



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

EHITUSE JA ARHITEKTUURI INSTITUUT

VAAKUMKANALISATSIOONI RAJAMISE JA EKSPLUATATSIOONI TASUVUSANALÜÜS

VACUUM SEWERAGE CONSTRUCTION AND
MAINTENANCE COST-BENEFIT ANALYSIS

EA60LT

Magistritöö

Üliõpilane: Mihkel Vingal

Üliõpilaskood: 083155EAKI

Juhendaja: Karin Pachel

Tallinn, 2017.a

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Sisukord

Sissejuhatus	5
1. Vaakumkanalisatsiooni iseloomustus	
1.1 Vaakumkanalisatsiooni ajalugu	7
1.2 Vaakumkanalisatsiooni süsteemi kirjeldus	11
1.2.1 Vaakumkaev	12
1.2.2 Vaakumklapp	14
1.2.3 Vaakumtorustik	18
1.2.4 Vaakumpumpla	21
2. Isevoolsekanalisatsiooni iseloomustus	
2.1 Isevoolsekanalisatsiooni ajalugu	26
2.2 Isevoolsekanalisatsiooni süsteemi kirjeldus	27
2.2.1 Isevoolsekanalisatsiooni torustik	28
2.2.2 Kanalisatsioonikaev	31
2.2.3 Kanalisatsioonipumpla	34
3. Analüüsi aluseks olevate piirkondade määramine ning iseloomustus	
3.1 Viimsi Vesi AS vaakumkanalisatsioonitorustik Lubja piirkonnas	39
3.2 Viimsi Vesi AS vaakumkanalisatsioonitorustik Leppneeme piirkonnas	40
3.3 Viimsi Vesi AS iseoolne kanalisatsioonitorustik Leppneeme piirkonnas ...	42
3.4 Strantum OÜ vaakumkanalisatsioonitorustik Vääna-Jõesuu piirkonnas	42
3.5 Strantum OÜ iseoolne kanalisatsioonitorustik Suurupi piirkonnas	42
4. Vaakumkanalisatsiooni rajamise ja ekspluatatsiooni tasuvusanalüüs	
4.1 Ehitusmaksumuse analüüs	46
4.2 Reovee- ja vaakumpumpla elektritarbimise analüüs	48
4.3 Infiltratsioon	50
4.4 Isevoolse ja vaakumkanalisatsiooni hooldustööd	51

4.5 Viimsi Vesi AS seisukoht vaakumkanalisatsiooni tasuvuse ja	
toimivuse osas	52
4.6 Strantum OÜ seisukoht vaakumkanalisatsiooni tasuvuse ja	
toimivuse osas	53
4.7 Lühikokkuvõte tasuvusanalüüsist	54
Kokkuvõte	56
Võõrkeelne kokkuvõte	58
Kasutatud allikad	59

Sissejuhatus

Linnastumine ning tiheasustusalade suurenemine on sundinud inimesi üha rohkem mõtlema reovee kogumisele, käitlemisele ning selle ohutule loodusesse juhtimisele. Reoveesüsteemid on oluliseks osaks kompromissist ökoloogia, inimese heaolu, tehniliste võimaluste ja ressursside vahel. Sellest lähtuvalt on vaja igapäevaselt tegeleda reovee hulga ja selles sisalduva reostuse ning energiakulu vähendamisega [2].

Kanalisatsioonisüsteemide osad saab jagada:

- Sisekanalisatsioon, kuhu kuuluvad hoonetes paiknevad reoveeneelud ja torustik vee juhtimiseks väliskanalisatsiooni.
- Väliskanalisatsioon, kuhu kuulub torustik reovee kogumiseks ning juhtimiseks eemal asuvatesse puhastusseadmetesse.
- Puhastusseadmed reovee puhastamiseks, sette töötlemiseks ja desinfitseerimiseks ning heitvee juhtimiseks veekogusse [3].

Lähtudes kanalisatsiooni juhitava vee iseloomust eristatakse nelja kanalisatsioonisüsteemi:

- Ühisvoolne kanalisatsioon- kanalisatsiooni reovee ja sademevee ärajuhtimiseks samas torustikus.
- Lahkvoolne kanalisatsioon- kanalisatsiooni, mis tavaliselt koosneb kahest torustikuvõrgust: üks reovee ja teine sademevee jaoks.
- Poollahkvoolne kanalisatsioon- reoveed ja sademeveed voolavad eraldi torustikes ning peatorustik reoveepuhastusjaama on ühisvoolne [23].

Lähtudes kanalisatsioonitorustiku tehnilisest lahendusest eristatakse kolme kanalisatsioonisüsteemi:

- Isevoolne kanalisatsioon
- Survekanalisatsioon
- Vaakumkanalisatsioon [1]

Lähtudes varasemast kogemusest ja praktikast on Eestis enim levinud iseoolne kanalisatsioonitorustik, mis on omakorda kombineeritud survekanalisatsiooniga. Iseoolne kanalisatsioon kombineerituna survekanalisatsiooniga on küll üks töökindlamaid ning maailmas väga levinud tehnilisi lahendusi, kuid selle rajamine võib olla liialt keerukas ning ressursi nõudev. Tähtsal ning eelkõige ehitusmaksumust mõjutaval kohal on piirkonna maapinna reljeef, geoloogia, olemasolevad tehnovõrgud ning eelvoolude vahemaa. Hoolduskulusid mõjutavad piirkonna ligipääsetavus, reoveepumplate arv ning nende energiatarve. Vaakumkanalisatsiooni puhul on võimalik ehitusmaksumust vähendada maapinna ebaühtlase reljeefi puhul, raskete geoloogiliste tingimuste korral ning säästa seeläbi hoolduspunktide arvelt.

Eesti Vabariigis on viimasel kümnendil rajatud ja rekonstrueeritud Euroopa Liidu toetusel ühisveevärgi- ja reoveetorustikke 470 miljoni euro eest eri piirkondades. Käesoleva töö eesmärgiks on uurida Eesti Vabariigis rajatud reovee vaakumkanalisatsiooni ehituse ja eksploatatsiooni kuluefektiivsust. Töö analüüsiandmete allikateks on Viimsi ja Harku vallas rajatud vaakumkanalisatsiooni torustikuga kaetud tarbijate alad ning nendega võrreldavas suuruses iseoolse ja survetorustiku kanalisatsiooniga kaetud alad.

Eesmärgist tulenevalt on uurimusküsimusteks:

- Millised tegurid või tingimused mõjutavad vaakumkanalisatsiooni ehitusmaksumust?
- Kas vaakumkanalisatsiooni eksploatatsiooni kulud on väiksemad ühe kliendi kohta võrreldes iseoolse kanalisatsiooniga?

1. Vaakumkanalisatsiooni iseloomustus

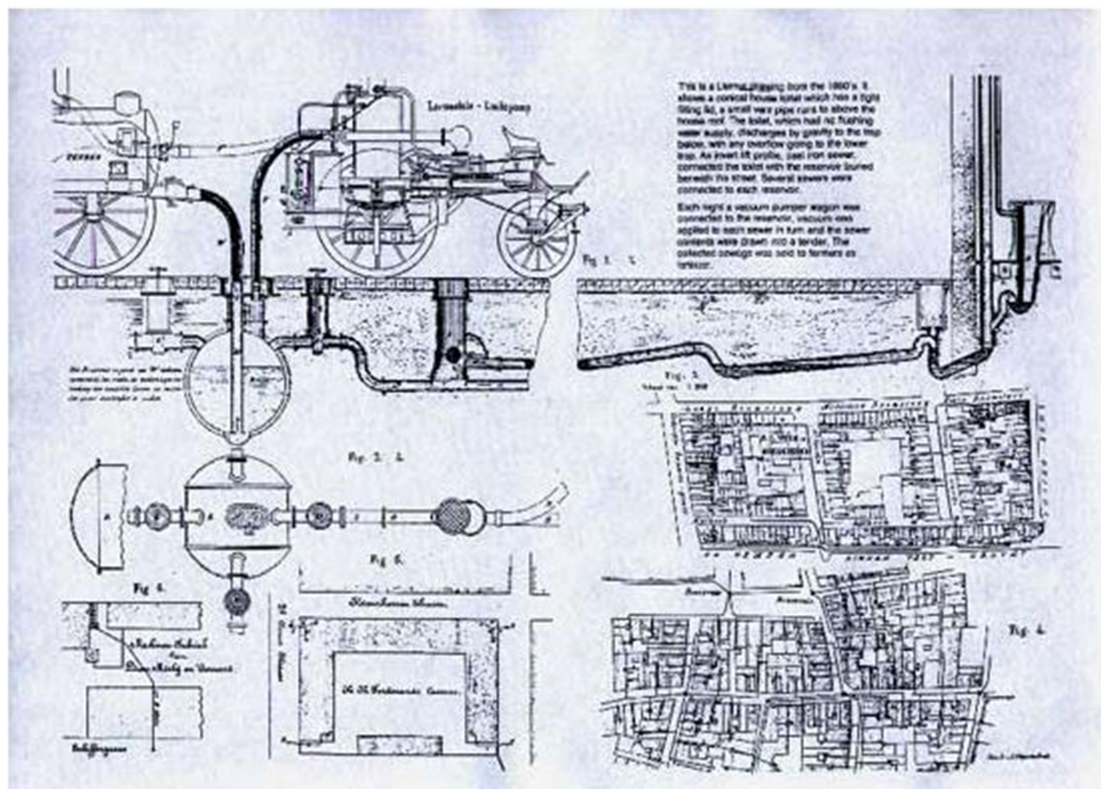
1.1 Vaakumkanalisatsiooni ajalugu

Pneumaatiliste ja mehaaniliste seadmete abil reovee kogumist tiheasustusaladelt tutvustati esmakordselt 19. sajandi teises pooles. Aastal 1866 esitles pneumaatilist süsteemi esmakordselt Hollandi teadlane Charles Thieme Liernur Harlemi linna konverentsil. Esimesed eksperimentaalsüsteemid loodi Leidenis 1871.a, Amsterdamis 1872.a ja Dordrechtis 1873.a. [4]. Charles T. Liernur patenteeris pneumaatilise reovee kogumissüsteemi Ameerika Ühendriikide patendiametis 13.09.1892.a. Selle patendiga määratleti pneumaatiline süsteem tervikuna, sealhulgas ka vaakumklapp kui Charles T. Liernur leiutisena [5].

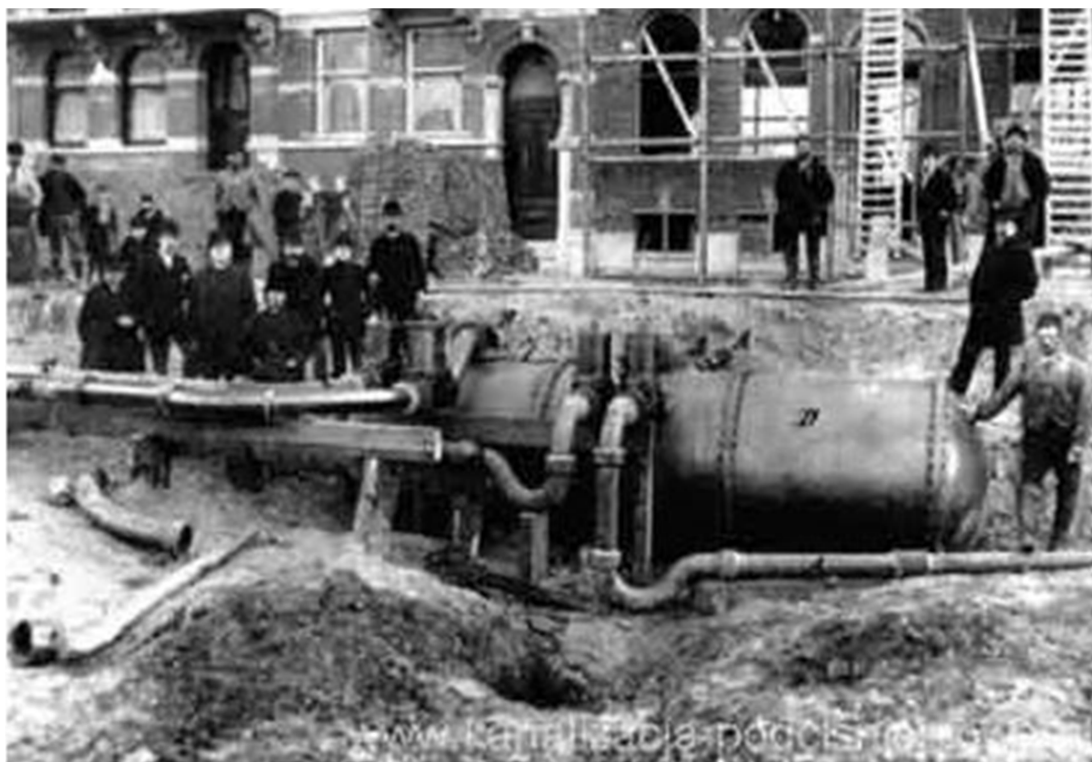
Charles T. Liernur-i süsteem koosnes maa-alusest torustikust mis ühendas hooneid rajatud vaakumjaamaga. Alarõhk vaakumjaamas tekitati aurugeneraatoriga. Peale reovee kogumist vaakumjaama juhiti see sealt edasi eelvooluni kasutades survekanalisatsiooni. Ka esimeste süsteemide loomisel peeti suurimaks eeliseks süsteemi hermeetilisust, isepuhastusvõimet ning suurt tööulatust ühe vaakumjaama kohta [4].

Esimeseks suuremaks ning tehniliselt toiminud lahenduseks peetakse 1872. aastal Amsterdamis rajatud pneumaatilist süsteemi (Joonis 1 ja 2). Mööda malmist torusid juhiti hoonetes tekkinud reovesi vaakumjaama, suunavaks jõuks seejuures alarõhk. Alarõhk tekitati aurugeneraatori abil, mille transpordiks kasutati hilisemal ajal omakorda esimesi autosid (Joonis 3). Kogu süsteemi keerulise iseloomu tõttu oli selle rajamismaksumus ka sel ajal kõrge ning üheks põhjuseks mis takistas levikut [4].

Charles T. Liernuri süsteemi kasutati hilisemal ajal eksperimentaalselt avatud kanalite sulgemiseks ka Hanau, Praha, Milano, Cologna, Berliini ja Londoni linnas. Siiski oli süsteemi levik lühikese elueaga selle suure rajamismaksumuse tõttu [6].



Joonis 1. Charles T. Liernur'i vaakumsüsteemi põhimõtteline skeem



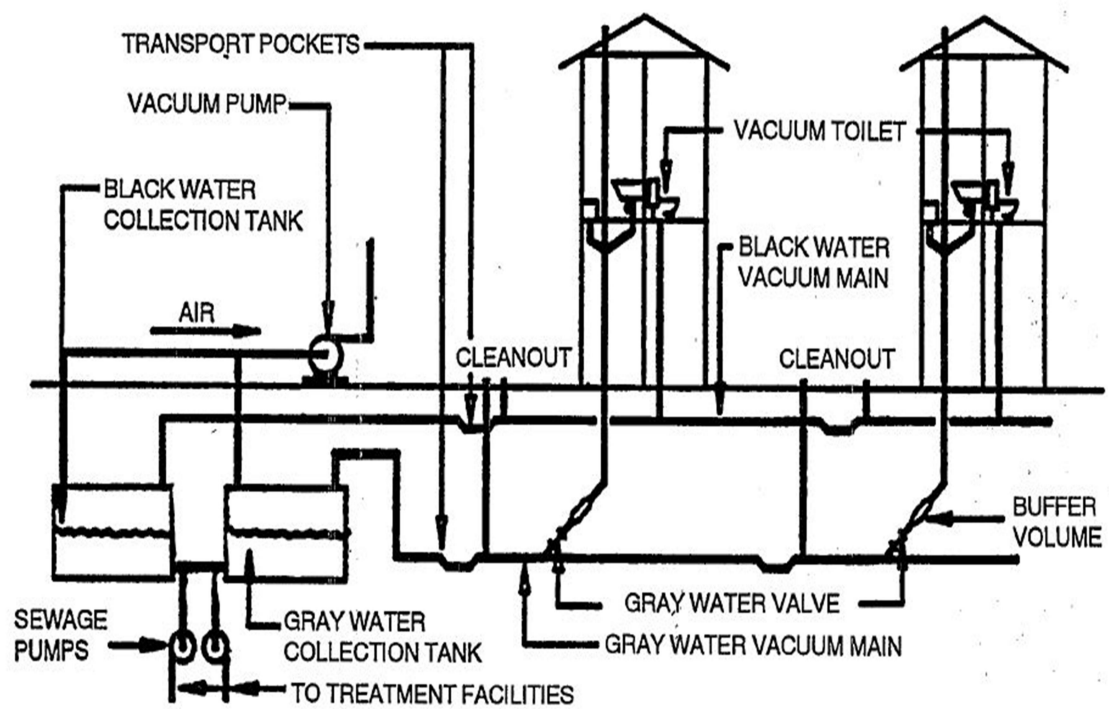
Joonis 2. Vaakumjaama paigaldus Amsterdamis 1872.a



