđen je, po jedan pneumatski (vakuumski) sifonski ventil, koji omogućava vezu sa cevima vakuumskog sistema. U slučajevima budućih povećanja količina upotrebljene vode koja se sakuplja u rezervoaru priključne jedinice, može ih imati i dva ili tri.

Iz rezervoara priključne jedinice se dejstvom pneumatskih sifonskih ventila, voda zajedno sa vazduhom, usisava u sistem cevi pod vakuumom-grane cevovoda, odnosno vakuumski glavni kolektor. Sifonski ventili na priključnim jedinicama se otvaraju automatski, samo pomoću energije vakuuma (bez potrebe za bilo kakvim drugim izvorom energije), koji se proizvodi u sabirnoj stanici.

Vakuumski glavni kolektor predviđen je od **PE** cevi spojenih sučeonim zavarivanjem. U ovom sistemu predviđena su, četiri glavna kolektora, po jedan glavni kolektor za svaki blok, sa mrežom grana na koji su povezani kućni priključci. Ovi kolektori funkcionišu pod vakuumom od približno 0,60 bara i povezuje cevi grana vakuumske kanalizacije sa vakuumskom crpnom stanicom. Služi za transport kanalskog sadržaja od priključnih jedinica do sabirne stanice.

Cevi kolektora su prečnika od $\varnothing 110$ do $\varnothing 250$. Prosečna dubina ukopavanja cevovoda u sistemu je 1,40m.

U ovom sistemu pad kolektora je od 0,2% do 0,7% u zavisnosti od prečnika cevi i vodeći računa da minimalno ukopavanje bude 0,8m.

Testerasti zub profil održava kanale plitko i projektovan je da obezbedi kanalizaciju od začepljenja pri periodima malih protoka kad je sadržaj u mirovanju. Podizanja minimiziraju dubinu rova. Podizanje je jednostavno 2 zgloba od po 45 stepeni i pravi komad cevi. Sadržaj će stajati na ovim niskim mestima dok se drugi ventili uzvodno ne otvore. Za prečnike kolektora do $\varnothing 110\text{mm}$ zub je 300mm, a preko je $\varnothing 450\text{mm}$. Zubi su projektovani na minimalnom rastojanju od 50m, a na maksimalnom od 150m, što se uklapa u preporučena rastojanja od min. 6m, odnosno max. 150m. Priključenja cevi grana vakuumske kanalizacije na vakuumski glavni kolektor su predviđena u drugoj polovini rastojanja između dva testerasta zuba.

Sektorski zatvarači su predviđeni ispred uliva svake grane u kolektor kao i na svakoj grani pre uliva u kolektor, radi izolacije sektora sistema pri intervencijama ili havarijama.

Predviđene su revizije cevi na svakih 100m kojima se vrši kontrola sistema.

Vakuumska sabirna (crpna) stanica je srce celog sistema. Slična je crpnoj stanici kod klasičnih gravitacionih kanalizacionih sistema.

Oprema vakuumske sabirne stanice se sastoji od: sabirnog kotla (rezervoara), kotla za vazduh u kome se stvara i održava podpritisak, vakuumske pumpe (kompresora), pumpe za vodu (kanalski sadržaj) i kontrolnih uređaja, odnosno kontrolnog punkta za rad pumpi (elektro-tabli za upravljanje). Ugrađuje se i pripralni generator koji održava vakuumski kanalizacioni sistem u radu za vreme produženih prekida energije. Automatski telefonski birač upozorava operatora na vanredne uslove rada sistema.

Vakuumske pumpe smo dimenzionisali na osnovu ukupnog protoka vazduha. Pored vakuumske sabirne stanice da ne bi došlo do širenja neprijatnih mirisa ugrađen je i filter za vazduh, koji je spojen sa vakuum generatorom.

HIDRAULIČKI PRORAČUN

U vakuumskoj fekalnoj kanalizaciji se koriste cevi od PVC-a i PE.