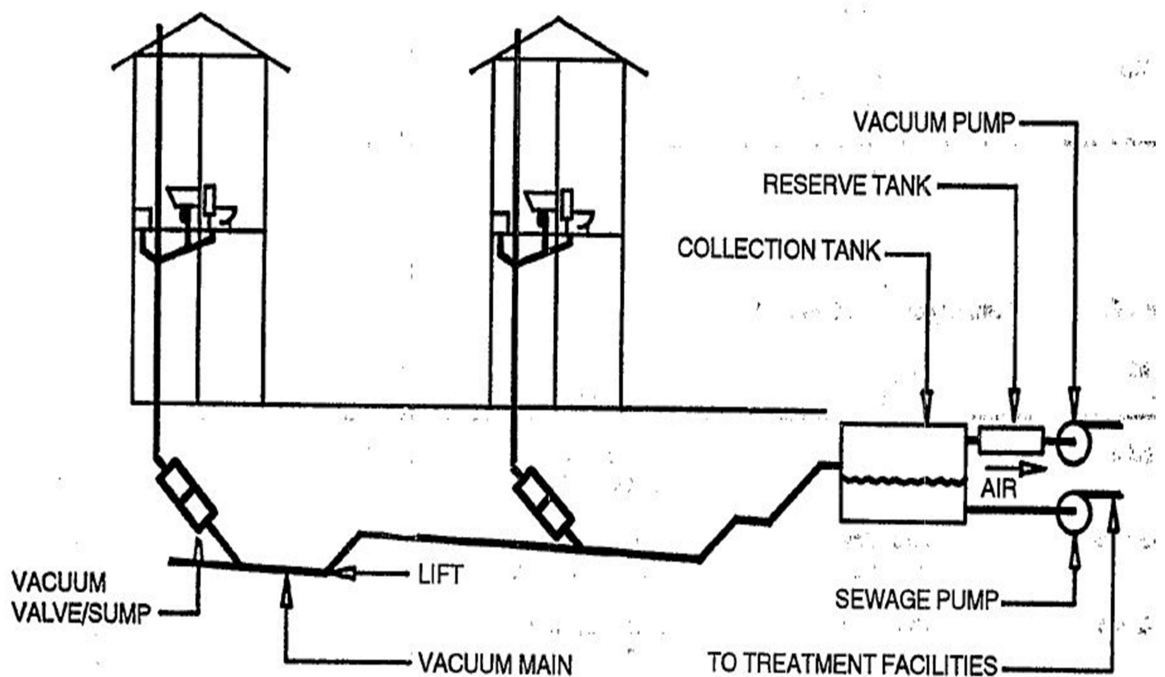
Joonis 3. Aurugeneraator/vaakumpump autol

Rootsi inseneri Joel Liljendahl firma (tuntud hilisemal ajal Electrolux'i nime all) hakkas vaakumsüsteemil põhinevat reovee ärajuhtimist uurima Rootsis 1959.aastal. Joel Liljendahl'i süsteem võeti kasutusele esmakordselt Bahama-l (Joonis 4). Selles süsteemis käsitleti „halli“ ja „musta“ reovett eraldi ning juhiti mööda erinevaid torustikeliine. Üldjuhul tähendas see, et WC-potist tulev reovesi juhiti ühes torustikus ja pesemisvesi ning sademevesi teises torustikus. Süsteemis oli kasutusel ka eraldi vaakumklapiga WC-pott mis aitas vähendada kasutatava vee hulka. Just Bahama näitel oli eriliselt hästi näha vee ja energia säästlikust kogu süsteemi puhul teades, et joogivee ressursid selles piirkonnas on piiratud [7].

Peale Electrolux'i on suurima arengu ning müügitöö teinud ettevõtted Colt-Envirovac, Airvac, Quavac ja Flovac. Airvac oli esimestest tootjatest, kes kasutas vaakumsüsteemi puhul ühte torustikku- eraldamata seda reovee päritolu järgi. Airvac'i süsteem lubab hoone torustikud paigaldada vastavalt vajadusele ning juhtide segunenud reoveed vaakumklapi juurde. Vaakumklapp avaneb juhul kui selle mahutis on kogunenud vedeliku hulk 38 liitrit, juhtides selle ühekorraga peatorustikku (joonis 5). Airvac'i esimene süsteem paigaldati Virginia osariigis 1970. aastal. See süsteem tagas läbimurde süsteemi lihtsuses ning vähendas seetõttu oluliselt rajamismaksumust. Analoogne süsteem on osutunud töökindlameiks ning oma lihtsa ülesehituse tõttu levinud tänapäevani [7].



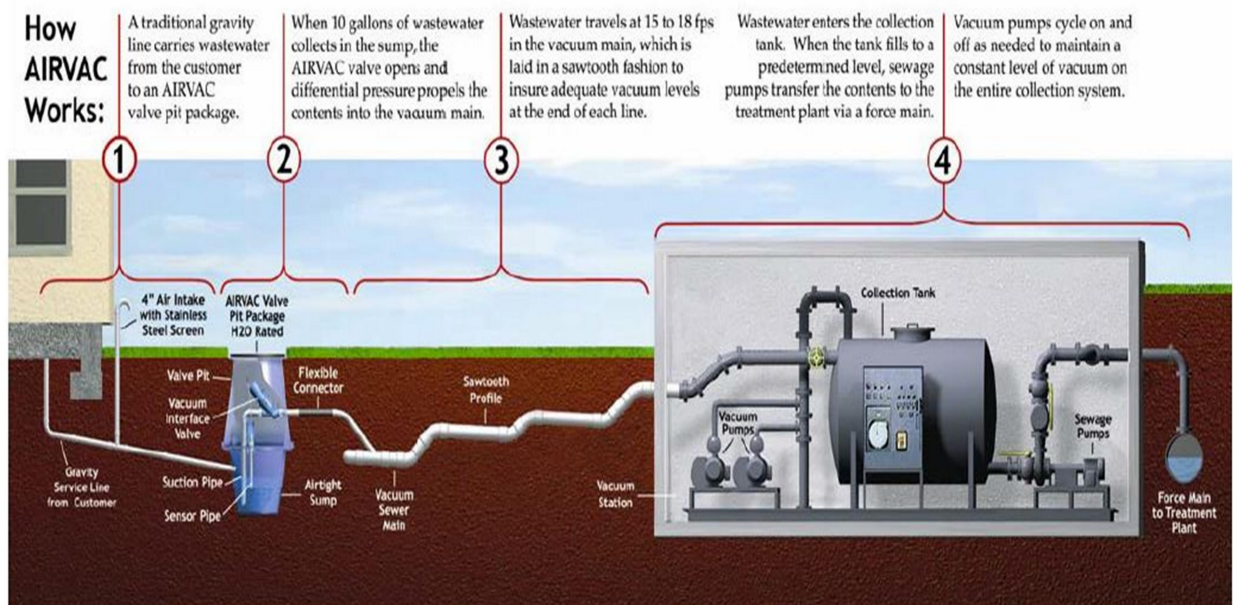
Joonis 4. Joel Liljendahl'i vaakumsüsteemi põhimõtteline skeem



Joonis 5. Airvac vaakumsüsteemi põhimõtteline skeem

1.2 Vaakumkanalisatsiooni süsteemi kirjeldus

Vaakumkanalisatsioon on mehaaniline süsteem reovee transportimiseks. Peatorustikus liigub reovesi mitte gravitatsiooni, vaid vaakumi (alarõhu) abil. Selleks kasutatakse vaakumpumpasid mis paiknevad ühes tsentraalses vaakumjaamas. Süsteemi toimivuse tagavad igas liitumispunktis olevad vaakumklapid. Vaakumklapp avaneb juhul kui kaevu on kogunenud piisav hulk reovett- klapp avaneb ning õhurõhkude vahe tõttu imetakse see peatorustikku. Vaakumklapp sulgub kohe pärast kaevu tühjendamist, et tagada süsteemis piisav alarõhk. Vaakumi toimet kandub vaakumkaevust väljunud reovesi mööda torustikku vaakumpumpla reservuaari (Joonis 6), kust see juhitakse edasi eelvooluni [8].



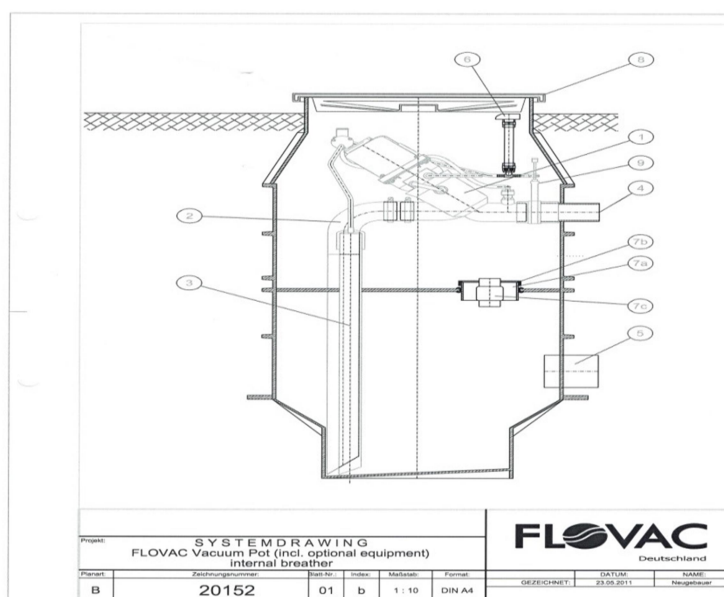
Joonis 6. Vaakumkanalisatsiooni süsteemi (Airvac) põhimõtteline skeem

1.2.1 Vaakumkaev

Vaakumkaev on vajalik kinnistul tekkiva reovee kogumiseks ning

Vaakumsüsteemi juhtimiseks. Ei ole tehnilist vahet, kas kinnitult pärinev reovesi juhatakse vaakumkaevu isevoolset või survetorustiku kasutades. Vaakumkaev on üldjuhul valmistatud polüetüleen või klaaskiud materjalist tagades sellega kiire ning kerge paigaldustöö. Erandjuhtudel valmistatakse ka betoonist korpuseid tagamaks töökindlust keerulistes pinnasetingimustes [9].

Vaakumkaev koosneb kahest kambrist- ülemises osas paikneb vaakumklapp ning alumises sissevool. Alumine kamber täidab ka ühtlasi mahuti rolli reovee kogumiseks (Joonis 7). Alumise kambri maht on vahemikus 35-300 liitrit sõltuvalt kinnistu vooluhulgas. Suuremate vooluhulkade puhul kasutatakse ka kinnistul lisamahutit- liialt suur vooluhulk tiptundidel põhjustab tiptundidel liialt tihedat vaakumklapi avamist mis omakorda häirib vaakumsüsteemi optimaalset tööd. Vooluhulga tiptundidel kogunev reovesi ühtlustatakse selles mahutis ning vaakumkaevu jõuab optimaalne ja ühtlane vooluhulk. Vaakumsüsteemi toimimiseks on tähtis jälgida sissevoolu piisavat tuulutust, kuna vaakumsüsteemi imetakse vaakumklapi avanemisel lisaks reoveele 40-60 liitrit õhku. Alumises kambris paikneb ka 50mm läbimõõduga indikaatortoru mis reovee taseme kerkides tekitab rõhu vaakumklapi diafragmale, mis seetõttu avaneb [8].



Joonis 7- Flovac'i vaakumkaevu tüüpjoonis

Kaevu ülemine ja alumine kamber on süsteemi hermeetilisuse tagamiseks suletud avadega. Kui kaevuluuk on suletud õhukindlalt tuleb sügavamate kaevude puhul tagada ka ülemise kambri ventilatsioon eemaldamaks võimalikud ohtlikud gaasid. Vaakumkaevude tootja Flovac pakub vaakumkaevusid erinevates kõrgustes sõltuvalt kinnistult ärajuhitava reoveetoru sügavusest. On lahendusi, kus vaakumklapp koos anduriga asetseb eraldi madalamas kaevus tagamaks hoolduse lihtsust. Vaakumkaevud projekteeritakse üldjuhul haljasalale, vältides sellega liikluskoormuse mõju kaevu korpusele. Kui on vajalik vaakumkaevu paigaldamine sõiduteele või muule koormusega alale siis tuleb kasutada betoonist koormustasandusplaati kaevu ülemise kambri kaitseks ning kaevuluugina malmist toodet (joonis 8) [9].



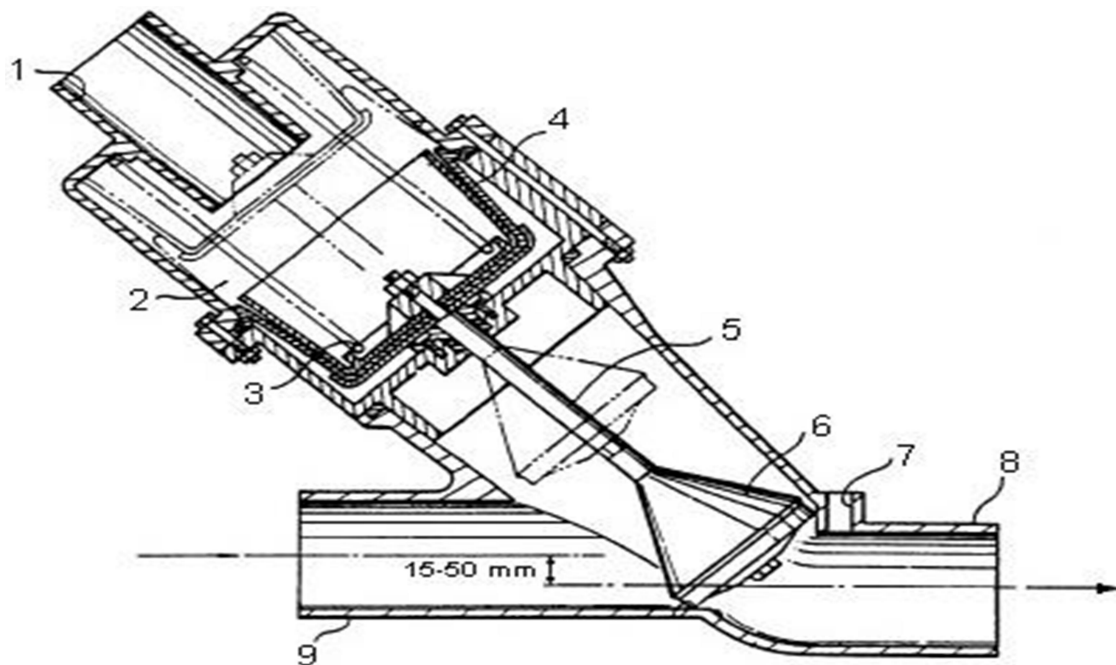
Joonis 8. Vaakumkaevud erinevate koormustega aladel

1.2.2 Vaakumklapp

Vaakumklapi mitmetest tüüpidest enamlevinud on diafragmaklapp [10]. Kuna see on ka Eestis ainsana kasutusel olev tüüp siis peatume sellel.

Kaldmembraanklapi (Joonis 9) põhielementideks on:

- vaakumi sisendava (1)
- õhukindel kamber (2)
- vedru (3)
- diafragma/membraan (4)
- diafragmavars (5)
- klapp (6)
- kontrolleri vaakumtoru sisend (7)
- vaakumtoru (8)
- atmosfääri rõhuga toru (9)

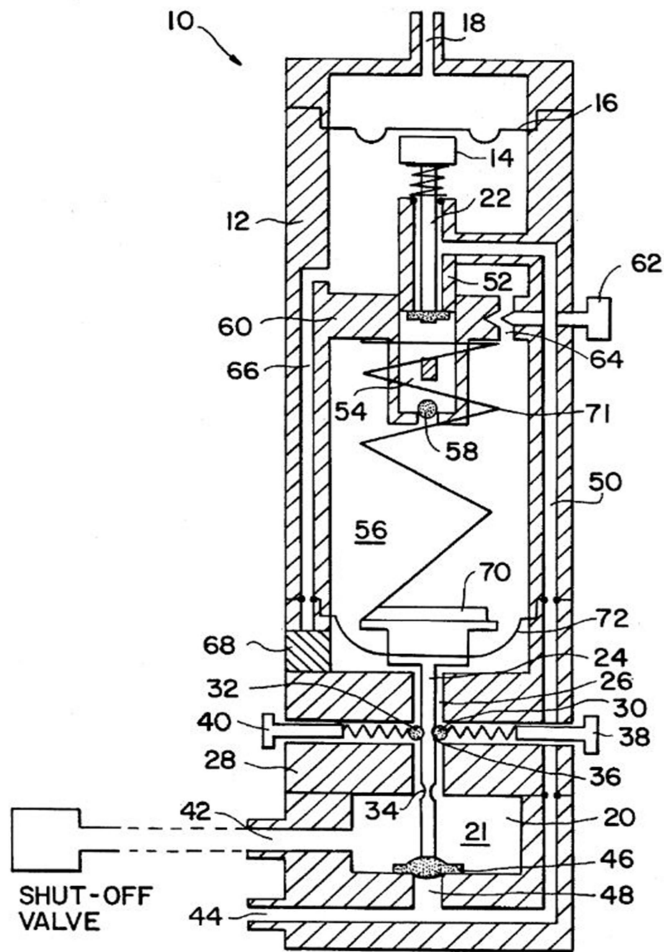


Joonis 9. Membraanklapi skeem [11]

Klapi avanemine toimub läbi kontrolleri vaakumi abil ja sulgemine vedru abil. Diafragma jagab vaakumklapi kaheks sektsioonis erinevate rõhkudega- vaakum ja atmosfääri rõhuga osa. Vaakumi tekkimisel sisendavas tõuseb diafragmavars koos diafragma ja klapi üles ja vaakumklapp tervikuna on avatud asendis. Kui vaakumsektsiooni diafragmast üleval vaakumit enam ei teki, sulgeb vedru klapi uuesti. Rõhkude võrdsustamiseks vaakumkambris ja atmosfääri sektsioonis on need ühendatud voolikuga [11].

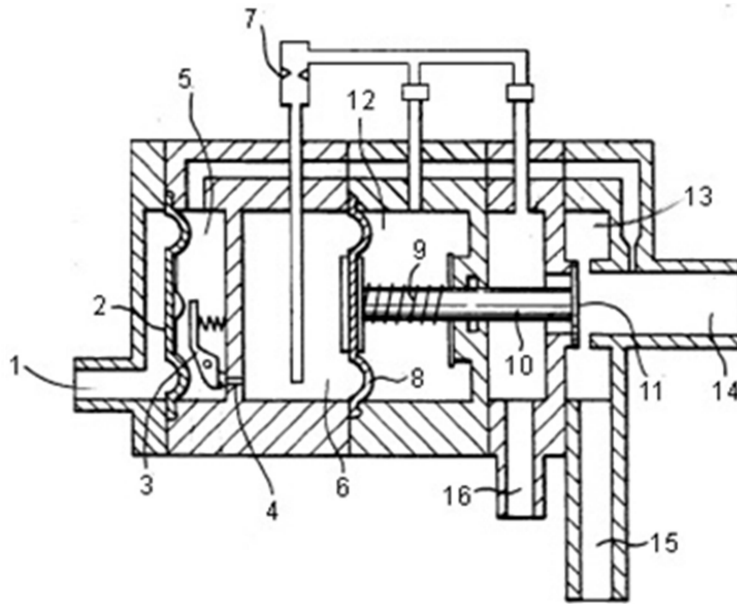
Lisaks on tootmises ka püstmembraanklapp mis on sarnase tööpõhimõttega. Erinevus kaldmembraanklapiga seisneb selles, et eraldi sulgurklapp puudub. Kasutatav diafragma on elastne ning suletud asendi korral hoiab see sektsioonid eraldatuna. Samuti on kasutusel lihtsaima konstruktsiooniga voolikklapid. Korpusesse paigaldatud elastne voolik avaneb atmosfääri rõhu suurenedes ning tekib äravool vaakumsektsiooni poolele. Kui klapis rõhk ühtlustub atmosfääri omaga siis voolik sulgub. Vaakumklappe toodetakse nimiläbimõõdudes DN50, DN65 ja DN75- tagades vooluhulga kuni kümme liitrit sekundis [10].

Vaakumklapi kontrollid jagatakse ehituse poolest kaheks erinevaks tüübiks- püst- ja rõhkcontrollerid. Erinevate rõhkude mõjul avab controller vaakumklapi või sulgeb selle. Controller on ühendatud süsteemi vaakumsektsiooniga, et tagada juhtimiseks vajalik vaakum. Välisõhuga on controller ühendatud läbi vaakumkaevu ventilatsiooni või läbi kaevu-luugi. Püstcontroller koosneb kahest klapist (Joonis 10). Püstcontroller (Joonis 10) koosneb korpusest (12), esimesest nõelklapist või päästikust (14), diafragmast (16) mis käitub vastavalt ülemise osa rõhule. Ava (18) on ühendatud indikaatoritoruga mis omakorda tekitab diafragmale rõhu sõltuvalt vaakumkaevu alumises kambris olevast reovee hulgast. Nõelklapi (14) alumisse asendisse liikumisel avaneb süsteem vaakumile läbi kanali (44). Tekkinud vaakum kambris (56) avab teise nõelklapi (70), mis omakorda avab vaakumklapi. Vastavalt eelpool kirjeldatule vaakumklapp avaneb ning reovesi juhitakse vaakumtorustikku. Reovee vähenev hulk vaakumkaevu kogumismahutist mõjutab õhusurvet diafragmale (16) mis omakorda laseb nõelklapil (14) liikuda ülemisse asendisse. Samaaegselt sulgub ka alumine nõelklapp (70), mis omakorda tekitab ka vaakumklappi sulgemise vaakumi puudumise tõttu. Vaakumklapp ei ole tavapäraselt rohkem avatud kui kümme sekundit [12].



Joonis 10. Vaakumklapi püstkontroller [12].

Kaldvaakumklappide puhul kasutatakse seadme mõõtmeid jälgides üldjuhul rõhtkontrollerit, mis on püstkontrollerist väiksemate mõõtudega. Rõhtkontroller on jagatud kolmeks eraldi kambriks- äärmised kambrid (5,13) on atmosfääri rõhuga ning keskmine (12) on vaakumi alarõhuga. Vaakumkaevu mahutiga ühendatud indikaatortoru tekitab rõhu membraanile (2). Päästik (3) avanedes pääseb õhk ligi keskmisesse õhukindlasse kambriksse ning membraani (8) erinevatel külgedel tekib rõhkude erinevus. Membraan avaldab survet nõelklapile (9) mis omakorda suleb välisõhu ligipääsu kanali (14) vaakumklappi (15). Seejärel avaneb vaakumklapp ning toimub reovee äravool vaakumkaevu mahutist. Indikaatortorus rõhu vähenedes sulgub päästik (3) ning vaakumklapp sulgub. Nõelklapp (9) liigub oma algsesse asendisse tagasi [7].



Joonis 11. Vaakumklapi rõhtkontroller [7].



Joonis 12. Vaakumkaev koos vaakumklapi ning kontrolloriga

1.2.3 Vaakumtorustik

Vaakumtorustik valmistatakse üldjuhul kas polüvinüülkloriidist või polüetüleenist surveklassiga PN10. Torustiku levinud diameetrid on vahemikus 63mm kuni 280mm. Vaakumtorustiku eesmärk on transportida vaakumi abil reovesi vaakumkaevust vaakumpumplasse. Levinuim vaakumtorustiku pikiprofiil on „saehamba“ kujuga (Joonis 13). Torustiku pikiprofiil sellisel kujul väldib torustiku täielikku täitumist reoveega tagades õhuliikumise torustikus. Samuti tagab astmeline vaakumtorustiku pikiprofiil võimaluse paigaldustööd teostada minimaalsete kaevetöödega. Alarõhu abil liikuv õhk ja reovesi liiguvad järk-järgult astmelt astmele [8].

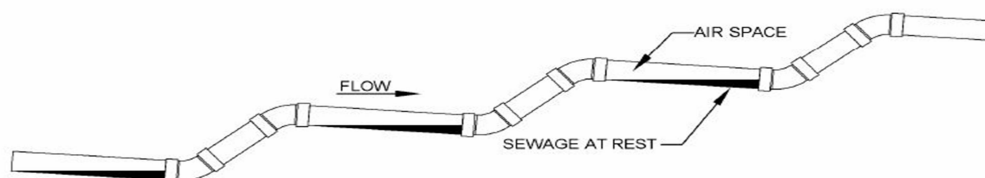
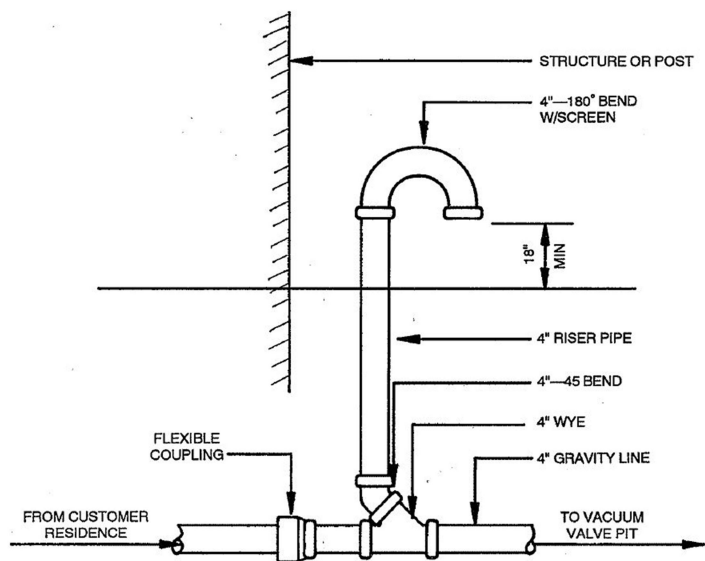


Figure 2
Current Design Concept – Sawtooth Profile
(Courtesy AIRVAC)

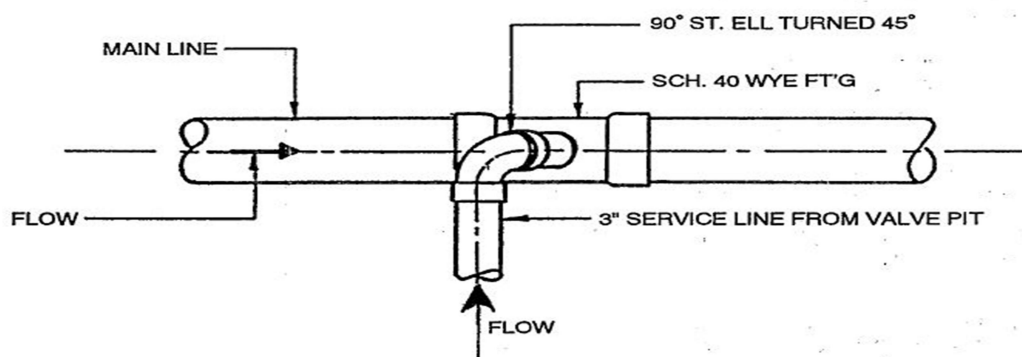
Joonis 13. „Saehamba“ kujuga pikiprofiil [8]

Vaakumtorustikul paiknevad astmed koosnevad kahest 45° pöördnurka tekitavast käänikust. Astme kõrgus valitakse üldjuhul 20 cm, 30 cm või 45 cm alumise toru põhjast ülemise põhjani (Joonis 17). Astme alumisel osal olev reovesi imetakse ülemisele astmele mõnes süsteemi vaakumkaevus avaneva vaakumklapi abil. Vaakumkaevust torustikku sattuva õhu hulk peab olema minimaalselt 1,5 korda suurem sinna sattuva reovee hulgast. Vajalik õhuhulk tagatakse kinnistute isevoolsete reoveetorustike ventileerimise abiga (Joonis 14). Ventilatsioonitoru paigaldatakse kinnistule ning külmumise vältimiseks vaakumkaevust vähemalt kuue meetri kaugusele. Tuulutustoru maapealne ots peab olema maapinnast vähemalt 50cm kõrgusel [7].



Joonis 14. Vaakumsüsteemi tuulutustorustik [7]

Astmete vaheline torustik rajatakse 0,2% suuruse kaldega voolusuuna poole tagamaks reovee kogunemise ülemisele astmele. Reovee liikumiskiirus torustikus avatud vaakumklapi korral on 4,5-5,5 m/s. Torustikus tekkiva rõhukao ühtlustamiseks suurendatakse üldjuhul torustiku läbimõõtu, et mitte ületada vaakumikadu [8]. Vaakumtorustiku magistraali ja vaakumkaevu ühendustoru pikkus peab olema vähemalt 1,5m ning ühendustorustik magistraalist selle läbimõõdu võrra kõrgemal. Kõik ühendused tehakse 45° nurgaga vältimaks edaspidist ummistusohtu ning soodustamaks reovee hõlpsat liikumist (Joonis 15 ja 16). Üldjuhul on ühendustorustik läbimõõduga DN80 [7].



Joonis 15. Magistraali ja ühendustorustiku põhimõtteline skeem [7].



Joonis 16. Foto magistraali ja ühendustoru sõlmest



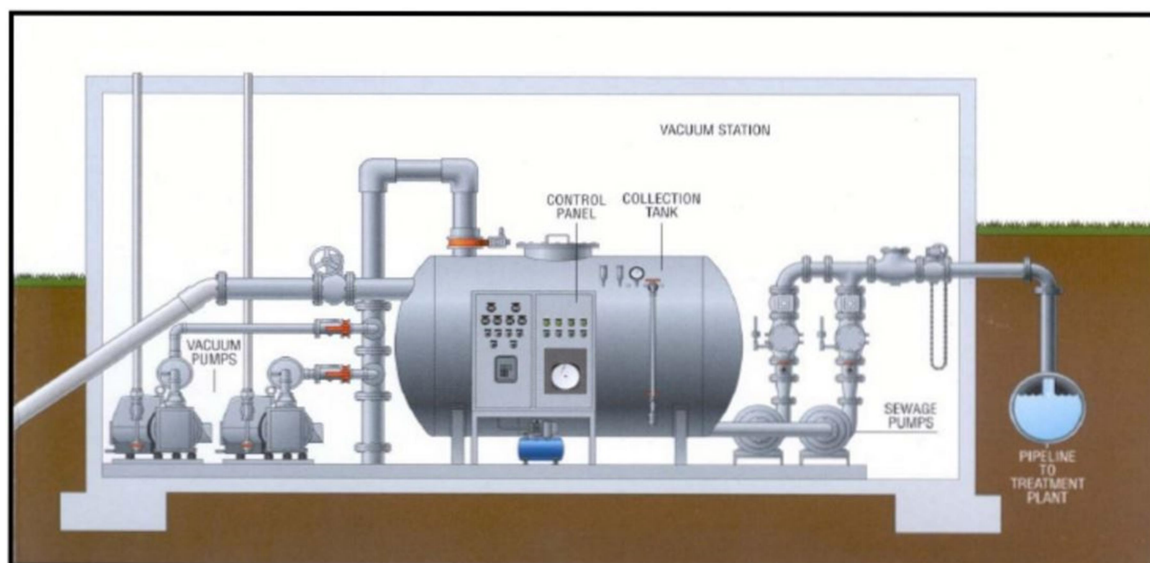
Joonis 17. Vaakumtorustiku aste

1.2.4 Vaakumpumpla

Vaakumpumpla ülesanne on tekitada süsteemis vaakum ning selle abil transportida tarbijatel tekkinud reovesi vaakumkaevust kogumismahutisse. On süsteeme mille korral asub vaakumpumpla otse reoveepuhastis ning sel juhul ei ole reovee edasijuhtimine pumplast vajalik. Vaakumpumpla põhilised osad on (Joonis 18):

- vaakumpumbad
- reoveepumbad
- kogumismahutid
- juhtimis- ja automaatikakilp

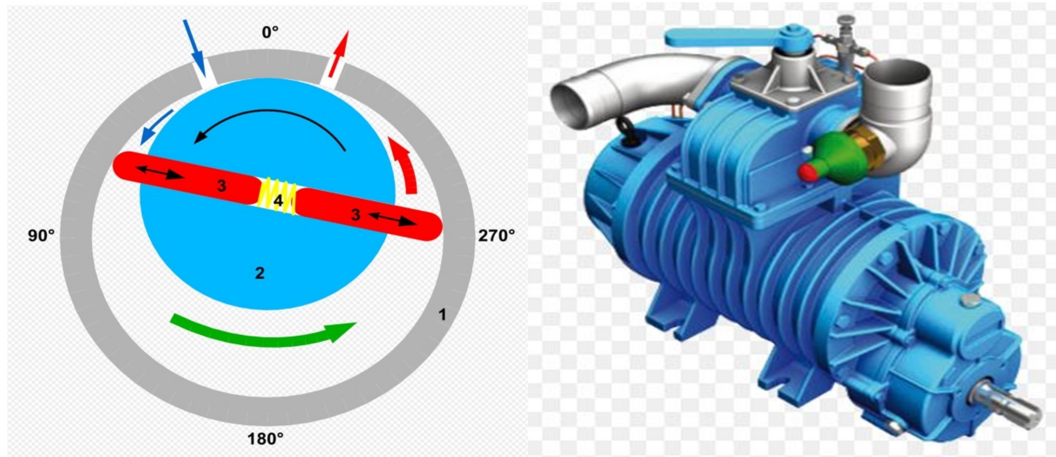
Vaakumpumbad on vajalikud vaakumsüsteemis alarõhu tekitamiseks. Lähtuvalt optimeerimisest hoitakse süsteemis üldjuhul -0,5 kuni -0,7 suurust alarõhku. Vaakumpumbad valitakse selliselt, et vajadusel suudab ka üks pump vajaliku vaakumi tekitada. Vaakumpumpade maksimaalseks töötükliks projekteeritakse 30% ööpäevast ehk 8 tundi päevas. Levinud on kahte tüüpi vaakumpumbad- vesirõngas ja rootor vaakumpumbad[7].



Joonis 18. Vaakumpumpla skeem [10]

Eestis kasutusel olevates süsteemides on kasutusel rootor vaakumpumbad (Joonis 19) [13]. Pumba korpusesse (1) on paigaldatud ekstsentriliselt rootor (2) millega on ühendatud labad (3). Rootori pöörlemisel liiguvad labad tsentrifugaaljõu tõttu vastu pumba korpust ning jagades selle kaheks kambriks. Möödudes imiavast suureneb kambriks olev õhukogus ning väljundavast möödudes see väheneb [14]. Väljundavast väljapaisatav

üleliigne õhk juhitakse mööda ventilatsioonitoru vaakumpumplast välja. Ohtlike gaaside ja jääkide välisõhku paiskamise vältimiseks tuleb kasutada spetsiaalset õhufiltrit pumba ja ventilatsioonitoru vahel või biofiltrit ventilatsioonitoru otsas (Joonis 20) [13].



Joonis 19. Rootor vaakumpumba õhimõtteline skeem [14].



Joonis 20. Õhufilter vaakumpumba ja ventilatsioonitoru vahel [13].

Reoveepumbad on vajalikud kogumismahutisse kogunenud reovee transportimiseks reoveepuhastusjaama või sinna viivasse eelvoolu. Reoveepumbad võivad olla nii märg- kui ka kuivasetusega- enamlevinud on kuivasetusega reoveepumpade kasutamine. Enimkasutavad on tsentrifugaalpumbad. Reoveepumpasid on ühe kogumismahuti kohta minimaalselt kaks ning arvestusega, et üks pump on võimeline tagama

süsteemi toimivuse. Reoveepumpade ujukid on seatud arvestusega, et minimaalne töötssüklil kestab 2 minutit- vältimaks liialt tihedat käivitumist ja peatumist. Reoveepumpade ja kogumismahuti vahelisel torustikul peab olema sulgeseade, et tagada vajadusel probleemivaba reoveepumba vahetus (Joonis 21).



Joonis 21. Kuivasetusega horisontaalne reoveepump [13].

Reoveepumbad on võimalusel alati paigaldatud kogumismahuti alumisele kõrgusele või allapoole vähendamaks vajaliku tõstekõrgust reovee pumpamiseks [7].