Tabela 1. Preporučeni protoci za PE cevi

Nazivni prečnik cevi	Unutrašnji prečnik	Preporučeni protok
DN	mm	l/s
110	96	2.0
125	110	2.9
160	141	5.5
200	176	9.8
225	198	13.4
300	277	32.4

VAKUUM GENERATOR

Vakuumski sistem se dimenzioniše za odnos vazduh-tečnost (tabela 2) prema najdužem glavnom vakuumskom kolektoru. Ovaj odnos je bitan kod dimenzionisanja vakuum generatora.

Tabela 2. Preporučeni odnosi vazduh-tečnost

Najduži glavni vakuumski cevovod	Odnos vazduh-tečnost
0-900	5:1
>900-1500	6:1
>1500-2100	7:1
>2100-3000	8:1
>3000-3600	9:1
>3600	11:1

$$Q_{vg} = 3.6 \times A \times Q_a \times K_h \times M \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

A - odnos vazduh tečnost.

Q_a - srednji dnevni protok

K_h - koeficijent neravnomernosti

$K_h = 3$

M - mašinski faktor

M = 1,33

KANALIZACIONA FEKALNA PUMPA

Kapacitet fekalne pumpe se dimenzioniše kao i kod klasične kanalizacije.

DIMENZIONISANJE VAKUUMSKOG REZERVOARA

Korisna zapremina vakuumskog rezervoara (V_o) jednaka je količini dotoka pri radu vakuumskog generatora od 3 minuta.

$$V_o = 3 \times 60 \times Q_{fp}$$

Ukupna zapremina vakuumskog rezervoara

$$V_u = 3 \times V_o$$

PRORAČUN CIKLUSA VAKUUM GENERATORA

Ciklus predstavlja vreme između uključenja i isključenja generatora:

$$T = [(2/3) \times V_{vk} + (V_u - V_o)] / Q_{vg} \quad (\text{min.})$$

V_{vk} - zapremina vakuum kanalizacije (m^3)

V_u - ukupna zapremina vakuumskog rezervoara (m^3)

V_o - korisna zapremina vakuumskog rezervoara (m^3)

Q_{vg} - kapacitet vakuum generatora



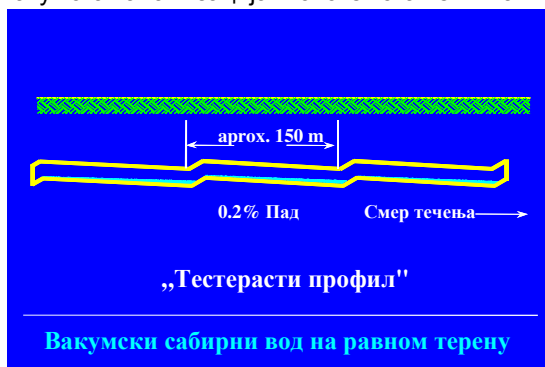
Slika 3. Vakuumski ventil

Тестерасти зуб-профил



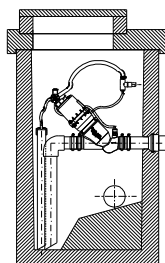
Slika 4. Testerasti zub

Вакумска канализација – системска техника



Slika 5. Podužni profil vakuumske kanalizacije na ravnom terenu

3" (76.2mm)-Вакумски шахт Тип ЕВЗ



3"-Вакумски шахт

- Резервоарски капацитет у смислу EN1091 у сабирном септику
- Може да издржи саобраћај тешких камиона (SLW 60)
- Сигурност у односу на потисак