Kogumismahutisse kogutakse reovesi vaakumsüsteemist kuni piisava koguse saavutamiseni reovee pumpamiseks [7]. Kogumismahuteid valmistatakse klaasplastist ja roostevabast terasest. Projekteerimistööde käigus on soovituslik dimensionimisel jälgida, et vaakumpumpla tagaks tootlikkuse ühe kogumismahutiga. Kogumismahuti töömaht arvutatakse järgmise valemiga:

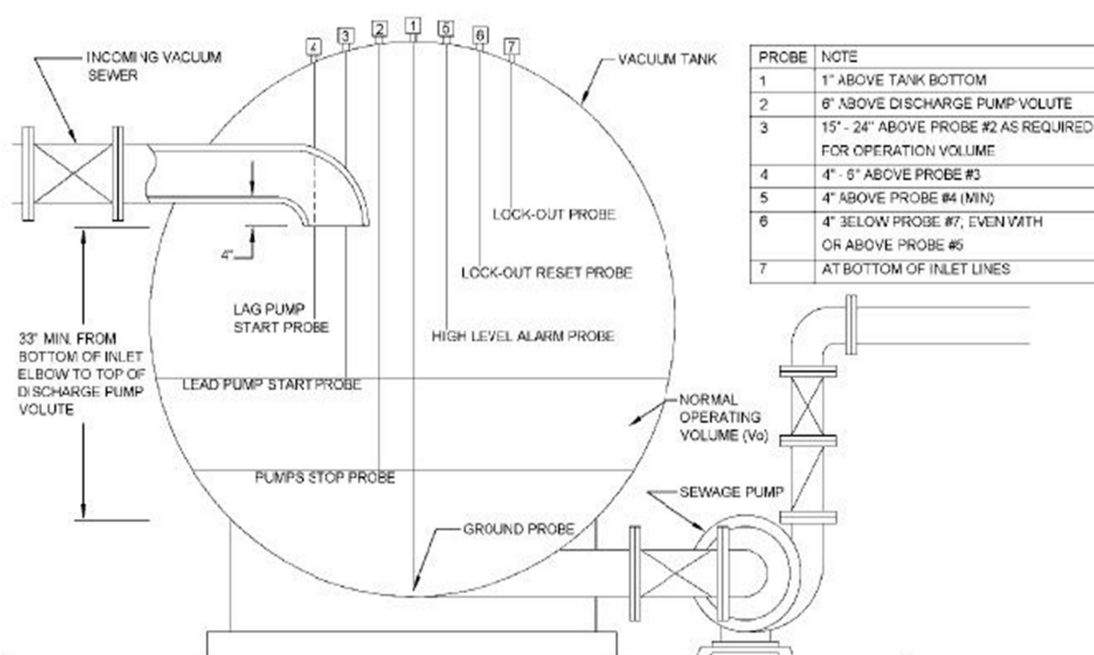
$$V_0 = \frac{15 \cdot Q_{\min} \cdot (Q_{\text{pump}} - Q_{\min})}{Q_{\text{pump}}}, \text{ kus}$$

V_0 - kogumismahuti vajalik töömaht (l)

$Q_{\min}$ - ööpäevane minimaalne vooluhulk (l/s)

Q_{pump} - reoveepumba vooluhulk (l/s)

Saadud kogumismahuti töömaht annab täpse vajaliku mahu, kuid ennetades võimalikke tõrkeid kasutatakse reaalse töomahu saamiseks varutegurit 3 [10]. Korrektsest dimensioonitud kogumismahuti tagab optimaalse reoveepumpade töötusklite arvu ning pika kasutusperioodi. Kogumismahuti paigaldatakse soovituslikult vaakumpumpadest madalamale tasapinnale, et reovee sisenemisel mahuti ülaosast oleks vajalike tõstekõrgus minimaalne. Kogumismahutis (Joonis 22) paiknevad kogu vaakumsüsteemi ühed tähtsaimad osad- reovee tasemeandurid.



Joonis 22. Kogumismahuti tasemeandurid [10]

Tasemeandur (1) on mahuti põhjaandur. Tasemeandur (2) näitab reovee minimaalset taset ning selle signaali korral reoveepumbad ei tööta. Tasemeanduri (3) signaali korral käivitub primaarne reoveepump ning anduri (4) signaali korral käivitub ka sekundaarne reoveepump. Tasemeandurid (5,6,7) on alarmandurid mis vastavalt järjestusel annavad süsteemis häire (5), kontrollivad seda (6) ning vajadusel peatavad (7) nii reovee- kui ka vaakumpumbad [10].

Vaakumpumpla juhtimis- ja automaatikakilp (Joonis 23) paikneb seadmetega samas ruumis ning on tänapäevaste süsteemide korral ka kaugloetav. Seiresüsteemi abil

on võimalik operaatoril kontrollida vaakumkanalisatsiooni tööd ning sellele iseloomulikke parameetreid. Seiresüsteemist saadav tähtsaim info [13]:

- vaakum-ja reoveepumpade töötunnid ning töötsüklid, avariialarmid
- alarõhu muutumine süsteemis ning sellest tekkinud avariialarmid
- kogumismahuti maksimaalne ja minimaalne nivoo
- ööpäevane vooluhulk ning energiatarve

Vaakumkanalisatsiooni seire koosneb kahest osast- võrgus toimunud tegevused ning vaakumpumplas toimunud tegevused [10]. Automaatikakilbid paiknev arvuti registreerib klientide juures paiknevate vaakumkaevudes olevate vaakumklappide avamist ja sulgemist ning torustikus toimuvaid rõhukadusid. Vaakumklapid on kaabli abil jadaühenduses vaakumpumpla automaatikakilbiga, mis tagab tõrke korral väga lihtsa asukoha tuvastamise. Vaakumpumpla süsteemi juhtimine toimub eelpool kirjeldatud tasemeandurite abil ning vaakummeetri abil. Vaakummeetrid on paigaldatud kõikidele pumplasse sisenevatele vaakumtorustikele ning mahutile, et vajadusel optimeerida vaakumpumpade tööd. Samuti on automaatikakilp varustatud soojusreleedega, et välistada pumpade ülekuumenemist [13].



Joonis 23- vaakumpumpla juhtimis- ja automaatikakilp [13]

2. Isevoolse kanalisatsiooni iseloomustus

2.1 Isevoolse kanalisatsiooni ajalugu

Vanimad isevools ekanalisatsiooni rajatised on avastatud Orkney saartel ning arheoloogiliste uuringute tulemusel on hinnatud nende rajamisperioodiks 3200.a eKr. Süsteemid koosnesid avatud kanalitest mille eesmärgiks oli reo- ja sademevee eemale juhtimine asustusaladelt. Samuti rajati sel hetkel esimesed hoonesisesed kanalisatsiooni-süsteemid. Kanalid ehitati savitellistest või paekivist [16].

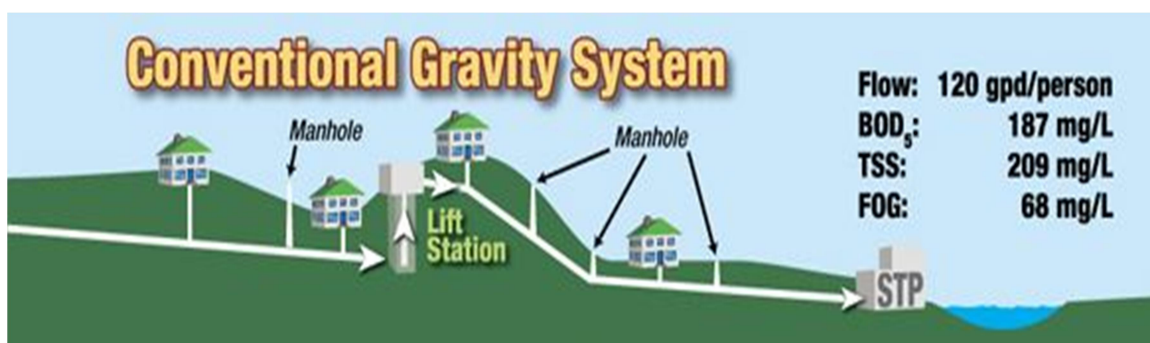
Kaasaegne kanalisatsioonisüsteem hakkas kiiresti levima 18. sajandil. Tööstuse kiire areng ning linnade suurenemine viis kiirelt reostuse kasvuni tänavatel mis omakorda tekitas nõudluse kanalisatsioonisüsteemi arendamisele. Tekkinud reostus põhjustas tüüfuse ja koolera levikut elanike seas ning tõsisid kahjustusi ümbritsevale keskkonnale. Hakati otsima lahendusi reostuse vähendamisele ning 18. sajandi teises pooles pöörati tähelepanu reoveepuhastusjaamade rajamisele. Esimene reoveepuhastusjaam rajati Ameerika Ühendriikides Worcesteri linnas aastal 1890 [15].

Eestis koostas esimese kanalisatsiooniprojekti 1882. a Tallinna linnainsener Carl Gustav Jacoby, eesmärgiks oli Toompeale kanalisatsioonivõrgu rajamine. Intensiivne linnastumine 20. sajandi esimeses pooles tõi kaasa peamiselt tehaste ja vabrikute rajamise ning see omakorda tõi kaasa vee- ja kanalisatsioonivõrkude kiire arengu üle Eesti Vabariigi [17]. Tänapäevani toimiva kanalisatsioonivõrgu suurem rajamine ja arendamine toimus aastatel 1960 kuni 1980, sealhulgas alustas 1980. a tööd tänapäevani Eesti suurim reoveepuhastusjaam Paljassaares [18].

Peamiselt Nõukogude Eesti ajal rajatud kanalisatsioonitorustike suuremahulisem rekonstrueerimine ja laiendamine algas aastal 2007. Rahastusallikaks on suures olnud Euroopa Ühtekuuluvusfondi toetus, mille jagamist on koordineerinud Keskkonna-investeeringute Keskus. Joogi- ja reoveemajandusprojekte toetati aastal 2007 kuni 2013 summas 470 000 000 eurot [19].

2.2 Isevoolse kanalisatsiooni süsteemi kirjeldus

Isevoolse kanalisatsiooni süsteem koosneb maa-alusest torude võrgustikust mis juhib reo-, halli- ja sademevee tekkekohast reoveepuhastini (Joonis 24). Reovee liikumine toimub torustikus gravitatsiooni toimele, st voolab kõrgemast punktist madalamasse punkti. Süsteemis võib esineda vajadus kanalisatsioonipumpla järgi, et tagada efektiivne torustiku rajamissügavus. Kanalisatsioonipumpla paigaldus on hädavajalik pikemate torustike rajamisel tasase ning ka suurte kõrguste vahega maapinna reljeefi korral [20].



Joonis 24. Isevoolse kanalisatsiooni süsteemi skeem [21]

Isevoolsekanalisatsiooni süsteem on jaotatud üldjuhul kaheks- magistraal –ja kogumistorustik. Magistraaltorustik kogub kokku kogumistorustikust pärineva reovee ning juhib selle reoveepuhastusjaama või muu eelvooluni. Magistraaltorustiku on suure läbimõõduga (alates 160mm kuni 2m ja laiemad voolukanalid) ning suure vooluhulga tõttu rajatakse need soovitatavalt isevoolsena vältides ülepumpamist. Kogumistorustiku eesmärk on kinnistutelt tekkiv reovesi juhtida magistraaltorustikuni ning mööda seda reoveepuhastini. Kuna kogumistorustiku ehitustöödel on tähtis jälgida rajamissügavust siis kasutatakse tihti kanalisatsioonipumplaid, et vastavat sügavust minimaliseerida [20].

Isevoolsekanalisatsiooni süsteeme on rajatud juba sajandeid ning projekteerimisel järgitavad nõuded tulenevad praktikast. Hea projekteerimis- ja ehitustöö tulemusena on süsteem pika elueaga ning hästi toimiv. Isevoolsekanalisatsiooni suurimad eelised on [22]:

- isevoalne torustik on võimalik transportima reovees sisalduvaid tahkeid osakesi ning on seejuures võimeline tagama töökindlust.

- tagab projekteeritud vooluhulga juures automaatselt vajaliku voolukiiruse. Õige reovee voolukiirus torustikus tagab metaangaasi vähese tekke, isepuhastusvõime säilimise ning ebameeldiva lõhna vähese tekke.

Isevoolsekanalisatsiooni süsteemi põhilised puudused on [22]:

- torustiku toimimiseks vajaliku kalde tagamine ebasoodsa maapinna reljeefi korral võib ehitustöödel kaasa tuua suuremahulisi kaeve- ning taastamistöid.
- torustiku suure pikkuse korral on vajalik selle ülepumpamine ehk kanalisatsioonipumpla kasutamine. Kanalisatsioonipumpla paigaldamine süsteemi tähendab energia- ja hoolduskulude suurenemist.
- süsteemi kuuluvad kanalisatsioonikaevud on tihti infiltratsiooni allikad ning võimaldavad süsteemi kõrvalise vooluhulga lisandumise. See suurendab torustikes vooluhulkasid ning seega ka läbimõõtude suurendamist, samuti ka reoveepuhastusjaama puhastuskoormust.

2.2.1 Isevoolse kanalisatsiooni torustik

Kanalisatsiooni tuleb valgalale projekteerida tervikuna, pidades silmas nii kanalisatsioonivõrku, kogumismahuteid, pumplaid, puhastusseadmeid, üleveole ja heitvee mõju suublatele. Kanalisatsioonitorustiku dimensionimisel tuleb võimaluse korral arvestada võrgu hilisema laiendamisega, kuid lähtudes eelkõige eelvoolu vastuvõtuvõimest ja torustiku rajamissügavusest [23].

Kanalisatsioonitorustik rajatakse üldjuhul plast-, betoon- või malmtorudest. Põhinõuded kanalisatsioonitorustikele on [24]:

- tugevus- vastu võtmaks nii torus voolava vee või gaasi rõhku sisepinnale kui ka välispinnale mõjuvaid pinnase ja liiklusvahendite koormuseid.
- tihedus- torustikust ei tohi midagi välja lekkida ega ka väljast sisse imbuda
- siledus- tagada minimaalne hõõrdetakistus ja selle ületamiseks vajalik rõhukadu
- korrosioonikindlus- tagamaks torustiku töökindlust ja kasutusiga
- temperatuurikindlus- tugevusnäitajate säilitamine ka kõrgematel temperatuuridel

Eestis on enamlevinud plasttorude kasutamine- PVC (polüvinüükloriid) ja PP (polüpropüleen) materjalist. Plasttorude puhul on tagatud korrosioonikindlus ehk pikk eluiga, väike hõõrdetakistus, tugevus ja elastsus ning väike kaal, mis kergendab oluliselt ehitustöödel teostavat paigaldust (Joonis 25) [24].

PVC NAL muhvtoru
Ringjäikus SN8
Compact - EN 1401



Tootekood	D x De - L mm	Pakend tk
010107	110 x 3,2 - 2 m	50
010108	110 x 3,2 - 3 m	50
010110	110 x 3,2 - 6 m	50
010117	160 x 4,7 - 2 m	24
010118	160 x 4,7 - 3 m	24
010120	160 x 4,7 - 6 m	24
010122	200 x 5,9 - 2 m	15
010123	200 x 5,9 - 3 m	15
010125	200 x 5,9 - 6 m	15
010130	250 x 7,3 - 6 m	8
010135	315 x 9,2 - 6 m	6

PRAGMA muhvtoru
Tihendiga
Ringjäikus SN8
Pikkus 6 m



Tootekood	De x Di mm	Pakend tk
010724	160 x 139	28
010725	200 x 174	20
010730	250 x 218	8
010735	315 x 276	6
010741	400 x 348	3
010750	500 x 435	2
010763	630 x 550	2

Joonis 25. PVC ja PP materjalist kanalisatsioonitorud [25]

Reoveekanalisatsiooni peatorustikud peavad olema minimaalselt DN150 läbimõõduga vältimaks toruummistusi [23]. Pipelife Eesti AS tootevalik piirdub De1100 PP-materjalidest torudega [25]. Muud tootjad toodavad plasttorusid läbimõõdus kuni 3000 mm [26]. PVC- ja PP-materjalist plasttorud liidetakse spetsiaalsete jätku- ja ühendusmuhvidega. Kõik liite-, pöörde- ning ühendusmuhvid on varustatud kummitihenditega, et tagada lekkekindlus ning vältida infiltratsiooni (Joonis 26).



Joonis 26. PP-materjalist torude ühendusliitmikud [25]

Reovee äravoolu arvutuslikud vooluhulgad sõltuvad elanike arvust ja veeheite-normidest. Keskmised ööpäevased olmereovee heitenormid asulates võetakse võrdseks veetarbimishormidega, seejuures arvestades ka infiltratsioonivett. Torustikud ja pumplad projekteeritakse maksimaalse tunnise äravoolu Q_{hmax} ja lisanduva vee läbilaskmiseks:

$$Q_{hmax} = k_{hmax} \times Q_{dmax},$$

kus k on maksimaalse tunni ebaühtlustegur ja Q_{dmax} ööpäeva maksimaalne vooluhulk. Torustike isepuhastusvõime arvutatakse minimaalse tunnise äravoolu järgi-vähemalt kord päevas peab voolukiirus torustikus olema $\geq 0,7$ m/s. Isepuhastusvõime on vajalik tahkete osakeste settimise vältimiseks torustikus ning see tagatakse torustiku piisava languga (Tabel 1) [23].

Tabel 1. Kanalisatsioonitorustiku soovituslik miinimumlang [23]

DN	i_{min}
100	0,012
150	0,007
200	0,0045
300	0,003
400	0,0025
500	0,002
600	0,0016
800	0,0013

Kanalisatsioonitorustiku projekteerimisel peab ka arvestama füüsikalisi, keemilisi, biokeemilisi, bakterioloogilisi, aistilisi ning muid asjassepuutuvaid tegureid. Kuna reoveest eraldub metaangaas siis tuleb mõelda nende ventileerimisele. Reovee kanalisatsiooni torustike ventileerimise ning torude ristlõikes varu tagamiseks on oluline tegur torustiku täide h/d (vee sügavus torus h jagatud siseläbimõõduga d) (Tabel 2) [23].

Tabel 2. Arvutuslik torutäide reoveekanaliseerimisel [23]

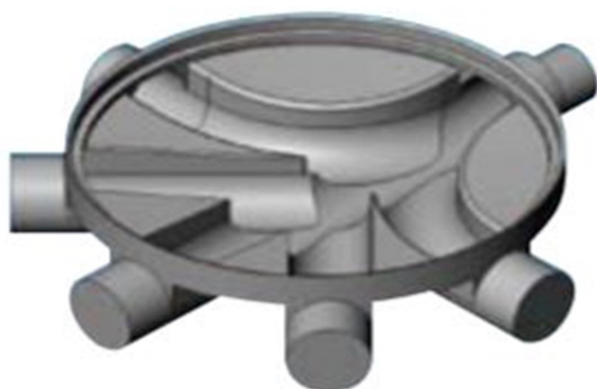
DN/ID	<150	200-300	350-450	500-900	>900
Maksimaalne täide h/d	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8

2.2.2 Kanalisatsioonikaev

Kanaliseerimisvõrgu hoolduseks ja kontrolliks tuleb torustikele ehitada kaevud kohtadesse, kus:

- torustiku suund või lang muutub
- torustik algab või kaks või enam torustikku ühineb
- torustiku läbimõõt muutub
- torustikus on sirged lõigud, vähemalt 100 m vahedega. Hooldusmasinate toimimise nõuetest tulenevalt võivad kaevude vahed olla lühemad.
- on kinnistu torustike liitumispunktid

Kanaliseerimisvõrgu suunamuutused tehakse nii, et ei tekiks settimist ja tagasivoolu, kaevupõhjad peavad olema voolurenniga (Joonis 27).



Joonis 27. Voolurenn kanalisatsioonikaevu põhjas [25]

Erineva läbimõõduga torud ühendatakse kaevus torulaed ühes tasapinnas. Kanalisatsioonikaevud jaotatakse liikideks [23]:

- hoolduskaev- kaev kuhu hooldustöödeks peab sisenema inimene. Kaevu diameeter 1000 mm või rohkem, teenindusava minimaalselt 600 mm
- kontrollkaev- kaev kuhu ei ole inimesel vaja siseneda vaid tööd teostatakse hooldusmasinatega. Kaevu diameeter 400 mm kuni 800 mm, teenindusava minimaalselt 315 mm.
- kontrolltorud- liitumispunkti kinnistu piiril, hooldustööde teostamisel vajalik ligipääs. Kaevu diameeter 150 mm kuni 400 mm, teenindusava minimaalselt 150 mm.

Tänapäeval kasutatakse põhiliselt PE-materjalist ning raudbetoonist reoveekaeve.

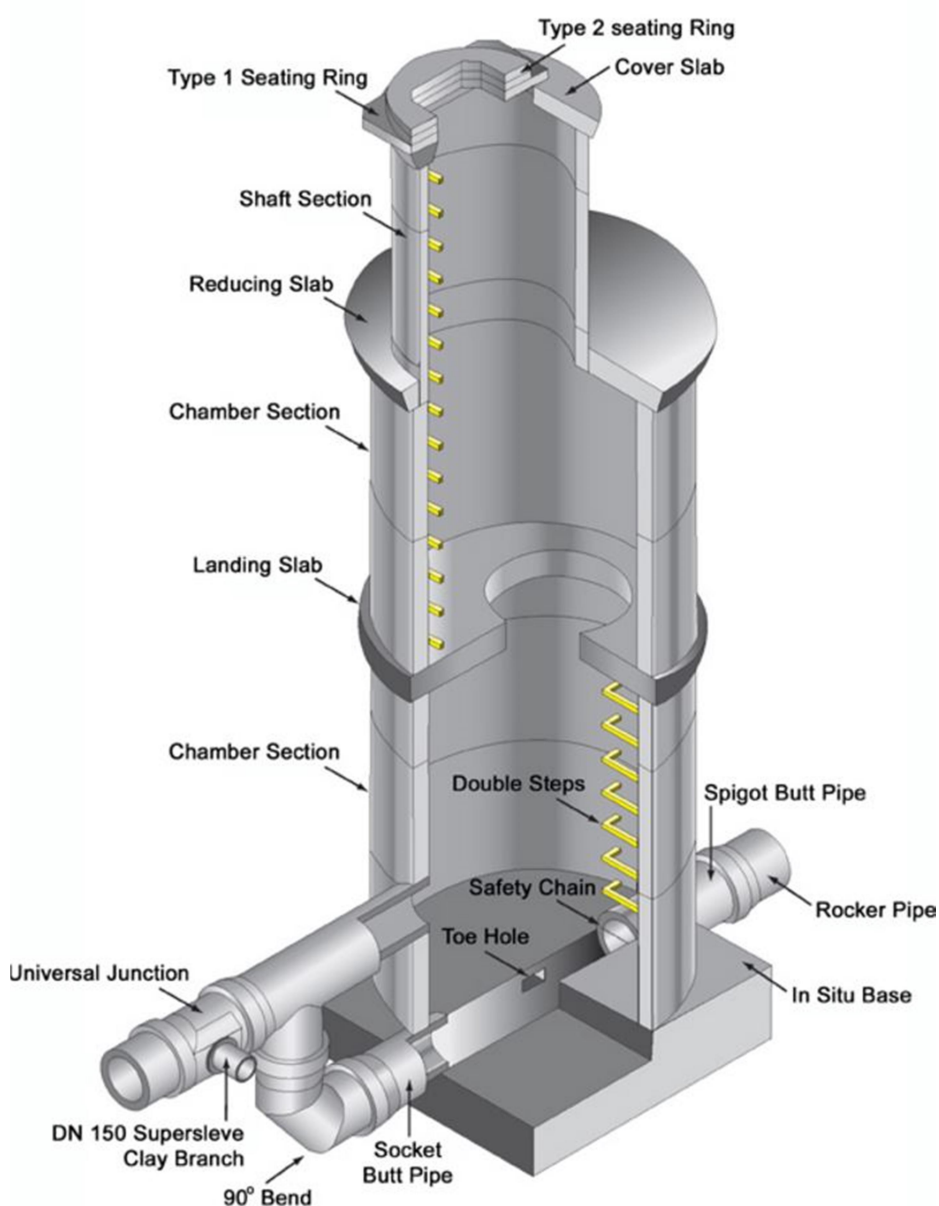
PE-materjalist kanalisatsioonikaevud vastavad standardile EVS EN 13598-2:2009. Üldjuhul on mõõtudeks 200 mm, 400 mm ja 560 mm, harvemal juhul 800 mm ja 1125 mm (Joonis 28).



Joonis 28. PE-materjalist kanalisatsioonikaevud ning voolurenn [23,27]

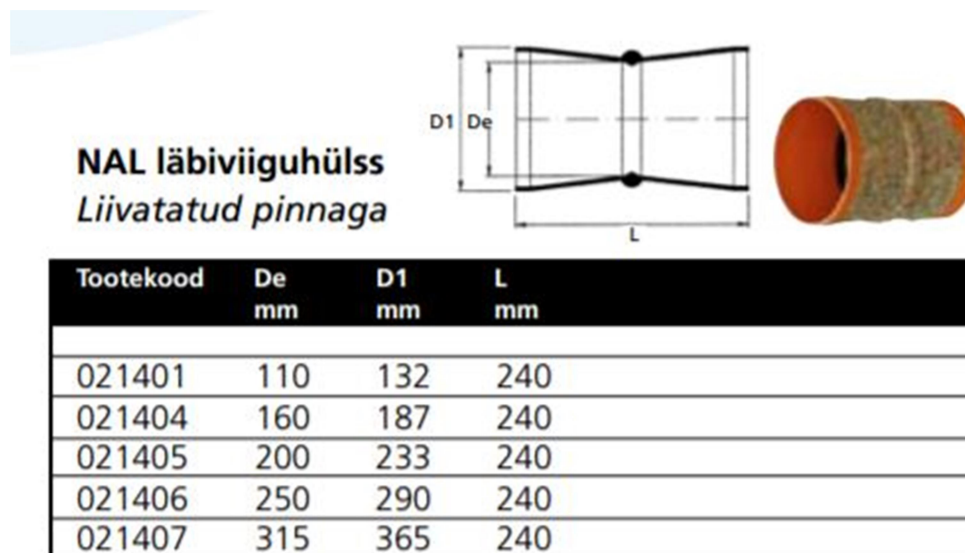
PE-materjalist kanalisatsioonikaevud peavad väga hästi sarnaselt torule maapinnas ning reovees leiduvatele kemikaalidele. EVS-EN 13598-2:2009 sätestab PE-materjalist kanalisatsioonikaevu ja selle tõusutoru minimaalseks ringjäikuseks 2kN/m^2 .

Betoontorustikest koosneva kanalisatsioonivõrgu, suure rajamissügavuse või muudel tehnilistel põhjustel kasutatakse raudbetoonist demonteeritavaid kanalisatsioonikaeve. Raudbetoonelemendid valmistatakse betoonitehases üldlevinud läbimõõtudes 1000mm, 1500mm ja 2000mm. Raudbetoonelemendid on kõrgusega 900mm ning need ühendatakse omavahel jootebetooni ning spetsiaalse kummitihendiga (Joonis 29).



Joonis 29. Raudbetoonkaevu elemendid [28]

Toru läbiviigud kaevu tihendatakse spetsiaalset tehases valmistatud läbiviiguhülssi ja monataaživahtu kasutades (Joonis 30) [28].



Joonis 30. Betoonkaevu läbiviiguhülss [25]

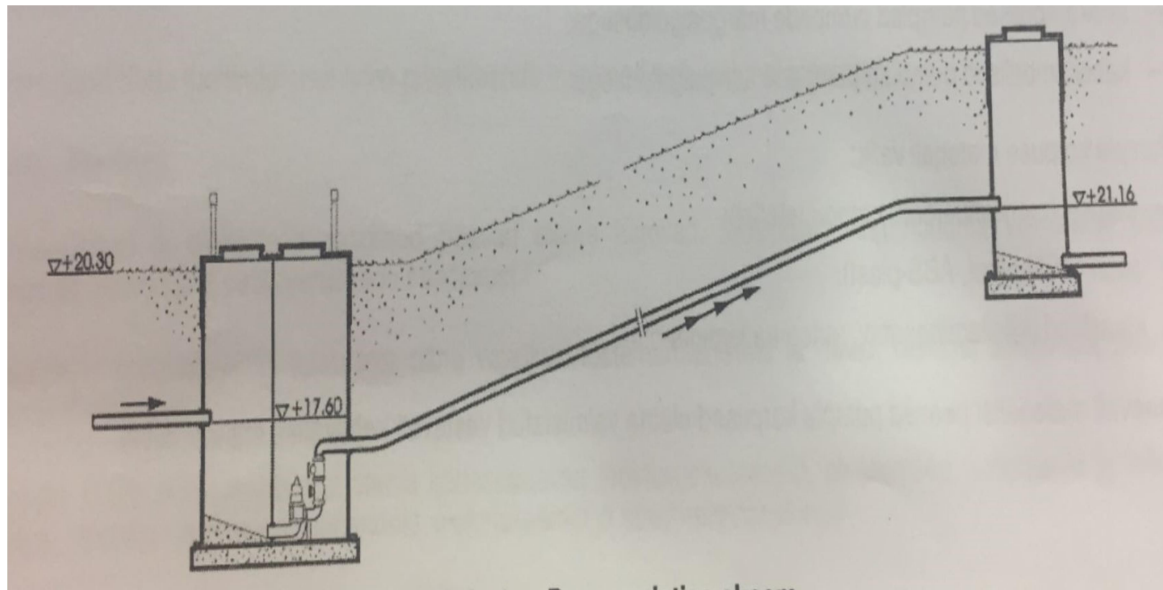
Kanaliseerimisvõrkude luugid peavad vastavama standardile EN124 [23]. Üldlevinud on malmist erineva suurusega kaevuluugid koormusklassiga D400 ehk 40 tonni [25].

2.2.3 Kanalisatsioonipumpla

Reovett pumbatakse selleks, et:

- vältida torustiku ülemäärast rajamissügavust
- juhtida vett ära kanalisatsioonivõrgu laiendusalaelt, kust seda ei saa isevoolu teel olemasolevasse kanalisatsioonivõrku juhtida
- reoveepuhastus koondada ühte asukohta

Pumpla projekteerimisel tuleb arvestada käitus- ja hooldusnõudeid, ekspluateerimisel esineda võivate toimetõrgete ohtu ja tagajärgi, sh ohtu keskkonnale ning elanike ja teeninduspersonalile tervisele. Survetorustiku läbimõõt, pikkus ja materjal on tähtsad parameetrid pumpla rõhukadude arvutamisel ning pumba vajaliku tõstekõrguse määramisel. Pika survetorustiku korral võib kiiruse vähenemisest tingitud rõhukadu olla geodeetiliselt tõstekõrgusest suurem (Joonis 31) [23].

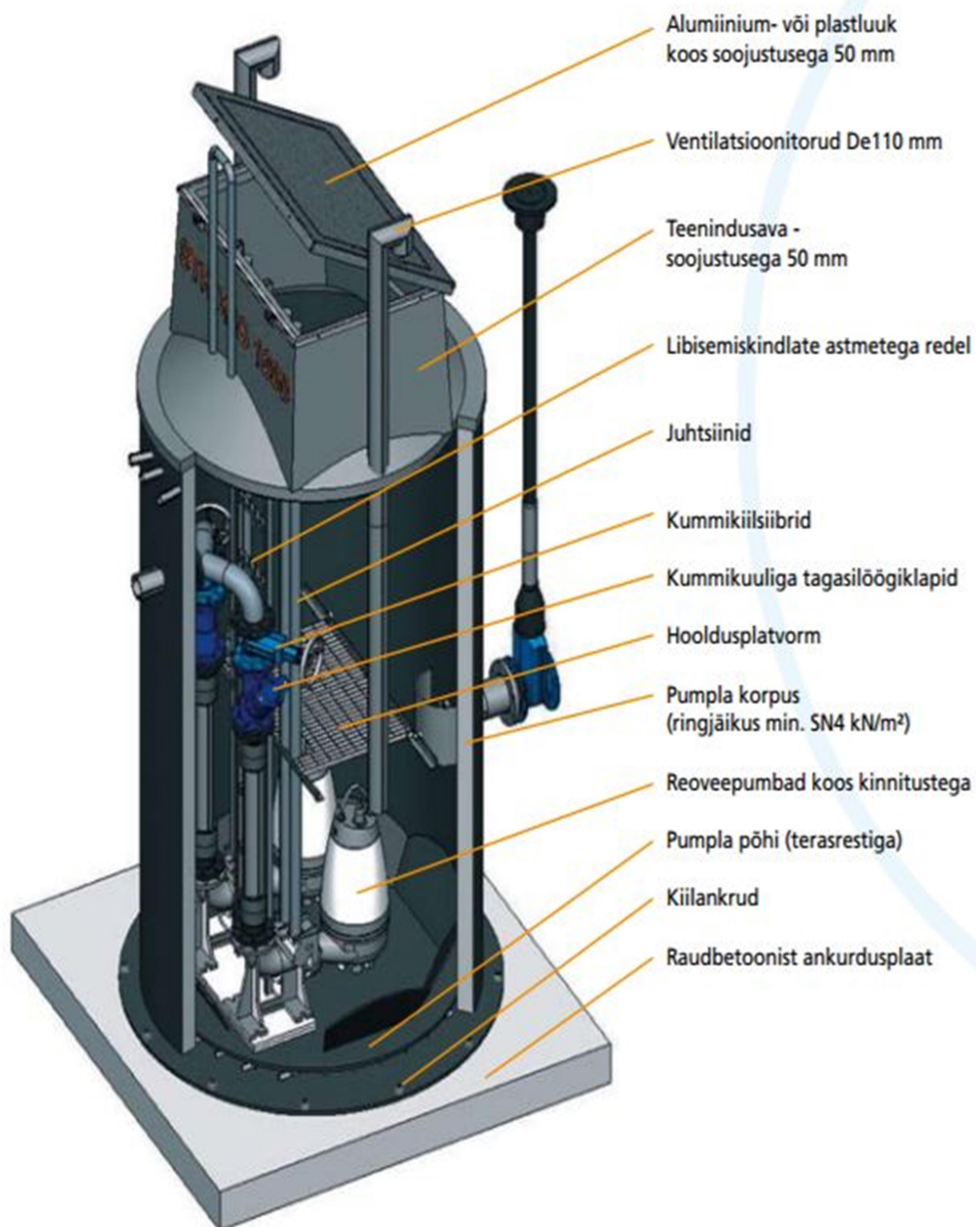


Joonis 31. Pumpla ja survetorustiku põhimõtteline skeem [23]

Pumplatüübid jagunevad pumpade paigalduse järgi ja korpuse materjali järgi:

- ühekambrilised pumplad pumpade märgpaigaldusega
- kahekambrilised pumplad pumpade kuivpaigaldusega
- betoonkorpusega pumplad
- plastkorpusega pumplad
- klaaskiudkorpusega pumplad

Eestis on levinuim pumplatüüp ühekambriline märgpaigaldusega pumpadega ning plastkorpusega kanalisatsioonipumpla (Joonis 32). Sukelpumbad langetatakse pumbakaevu siinide või tõsteketi abil. Pumplas on kas üks või kaks reoveepumpa koos varustusega. Pumpla armatuur asetseb kaevus, kaev on varustatud hooldustasapinna ja redeliga. Maapealne juhtimisseade võib olla pumpla peal, eemale viidud või erandkorras sise-ruumides. Pumpla varustuse hulka kuulub lukustatav tugevdatud luuk ja ventilatsiooni-süsteem [23]. Pipelife Eesti AS valmistab vertikaalsed silindrilised pumplad PE topeltsein-torust, mille minimaalne ringjäikus on 4kN/m² kohta. Pumpla korpus kinnitatakse reeglina ankurdusplaadi külge, et vältida pumplakorpuse kerkimist pinnaveetaseme tõttu [25].