Slika 6. Vakuumski šaht

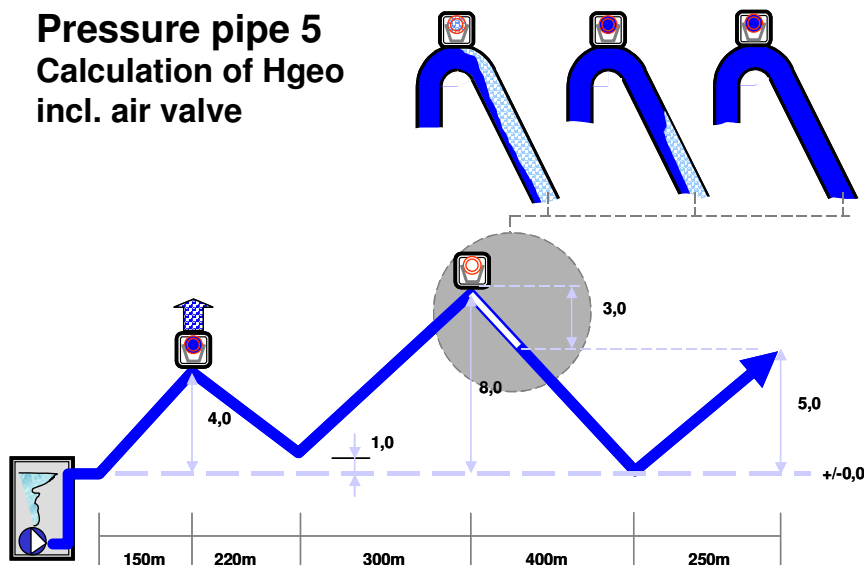
2. KANALIZACIJA POD PRITISKOM

U svakoj kući ili iz više kuća otpadna voda gravitaciono dolazi do sabirnog šahta. U njemu se nalazi pumpa sa seckalicom za otpadne materije ispred radnog kola. Ovo omogućuje da su potisni cevovodi malog prečnika D 50mm na pr. (PE ili slično). Ovo omogućuje plitke i uske rovove pa je minimizirana radna snaga pri izradi mreže. Smanjuje se broj revizionih okana i pumpnih stanica na mreži. Eliminiraju se infiltracija podzemne vode pa se smanjuje hidrauličko opterećenje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda.

Pomoću teorije verovatnoće analizira se mogućnost jednovremenog uključenja više pojedinačnih crpnih stanica.

Na slici 7 je prikazan uzdužni profil potisnog cevovoda gde se ukazuje na potrebu ugradnje vazдушnih ventila za otpadnu vodu.

Pressure pipe 5 Calculation of H_{geo} incl. air valve



Slika 7. Uzdužni profil potisnog cevovoda



Slika 8. Instalacija sabirnog šahta sa kanalizacionom pumpom opremljenom seckalicom

3. ZAKLJUČAK

Da li primeniti kalasični kanalizacioni sistem ili kanalizaciju pod pritiskom ili vakuumsku kanalizaciju može se odlučiti nakon tehno-ekonomske analize. Ova analiza osim klasičnih metoda (najmanje investicije ili najmanja cena odvođenja kubnog metra otpadne vode) treba da povede računa i o neophodnosti obuke radnika

na održavanju nestandardnih postupaka odvođenja otpadnih voda.

LITERATURA

- [1] M. Milojević: Kanalisanje naselja, Predavnja na građevinskom fakultetu u Subotici (skripta), 1998.

NON-STANDARD SEWAGE SYSTEMS: VACUUM AND PRESSURE SEWAGE

by

Dejan LJUBISAVLJEVIĆ, Građevinski fakultet Beograd
Marko OBRENOVIĆ, Projektomontaža Beograd

Summary

Sewage systems, from the standpoint of the regime of flow channel content in the pipes, are divided into:

- Gravity: classic sewage systems
- Pressure: sewage systems under pressure and vacuum sewage systems.

Sewer systems under pressure are developed as a result of the need to overcome specific technical problems and the need for economical and rational solutions of sewerage in settlements.

Key words: vacuum sewerage, sewage under pressure

Redigovano 11.11.2010.