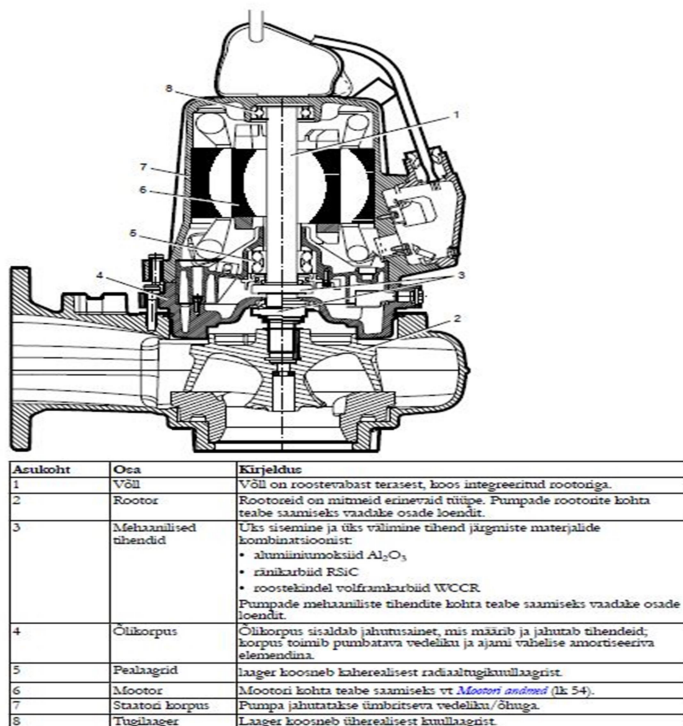
Joonis 32. STRONG reoveepumpla joonis [25]

Kanalisatsioonipumpla projekteerimisel peab järgima pumbatavat vooluhulka ja optimaalset pumpade käivitustihedust. Pumpla korpus peab olema piisavalt suur, et tagada reovee varumaht ning reoveepumpade jahutusvesi. Projekteerimise etapis leitakse vastavalt valitud reoveepumpadele käivituse ja seiskamise tasemed- rahuldamaks eeltoodud tingimusi tõrgeteta pumpade töö tagamiseks. Iga pump ja selle ajam peab sobima pumbatava kanalisatsioonivee omaduste ja koostisega ning rahuldama pumpla projektikohaseid tööparameetreid. Pumba tööd iseloomustavad järgmised näitajad [23]:

- vooluhulk

- tõstekõrgus
- võimsus
- kasutegur
- kavitatsioonivaru
- tööorgani liikumissagedus

Üheks levinuimaks reoveepumba tüübiks on rootorpump (Joonis 33). Võimaluse olemasolul kasutatakse reoveepumpasid mille tööorgan on purustiga- vältimaks tahkete võõrikute sattumist survetorustikku ning kahjustamaks reoveepumba liikuvaid osasid [29].

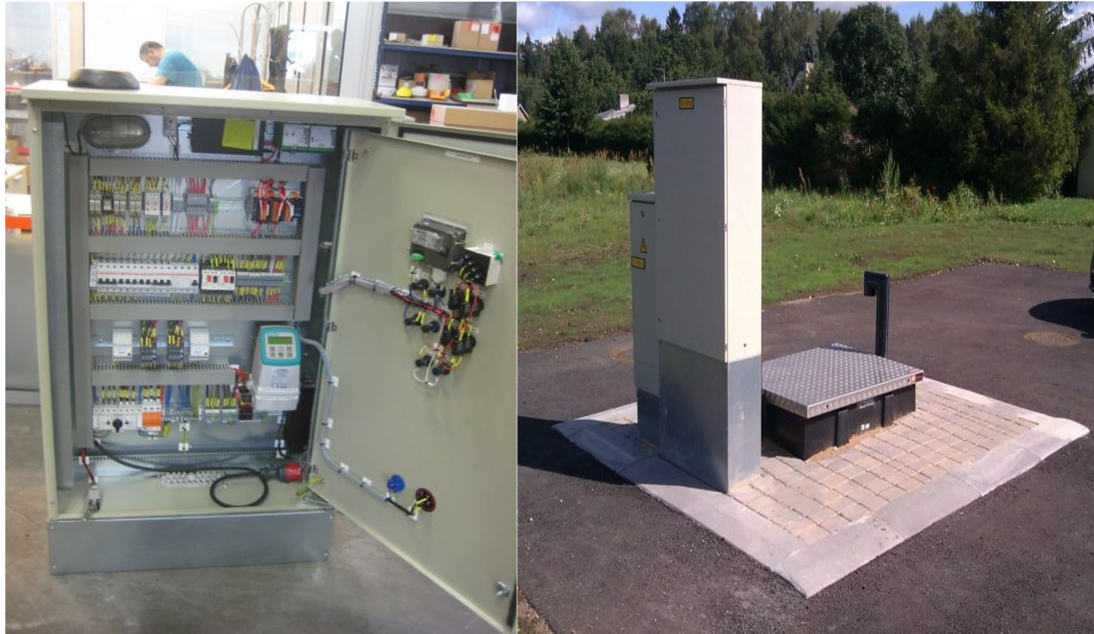


Joonis 33. Flygt 3085 reoveepumba joonis

Pumpla torustik ja armatuur on valmistatud reoveekanalisatsioonipumplas roostevabast terasest vältimaks korrosiooni ning reovees sisalduvate kemikaalide kahjuliku mõju armatuurile.

Kanalisatsioonipumpla pumpade tööd juhib ujukite abil juhtimis- ja automaatika-kilp (Joonis 34). Lülituskilbid ja mootorite juhtimiskeskused peavad olema moodulkonstruktsioonis. Iga vooluahel peab olema täielikult eraldatud väliskeskkonnast. Igal pumbal peab olema eraldi käiviti (töötav ujukanduri abil) ning kaitsmed mis peatavad

pumba, kui vaakum imitorus katkeb või voolamine muutub ebanormaalseks. Ujukandurite korrektne paigaldus peab välistama pumpade liialt tiheda käivitamise ja pöörlemissageduse muutumise. Automaatikakilbis peab olema võimalik muuta pumpade lülitusjärjekorda ja lülitada tööpumbalt ümber varupumbale [23].



Joonis 34. Automaatikakilbi korpus ja sisu [27]

Automaatikakilbid on suurematel võrguvaldajatel kaugloetav ning kilbist kättesaadav põhiline informatsioon on [29]:

- reoveepumpade töötundide arvestus
- reoveepumpade lülituskordade arv
- energiaarvestus
- juhtimishäire signaal- pump ei käivitu vaatamata signaali edastamisele

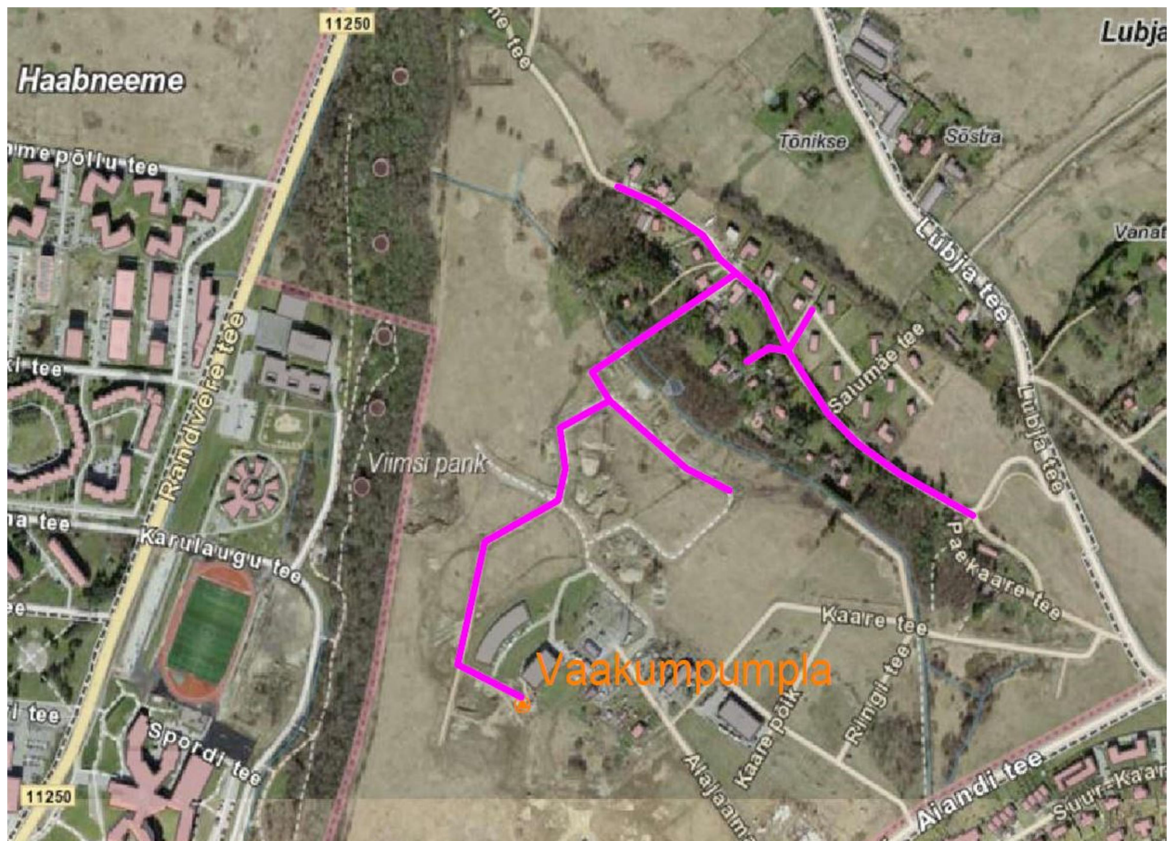
3. Analüüsi aluseks olevate piirkondade määramine ning iseloomustus.

3.1 Viimsi Vesi AS vaakumkanalisatsioonitorustik Lubja piirkonnas

Viimsi Vesi AS tellimusel korraldatud riigihankel „Lubja mäepealse torustike projekteerimis-ehitustöövõtt“ osutus edukaks Merko Infra AS aasta 2015 kevadel. Lähtuvalt asukohast (Lubja küla, Viimsi vald) tingitud geoloogilistest olukorrast otsustati reoveekanalisatsiooni torustiku lahendusena kasutada vaakumkanalisatsiooni. Ehitus-geoloogilise uuringu tulemused näitasid, et maapinnast 0,2-0,3 m sügavusel algab kesktugevast paekivist pinnasekiht. Viimsi Vesi AS poolt oli tööde tellimuse eesmärk rajada Paelille, Paeheina ja Paenurme tee, Lubja külas, Viimsi vallas joogi- ja reovee torustik, mis oli varasemalt lahendatud lokaalse süsteemina (Joonis 35) . Tööde Tellija oli huvitatud tööde kiirest kulgemisest ning hea lõpptulemuse saamisest, seoses Euroopa Ühtekuuluvusfondi toetustingimuste ning tähtaegadega[30].

Ehitustööde käigus rajati vaakumtorustik pikkusega 2300 jm läbimõõduga De160 ja De110 ning 37 vaakumkanalisatsioonikaevu. Paigaldatud vaakumtorustiku toimivuse tagab üks rajatud vaakumpumpla mis asub Viimsi Vesi AS territooriumil (Paelille tee 1, Viimsi vald). Ehitustööde kestus joogi- ja reovee torustike rajamisel oli 3 kuud. Kiire töötempo tagati vaakumkanalisatsiooni torustiku suhteliselt väikese rajamissügavusega (1-1,5m sügavusel) maapinnast. Ehitustööde tulemusena tekkis 43 kinnistul liitumisvõimalus ühisveevärgi ja kanalisatsiooniga [31]. Aastal 2017 laiendati liitumisvõimalust Paelille ja Paeheina tee, Lubja küla arendaja soovil 90 jm pikkuselt ning paigaldati 13 vaakumkanalisatsioonikaevu [30].

Käesolevaks ajaks on elanikud liitunud kanalisatsioonivõrguga 23% ulatuses ning võrguvaldaja suurendanud selles osas klientide arvu [30].



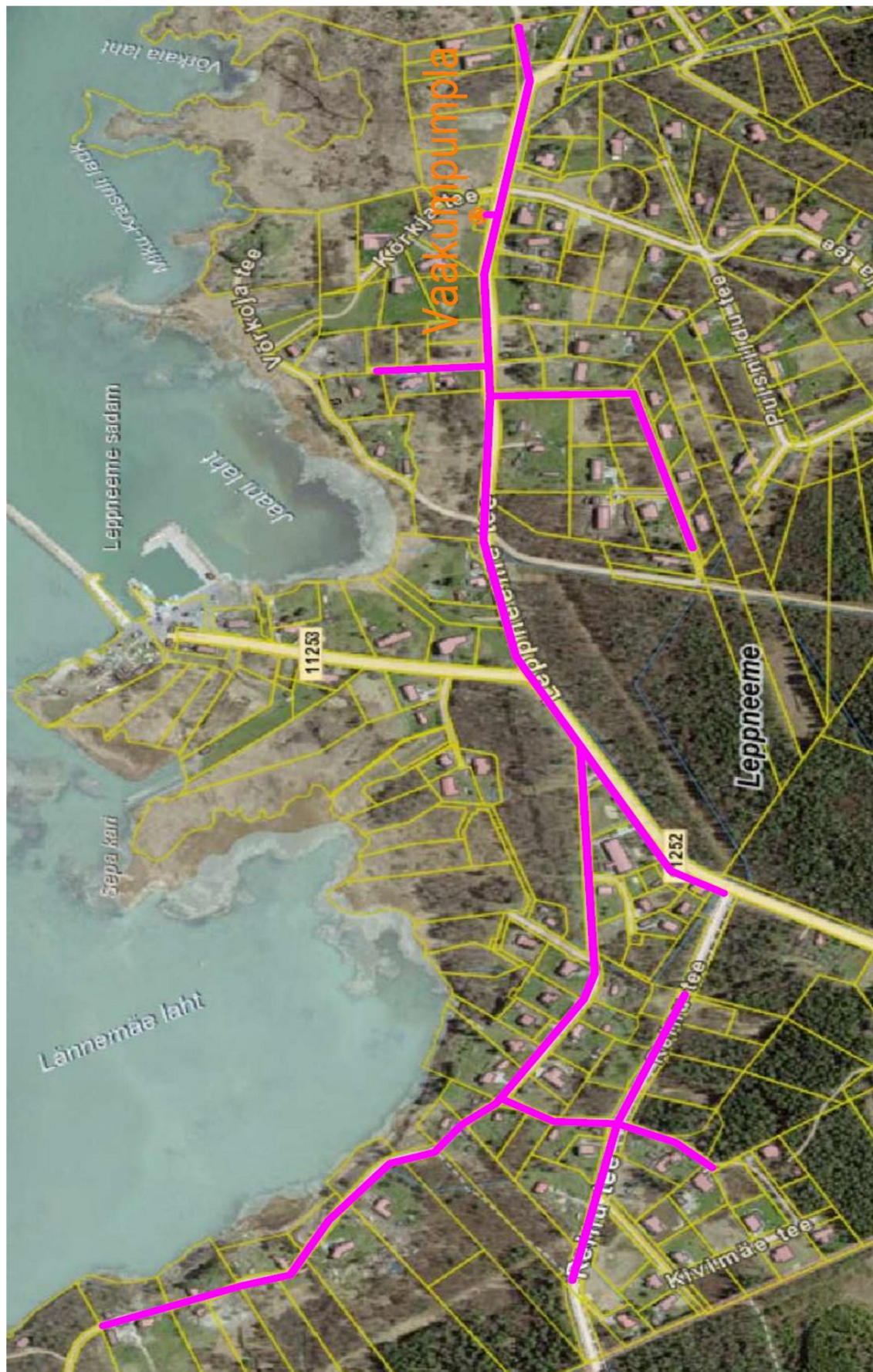
Joonis 35. Lubja küla, Viimsi vald vaakumkanalisatsiooni asukoha skeem

3.2 Viimsi Vesi AS vaakumkanalisatsioonitorustik Leppneeme piirkonnas

Viimsi Vesi AS tellimusel korraldatud riigihankel „Leppneeme torustike projekteerimine ja ehitus“ osutus edukaks Merko Infra AS aasta 2012 kevadel. Viimsi Vesi AS poolt oli tööde tellimuse eesmärk rajada Leppneeme külla, Viimsi vald ühisveevärgi ja kanalisatsiooni torustik, mis oli varasemalt lahendatud lokaalse süsteemina (Joonis 36) [30].

Ehitustööde käigus rajati vaakumtorustik pikkusega 3900 jm läbimõõduga De160 ja De110 ning 74 vaakumkanalisatsioonikaevu. Vaakumsüsteemi toimivuse tagab üks rajatud vaakumpumpla mis asub Kõrkja tee 1a, Viimsi valla territooriumil. Ehitustööde tulemusena tekkis 118 kinnistul liitumisvõimalus ühisveevärgi ja kanalisatsiooniga ning lisaks tagatud kanalisatsioonivõrgu laiendamisevõimalus 13 kinnistule [31].

Käesolevaks ajaks on elanikud liitunud kanalisatsioonivõrguga 50% ulatuses ning võrguvaldaja suurendanud selles osas klientide arvu [30].



Joonis 36. Leppneeme küla, Viimsi vald vaakumkanalisatsiooni asukoha skeem

3.3 Viimsi Vesi AS iseoolne kanalisatsioonitorustik Leppneeme piirkonnas

Viimsi Vesi AS tellimisel korraldatud riigihankel „Kiigemäe tee joogi- ja reoveetorustike ehitustööd“ osutus edukaks AS K&H aasta 2008 sügisel (Joonis 37) [30].

Ehitustööde käigus rajati iseoolset ja surve kanalisatsioonitorustik pikkusega 2900 jm läbimõõduga De110, De160 ja De200 ning 5 reoveepumplat. Ehitustööde tulemusena tekkis 148 kinnistul liitumisvõimalus ning käesolevaks ajaks on liitumisvõimalust kasutanud 80% elanikest.

3.4 Strantum OÜ vaakumkanalisatsioonitorustik Vääna-Jõesuu piirkonnas

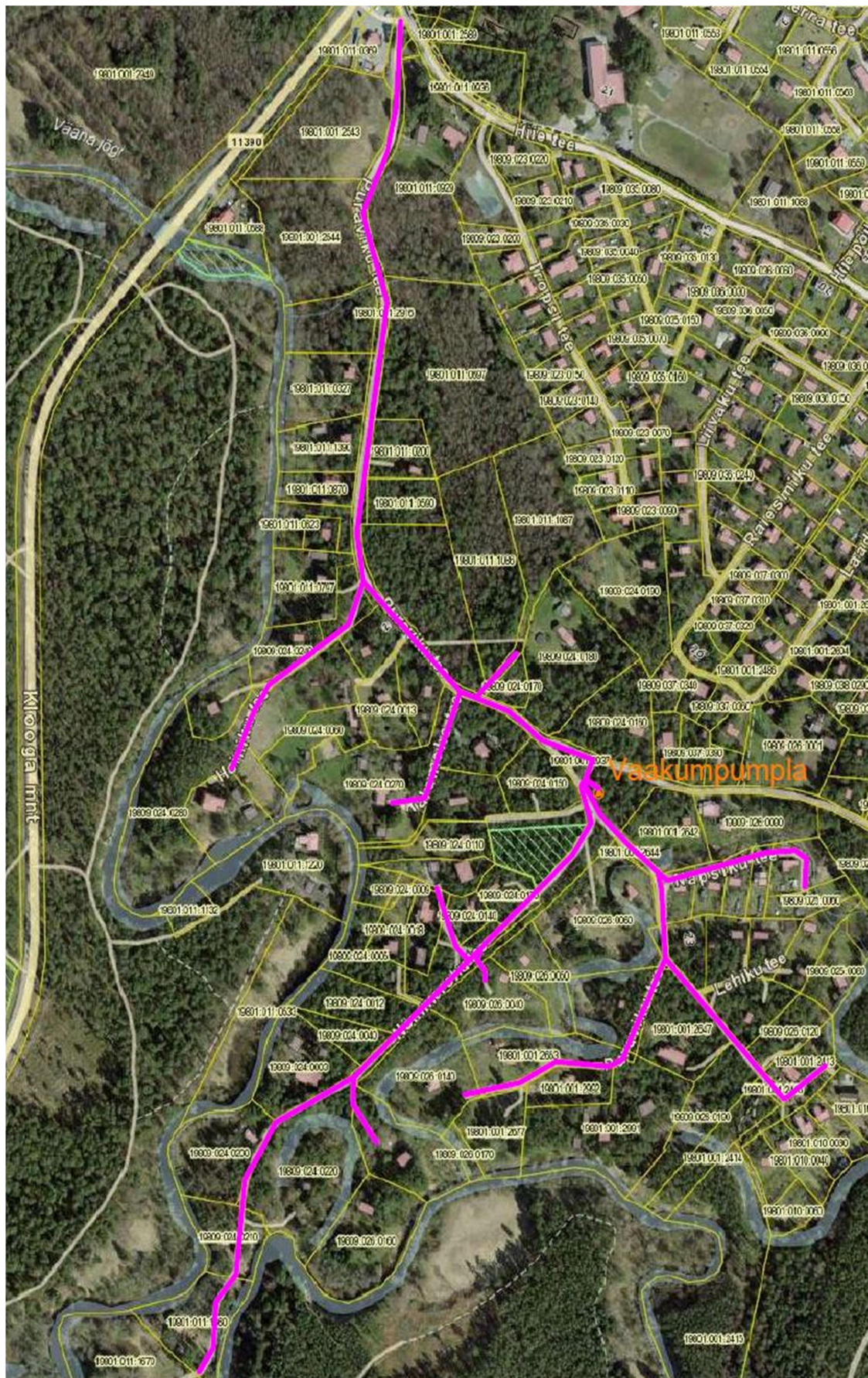
Strantum OÜ tellimisel korraldatud riigihankel „Vääna-Jõesuu ühisveevärgi ja kanalisatsioonitorustiku osa 4 ehitustööd“ osutus edukaks Merko Infra aasta 2013 kevadel.(Joonis 38) [33].

Ehitustööde käigus rajati vaakumtorustik pikkusega 3600 jm läbimõõduga De90 kuni De160 ning paigaldati 62 vaakumkanalisatsioonikaevu. Vaakumsüsteemi toimivuse tagab üks vaakumpumpla mis asub Oominõmme tee 2, Harku valla territooriumil. Ehitustööde tulemusena tekkis 83 kinnistul liitumisvõimalus ühisveevärgi ja kanalisatsiooniga ning käesolevaks ajaks on liitumisvõimalust kasutanud 45% elanikest [33].

3.5 Strantum OÜ iseoolne kanalisatsioonitorustik Suurupi piirkonnas

Strantum OÜ tellimisel korraldatud riigihankel „Suurupi vee- ja kanalisatsioonitorustiku ehitustööd, II etapp“ osutus edukaks Nordecon AS aasta 2013 suvel (Joonis 39) [33].

Ehitustööde käigus rajati iseoolset ja surve kanalisatsioonitorustik pikkusega 2800 jm läbimõõduga De110, De160 ja De200 ning 3 reoveepumplat. Ehitustööde tulemusena tekkis 89 kinnistul liitumisvõimalus ühisveevärgi ja kanalisatsiooniga ning käesolevaks ajaks on liitumisvõimalust kasutanud 33% elanikest [33,35].



Joonis 38. Väana-Jõesuu, Harku vald vaakumkanalisatsiooni asukoha skeem



Joonis 39. Suurupi küla, Harku vald isevoolse kanalisatsioonitorustiku asukohaskeem

4. Vaakumkanalisatsiooni rajamise ja ekspluatatsiooni tasuvusanalüüs

4.1 Ehitusmaksumuse analüüs

Kõik eelmainitud piirkonnad on ehitatud Viimsi Vesi AS ja Strantum OÜ poolt

Euroopa Ühtekuuluvusfondi toetusel. Koos ettenägematute tööde reserviga on abikõlbulike tööde teostamisel võrguvaldaja omafinantseeringu osakaal olnud vahemikus 14-18% [30,33]. Viimsi Vesi AS on teostanud aastatel 2007 kuni 2015 veemajanduse renoveerimis ja laiendamisprojekte 26,5 miljoni euro eest, millest omafinantseering moodustab 4,7 miljonit eurot. Strantum OÜ on teostanud aastatel 2007 kuni 2015 veemajandus renoveerimis- ja laiendamisprojekte 45,44 miljoni euro eest, millest omafinantseering moodustab 6,5 miljonit eurot [19]. Euroopa Ühtekuuluvusfondi poolt toetatud projektide omafinantseeringu suurus sõltub rahastatava projekti sisust ja mitteabikõlbulike tööde mahust.

Käesolevas töös käsitletud ehitustööd on teostatud viimase 10 aasta jooksul ning riigihanke läbiviimise tulemusel. Kiigemäe tee, Leppneeme küla piirkonna ehitustööd toimusid aastal 2009, mil ehitushinnad olid langustrendis ning ehitusfirmadel puudus piisavas mahus tellimusi [34]. Selle tulemusel oli ehitushind Kiigemäe piirkonnas teistest võrreldavatest madalam. Hilisematel aastatel hangitud ehitustööde ühikhinnad olid kallimad ning see oli tingitud ehitusturul piisavast tellimuste arvust ja majandustegevuse kasvust. Eesti Konjunkturiinstituudi andmete alusel on erinevus 2009 ja 2014 aasta majandusussaldusindeksis 23% ning ehitusbaromeetri kindlustundeindeksis 250% aasta 2014 kasuks [34].

Vaadeldavate piirkondade riigihanke tulemusel selgunud ning hilisemate muudatustööde tulemusel kujunenud ehitusmaksumused sisaldavad ka joogiveetorustiku paigaldushinda. Käesolevas töös ei ole vajalik eraldada üldmaksumusest joogiveetorustiku paigaldushinda, kuna see sisaldub terves valikus ühtselt. Seetõttu sisaldab maksumus liitumispunkti kohta ka joogiveetorustiku ehitustööde hinda. Maksumus liitumispunkti kohta on arvestatud tervikliku süsteemi võimalike klientide arvuga-sõltuvalt hoonestustüübist ning arendusplaanidest (Tabel 3).

Tabel 3- Viimsi Vesi AS ja Strantum OÜ piirkondade ehitusmaksumused, liitumispunktide ja liitunud klientide arv [30,33].

Piirkond	Süsteem	Ehitusmaksumus €	LP-de arv	Võimalik klientide arv	Liitunud klientide arv	Maksumus LP kohta	Maksumus liitunud kliendi kohta	Maksumus 100% liitumise korral
Leppneeme	Isevoolne	1 060 861,00 €	148	158	126	7 167,98 €	8 419,53 €	6 714,31 €
Leppneeme	Vaakum	2 336 838,00 €	74	168	85	31 578,89 €	27 492,21 €	13 909,75 €
Lubja	Vaakum	697 945,00 €	37	112	25	18 863,38 €	27 917,80 €	6 231,65 €
Vääna-Jõesuu	Vaakum	1 724 274,00 €	62	83	37	27 810,87 €	46 602,00 €	20 774,39 €
Suurupi	Isevoolne	988 742,00 €	89	89	29	11 109,46 €	34 094,55 €	11 109,46 €

Tabelis 3 väljatoodud ehitusmaksumus on lõplik tööde hind ilma käibemaksuta pärast ehitustööde valmimist ning muudatus- ja lisatööde kalkuleerimist. Veerus „LP-de arv“ on toodud väljaehitatud liitumispunktid ühe kinnistu kohta- vastavalt osade kinnistute hoonestusõigusele on ühe liitumispunktiga võimalik liituda kuni 6-l kliendil (paaris- ja ridaelamud).

Leppneeme ja Suurupi isevoollise kanalisatsioonitorustikuga kaetud alade maksumus ühe kliendi kohta eeldusel, et kõik võimalikud liitumised on toimunud, on vastavalt 6 714,31€ ja 11 109,46€. Selline maksumuse erinevus on tingitud ehitustööde toimumise perioodi tõttu- Suurupi ehitustööd 2013. aastal ning Leppneeme ehitustööd 2008. aastal. Ehitusmaksumust mõjutavad sisendhinnad nagu näiteks tööjõud, materjalid, kütus olid sel perioodil selgelt kasvavas suunas ning sellest ka ehitusmaksumuse suurenemine. Samuti tuleb arvestada, et Suurupi piirkonnas rajati kaevikud paekivipinnases, mis suurendab ehitustööde keerukust ja ajakulu, mõjutades ehitusmaksumust kuni 25% ulatuses suurenemise poole.

Võrreldes Viimsi Vesi AS ja Strantum OÜ vaakumkanalisatsiooniga kaetud alade ehitusmaksumust ühe kliendi kohta, eeldusel, et kõik võimalikud liitumised on toimunud siis majanduslikult kasumlikuim on Lubja piirkonna vaakumtorustik Viimsi vallas. See tuleneb ümbritsevate kinnistute hoonestusõigusest- enamus kinnistuid on kas paaris- või ridaelamud. Võrguvaldajale kulusid võrgu laiendamisega ei kaasne- lisanduva ühisveevärgi ja kanalisatsioonitorustiku väljaehitamise kohustus on liitujatel ehk tänasel

päeval kinnisvaraarendajatel. Vääna-Jõesuu vaakumkanalisatsiooniga kaetud ala ehitusmaksumuse ühe kliendi kohta tõstab kõrgeks samuti just hoonestusõigus- üks eramu ühe liitumispunkti kohta ning mõned ridaelamud. Kuid samas tuleb ka märkida, et raskete geoloogilist tingimuste tõttu (pae- ja liivakivi pinnas) oli hankes alternatiivlahendusena küsitud isevoolse ja surve kanalisatsioonitorustiku ehitusmaksumus hinnatud ilma käibemaksuta summale 1 890 797€ [33].

Kogutud andmete analüüsi põhjal võib öelda, et vaakumkanalisatsiooni ehitustööd võib majanduslikult õigustatuks pidada tiheasustusega piirkonnas kus kinnistutel on klientide arv suur, eelkõige näiteks ridaelamud ja kortermajad. Vaakumkaev tagab piisava reovee kogumisvõimekuse ning vaakumpumpla tootlikkuse dimensionimine on juba teostatav väheste rahaliste vahenditega. Samuti tasub Eesti oludes kaaluda vaakumkanalisatsiooni rajamist rasketes geoloogilistes tingimustes- vähendades seeläbi rajatavate kaevikute sügavust ning ehitusmaksumust.

4.2 Reovee- ja vaakumpumpla elektritarbimise analüüs

Vaadeldavate piirkondade reovee- ja vaakumpumplate tööpumbad käivituvad vastavalt piirkondade reoveehulgale vähemalt üks kord päevas [30,33]. Reovee- ja vaakumpumplate elektritarbimine on mõlema võrguvaldaja poolt kaugloetav. Kuna vaakumkanalisatsiooni võrk on hiljuti rajatud ning klientide võrguga liitumine on toimunud suuremas mahus 2015. aasta lõpus või 2016. aasta alguses, siis käesolevas töös analüüsime aasta 2016 elektritarbimist (Tabel 4)

Tabel 4. Viimsi Vesi AS ja Strantum OÜ vaadeldavate piirkondade reovee- ja vaakumpumplate elektritarbimine aastal 2016.

Nimetus	Valdaja	Elektritarbimine 2016, kWh	Klientide arv	kWh kliendi kohta aastas
Vääna-Jõesuu VP	Strantum	5556	37	150
Aruheina RVP	Strantum	1521	29	85
Kalda tee RVP	Strantum	492		
Vaikuse RVP	Strantum	439		
Lubja VP	Viimsi Vesi	6842	25	274
Leppneeme VP	Viimsi Vesi	12384	85	146
Kivimäe RVP	Viimsi Vesi	178	126	30
Pärnapuu RVP	Viimsi Vesi	391		
Merekivi RVP	Viimsi Vesi	265		
Neemesauna RVP	Viimsi Vesi	224		
Lepasilla RVP	Viimsi Vesi	2760		

Tabelis 4 toodud elektritarbimine on näidatud aasta summana. Nähtub, et kuude lõikes on tarbimine madalaim jaanuarist märtsini. Ilmselt on selle põhjuseks elanike hooajaline hoonete kasutamine, seejuures oluliselt erineb teistest selles osas Vääna-Jõesuu piirkond. Suurimad pumplate elektritarbimised esinevad kevadel ja suvel. Siinkohal on ilmselt põhjuseks samuti elanike aktiivne hoonete kasutus ning kindlasti ka infiltratsioon suurte sademetega perioodidel.

Kõik vaadeldavad reoveepumplad on olemuselt kompaktpumplad selliselt, et puudub vajadus pumpla kütmiseks ning valgustamiseks. Kõikides reoveepumplates on kaks reoveepumpa mis töötavad roteeruvalt, vahetades töötsükli teostavat pumpa. Elektritarbimist mõjutab pumbatava reovee kogus ning seeläbi tekkiv töötsükli arv. Strantum OÜ haldusalas vaadeldava isevoolse kanalisatsioonitorustikuga kaetud ala suurima koormusega pumpla on „Aruheina RVP“ millesse koondub ligikaudu 1/3 reoveest isevoolselt ning lisaks „Kalda tee RVP“ ja „Vaikuse RVP“ pumplatest kogutud reovesi. Viimsi Vesi AS haldus-alas vaadeldava isevoolse kanalisatsioonitorustikuga kaetud ala suurima koormusega pumpla on „Lepasilla RVP“, mis pumpab eelnevalt nelja reoveepumpla poolt kogutud reovee edasi eelvoolu suunas. Vaakumpumplad nii Strantum OÜ kui ka Viimsi Vesi AS haldusalas on rajatud eraldi hoonesse, millel on eraldi valgustus ning elektriküte. Kõikides käsitletud vaakumpumplates on kaks reoveepumpa ning kaks vaakumpumpa.

Tabelis 4 väljatoodud tulp „kWh kliendi kohta aastas“ iseloomustab ühe liitunud kliendi reovee piirkonnast ärajuhtimiseks kuluvat elektrienergia hulka. Kuna reoveepuhastusjaamad asuvad piirkondadest suhteliselt kaugel, mis omakorda tingib veel mitme reoveepumpla kasutamise ning lisanduvate reoveehulkade arvestamise, siis käesolevas töös piirdume just piirkonna põhise elektrienergia hulga arvutamisega kliendi kohta. Saadud tulemused näitavad selgelt, et elektritarbimine ühe kliendi kohta on vaakumpumplas tunduvalt suurem kui reoveepumplatega süsteemi korral. Selle peamiseks põhjuseks on vaakumpumplas asetsevate pumpade arv ning nende võimsus, operaatoriruumi kütmise vajadus, valgustus ning ka kindlasti automaatikakilbi energiatarve. Nimelt on vaakumpumplatesse paigaldatav automaatikakilp suurem elektrienergia tarbija kui reoveepumplate juurde kuuluvad automaatikakilbid. Kindlasti suureneks ka reoveepumplate elektrienergia tarbimine kui kasutataks kuivasetusega pumpasid ning oleks rajatud operaatoriruum, mis omakorda varustatud elektriküttega.

Kogutud andmete analüüsi põhjal võib öelda, et vaakumkanalisatsiooni eksploatatsioonikulud elektritarbimise põhjal on suuremad kui isevoolse kanalisatsioonitorustikuga lahenduse korral. Kuna vaakumpumplate dimensionimisel on arvestatud maksimaalse liitujate arvuga ning vooluhulgaga, siis on võimalik elektritarbimist vähendada tulevikus uute liitujate abil. Kuid siiski kogutud andmed näitavad, et vaakumkanalisatsiooni võrgus on kliendi kohta suurem elektrienergia tarbimine kui isevoolse kanalisatsiooniga kaetud aladel.

4.3 Infiltratsioon

Infiltratsioon on põhja- või muu võõrvee tungimine kanalisatsioonivõrku. Uute kollektorite infiltratsioonivee vooluhulk ei tohi olla suurem kui 0,33 l/s torustiku kilomeetri kohta. Andmete puudumisel võetakse isevoolse kanalisatsiooni dimensionimisel infiltratsioonivee suurimaks vooluhulgaks 3 l/s torustiku kilomeetri kohta või 1 l/s valgala hektari kohta [23].

Viimsi Vesi AS ja Strantum OÜ reoveepumplatel puuduvad vaadeldavas piirkonnades pumbatud reoveehulga mõõturid [30,33]. Seetõttu ei saa käesolevas töös võrrelda klientide joogivee tarbimist reovee hulgaga. Reoveepuhastusjaama siseneva vooluhulga ja klientidele tarnitava joogivee hulga võrdlemine ei anna antud kontekstis tulemust, kuna vaadeldav ala muutub väga suureks ning ebamääraseks. Reoveepumplate pumpade töösükleid perioodiliselt jälgides selgub, et suurte sademetega perioodi või lume sulamise ajal nende arv suureneb. See on selge märk infiltratsioonist ning selle olemasoluga isevoolse kanalisatsioonitorustiku puhul nõustuvad kõik võrguvaldajad.

Vaakumkanalisatsiooni puhul on infiltratsiooni jälgitav vaakumklappide avanemise sagedust analüüsides. Tegemist on lekkekindla süsteemiga, mille osaks oleva vaakumklapi liialt sagedane avamine viitab pigem kliendi poolt teostatavale keelatud tegevusele. Kevad- ja sügisperioodil on täheldatud erinevate majapidamises olevate anumate tühjendamist või muid võõrvee pumpamist kanalisatsioonitorustikku, suurendades seeläbi vooluhulka ning põhjustades vaakumklapi tihedat avanemist[13].

4.4 Isevoolse ja vaakumkanalisatsiooni hooldustööd

Viimsi Vesi AS ja Strantum OÜ ei teosta isevoole kanalisatsioonitorustiku

ummistusi ennetavat torustiku survepesu- tööd teostatakse ummistuse tekke korral. Vaadeldavad piirkonnad on suhtelist hiljuti rajatud ning ei ole täheldatud ehitusvigadest tingitud ummistuste või muude avariilukordade teket [30,33]

Reovee- ja vaakumpumplate regulaarne hooldus toimub üks kord aastas. Hooldustööde käigus teostatakse mahuti survepesu, puhastatakse reoveepumbad ning kontrollitakse nende kulumistaset. Teostatud hooldustööde arv aastal 2015 ja 2016 vaadeldavates piirkondades on toodud tabelis 5.

Tabel 5. Hoolduskordade arv Viimsi Vesi AS ja Strantum OÜ vaadeldavate piirkondade pumplates

Nimetus	Valdaja	Hoolduskord aastal 2015	Põhjus	Hoolduskord aastal 2016	Põhjus
Vääna-Jõesuu VP	Strantum	0	-	1	Regulaarne hooldus
Aruheina RVP	Strantum	1	Regulaarne hooldus	2	Regulaarne hooldus, reoveepumba vahetus
Kalda tee RVP	Strantum	1	Regulaarne hooldus	1	Regulaarne hooldus
Vaikuse RVP	Strantum	1	Regulaarne hooldus	1	Regulaarne hooldus
Lubja VP	Viimsi Vesi	0	Regulaarne hooldus	1	Regulaarne hooldus
Leppneeme VP	Viimsi Vesi	1	Regulaarne hooldus	1	Regulaarne hooldus
Kivimäe RVP	Viimsi Vesi	1	Regulaarne hooldus	1	Regulaarne hooldus
Pärnapuu RVP	Viimsi Vesi	1	Regulaarne hooldus	1	Regulaarne hooldus
Merekivi RVP	Viimsi Vesi	1	Regulaarne hooldus	1	Regulaarne hooldus
Neemesauna RVP	Viimsi Vesi	1	Regulaarne hooldus	1	Regulaarne hooldus
Lepasilla RVP	Viimsi Vesi	1	Regulaarne hooldus	1	Regulaarne hooldus

Strantum OÜ haldusalas olev reoveepumpla „Aruheina RVP“ juures teostati 2016. aastal avariikorras ühe reoveepumba vahetustööd. Ülejäänud tööd nii Viimsi Vesi AS kui ka Strantum OÜ haldusalas on olnud plaanipäraseid hooldustööd [30,33].

Vaakumpumpla hooldustööd on 10-20% mahukamad kui reoveepumpla hooldustööd, mis on tingitud hooldepunktide suuremast arvust ning sellest tekkivast ajakulust. Kui reoveepumpla regulaarse hooldustöö maksumuseks arvestab Strantum OÜ 250€, siis vaakumpumpla hooldustöö maksumus arvestatakse 300€. Lisanduv summa tuleneb tehniku lisanduvatest töötundidest, mahutite survepesu kestus on samaväärne reoveepumplaga [33].

Vaakumkanalisatsiooni ekspluatatsiooni käigus on Viimsi ja Harku valla piirkondades enim probleeme tekitanud vaakumkaevus paiknev vaakumklapi tööd juhtiv kontrolleri rike on üldjuhul tingitud kas signaalkaabli või vaakumsüsteemi ühendusvooliku mittekorrektsest ühendusest. Kontrolleri rikkeid esineb 2-3 korral aastas kogu Eestis paigaldatud vaakumklappide kohta [13]. Vaakumklapi kontrolleri rike väljendub enamikul juhtudel selles, et vaakumklapp ei sulgu ning vaakumsüsteemi alarõhk väheneb [36].

Kogutud andmete ja vee-ettevõttega suhtluse alusel võib öelda, et vaakumkanalisatsiooni ja isevoolse kanalisatsiooni hoolduskulud on võrdsed ning tulevikus on vaakumkanalisatsioonitorustiku hooldustööd eeldatavasti väiksema maksumusega. Vaakumpumpla on küll suurema hoolduskuluga, kuid praktika kohaselt vajab ka isevoolne kanalisatsioonitorustik tulevikus perioodilist survepesu. Siinkohal tuleb arvestada amortisatsiooni ning isevoolse kanalisatsioonitorustiku hoolduskulude tõusmist.

4.5 Viimsi Vesi AS seisukoht vaakumkanalisatsiooni tasuvuse ja toimivuse osas

Viimsi Vesi AS alustas vaakumkanalisatsiooni ehitustööde planeerimisega aastal 2010. Tooteid ja võimalikke lahendusi tutvustas Flovac Nordic OÜ ning osales ka üldplaneeringu loomisel. Projekteerimistöödega alustati aastal 2012 ning need teostas Merko Infra AS.

Üheks eeliseks on Viimsi Vesi AS pidanud nii planeerimise kui ka hilisemas ekspluatatsiooni etapis infiltratsiooni puudumist. PE materjalist survetorud on lekkekindlad ning tänase päevani lekkeid torustiku osas pole ilmnenud. Kuna vaakumkaevud on üldjuhul maapinnast kõrgemal, siis puudub ka infiltratsioon kaevuluugi vahelt, mida Viimsi Vesi AS on täheldanud isevoolse kanalisatsioonitorustiku puhul. Ebaloomulikult suured vooluhulgad kinnistult vaakumkaevu on siiani olnud põhjustatud kliendi keelatud tegevusest ehk võõrvee juhtimisest kanalisatsioonivõrku.

Teiseks eeliseks toob Viimsi vesi AS esile vaakumkanalisatsiooni võrgu monitooringu- ja automaatikasüsteemi. Jadaühenduses olevate vaakumklapi kontrolleri abil on väga operatiivselt ning lihtsalt võimalik tuvastada rikkepunkti asukoht. Kogu süsteemi tehnilist seisukorda on võimalik jälgida igal ajahetkel arvutist või nutitelefoni.

Samuti toimib hästi automaatne teavitussüsteem, mis märgib nii avariilukordasid kui ka liialt tihedat vaakumklapi avanemist. Vaakumklapi liialt tihe avanemine viitab Viimsi Vesi AS hinnangul võõrvee süsteemi juhtimisele ning selle alusel on kliente korduvalt hoiatatud keelatud tegevuse mittejätkamiseks.

Kokkuvõtvalt saab öelda, et Viimsi Vesi AS on vaakumkanalisatsiooni rajamise otsusega rahul ning etteheited selles osas puuduvad. Ehitusmaksumus ja ekspluatatsioon kujuneb küll teatud tingimustel isevoolsest kanalisatsioonist kallimaks, kuid hilisem probleemivabam kasutus ning hea seire võimalus korvavad selle võrguvaldaja seisukohalt. Hetkel oleme vaakumkanalisatsiooni võrku laiendamas Lubja küla piirkonnas, et tagada süsteemi täiskoormusel töötamine aastaks 2020. Planeeritud on ka uue vaakumkanalisatsiooniga kaetud piirkonna ehitustööd, tagamaks uutele klientidele liitumisvõimaluse ühisveevärgi ja kanalisatsiooniga [30].

4.6 Strantum OÜ seisukoht vaakumkanalisatsiooni ja toimivuse osas

Vaakumkanalisatsiooni rajamist hakkas Strantum OÜ planeerima aastal 2012. Sel perioodil toimusid isevoolse kanalisatsioon projekteerimistööd Vääna-Jõesuu piirkonnas. Kuna keerulised geoloogilised tingimused suurendasid isevoolse kanalisatsiooni ehitusmaksumust, siis läbirääkimistega riigihanke raames leiti soodsam lahendus, vaakumkanalisatsiooni ehitustööde näol. Merko Infra AS osutus hankel soodsaimaks ning hilisemad ehitustööd edenesid tagasilöökideta.

Suurimaks eeliseks isevoolse kanalisatsiooniga võrreldes on Strantum OÜ hinnangul süsteemi operatiivne ja lihtne jälgitavus- mõned toimunud rikked on väga kergesti avastatavad ning ka asukoht hõlpsalt määratav. Isevoolse kanalisatsiooni puhul kulub selgelt rohkem aega probleemi asukoha määramiseks ja kindlaks tegemiseks. Strantum OÜ-l on partneriks vaakumkanalisatsiooni võrgu jälgimisel Flovac Nordic OÜ, kes samuti teavitab avastatud puudustest ning kitsaskohtades väga operatiivselt. Koostöös Flovac Nordic OÜ-ga on Strantum OÜ 2016. aastal analüüsinud vooluhulkasid ning vaakumpumpla tööd optimaalsemaks dimensiooninud.

Eelisenä tuleb ka kindlasti märkida vaakumkanalisatsiooni võrgu lekkekindlust ning infiltratsiooni puudumist. Vääna-Jõesuu piirkonnas võib praktiliselt öelda, et infiltratsioon puudub- kui väljaarvata klientide poolt kanalisatsiooni juhitud võõrvesi. Võrdluseks võib märkida, et Suurupis Aruheina ja Vaikuse tee isevoolse kanalisatsiooniga

piirkonnas Strantum OÜ haldusalas, suureneb reoveepumplate töötüklite arv vihmaperioodil silmanähtavalt. Pikema vihmaperioodi korral võib isegi nentida peaaegu 1,5 kordselt suuremat vooluhulka kanalisatsioonitorustikus.

Vaakumkaevude ja vaakumpumpla hooldustöid teostab Strantum OÜ perioodiliselt ning erilisi puudujääke või mittesobivust kohaliku olukorraga pole avastanud. Vaakumklapi sulgemisega on ühel korral olnud probleeme, mis oli tingitud kontrolleri vaakumtoru lekkest. Vead on suutnud Strantum OÜ koostöös Flovac Nordic OÜ-ga likvideerida 3-4 töötunni jooksul. Strantum OÜ hindab küll vaakumpumpla hooldus mõne võrra keerulisemaks, kuid vee-ettevõtte hinnangul on ka rikkeoht tänu kuivasetusega reoveepumpadele väiksem.

Strantum OÜ hindab vaakumkanalisatsiooni efektiivsust ja ekspluatatsiooni väga positiivselt. Algselt oli küll tehnilises meeskonnas probleeme uudse süsteemi opereerimisega, kuid kogemuste kasvades on see muutunud. Vajalikud hooldus- ja kontrolltoimingud saavad teostatud kiirelt ning kvaliteetselt Strantum OÜ poolt. Ehitusmaksumust hinnates kujunes küll see vaadeldavas piirkonnas soodsamaks kui iseoolne kanalisatsioon, kuid Strantum OÜ praktika kohaselt võib oletada, et teistes piirkondades oleks olukord olnud vastupidine. Strantum OÜ on oma positiivset kogemust ja hinnangut jaganud ka naabervalla vee-ettevõttega Lahevesi AS, mis on planeerimas Laulasmaa ühisveevärgi ja kanalisatsiooni projekti raames vaakumkanalisatsiooni ehitustöid.

4.7 Lühikokkuvõte tasuvusanalüüsist

Kogutud andmete ja vee-ettevõtetega suhtluse alusel on saadud informatsioon koondatud vaakumkanalisatsiooni eeliste ja puudustena tabelisse 6.

Tabel 6. Vaakumkanalisatsiooni eelised ja puudused analüüsiandmete põhjal.

Eelised	Puudused
Üks vaakumpumpla	Ehitusmaksumus
Torustiku paigaldussügavus	Vähene kasutuspraktika Eesti Vabariigis
Infiltratsiooni puudumine	
Automaatika- ja seiresüsteem	
Rikkekohtade tuvastamine	

Suurimate eelistena võib välja tuua vaakumtorustiku rajamisel ja ekspluatatsioonil paigaldussügavust, infiltratsiooni puudumist ning tervikliku kanalisatsioonivõrgu seiresüsteemi. Kasumlikkus paigaldussügavusel on tingitud vaakumkanalisatsiooni toimimiseks vajaliku „saehamba kujulise“ pikiprofiili ehk tõste kasutamisest projekteerimis- ja ehitustöödel. Infiltratsiooni puudumine vähendab vee-ettevõttele kuuluva reoveepuhastusjaama koormust, eriti suurte sademetega perioodi korral. Kasutajasõbralik automaatika- ja seiresüsteem tagav vaakumkanalisatsiooni võrgust hea ülevaate ning vajaliku informatsiooni ligipääsetavuse.

Puudusena märgin teatud olukorras suurt ehitismaksumust ning vähest praktilist kogemust Eesti Vabariigis. Lähtudes süsteemi hiljutisest kasutusele võtmisest ning selle uudsusest Eestis, ei ole tehnilisel meeskonnal tekkinud veel praktikat ja vilumust ekspluatatsiooni osas.

Kokkuvõte

Käesoleva töö eesmärgiks oli uurida Eesti Vabariigis rajatud reovee vaakumkanalisatsiooni ehituse ja eksploatatsiooni kuluefektiivsust.

Töö esimeses osas uuriti vaakumkanalisatsiooni, kui ühte võimalikku reovee äravoolu tehnoloogiat. Tutvustati vaakumkanalisatsiooni ajalugu ning vaakumsüsteemi toimimisprotsessi. Kirjeldati detailselt süsteemi erinevaid osasid ning nende tööpõhimõtet ja vaakumkanalisatsiooni rajamisel kasutatavaid materjale. Detailsem seletus on toodud välja Eesti Vabariigis kasutusele olevate süsteemiosade kohta.

Töö teises osas kirjeldati iseoolset kanalisatsiooni, kui võrdluse aluseks olevat reovee äravoolu tehnoloogiat. Tutvustati iseoolse kanalisatsiooni ajalugu ning anti ülevaade süsteemi tähtsamatest osadest ja kasutatavatest materjalidest.

Töö kolmandas osas kirjeldati tasuvusanalüüsi aluseks olevaid piirkondasid Strantum OÜ ja Viimsi Vesi AS haldusalas. Vaakumkanalisatsiooniga kaetud alade valikus on võetud aluseks kõik Eestis rajatud vaakumtorustikud- Viimsis Lubja ja Leppneeme külas ning Harku vallas Vääna-Jõesuu külas. Iseoolse kanalisatsiooniga kaetud alad said valitud samas mahuliselt samas suurusjärgus, et hinnata ehitusmaksumuse ja eksploatatsiooni majanduslikku tasuvust. Valiku põhjal oli selgelt märgatav, et iseoolse kanalisatsioonisüsteemi korral tuleb kasutada tunduvalt rohkem reoveepumplaid.

Töö neljandas osas analüüsiti kogutud andmete põhjal vaakumkanalisatsiooni ehitusmaksumuse ja eksploatatsiooni kuluefektiivsust. Esimesena analüüsiti ning võrreldi vaakumkanalisatsiooni ehitusmaksumust ühe kliendi kohta vee-ettevõttele võrreldes iseoolse kanalisatsiooniga. Tulemuste põhjal võib öelda, et vaakumkanalisatsiooni ehitusmaksumus ühe kliendi kohta on kallim ning teatud tingimustel isegi kuni 300 %, võrreldes iseoolse kanalisatsiooniga. Ehitusmaksumust ühe kliendi kohta mõjutab olulise määral piirkonna reljeef ja geoloogia, kinnistul asuvate klientide arv ning hanke toimumise hetkel ehitussektoris esinev tellimuste arv. Teiseks analüüsiti vaakumkanalisatsiooni eksploatatsiooni majanduslikku kulu ning võrreldi seda iseoolse kanalisatsiooniga. Tähelepanu peab juhtima vaakumpumpla elektrienergia tarbimisele ühe elaniku kohta aastas, mida on senini kirjeldatud kui vaakumkanalisatsiooni eelist. Töö käigus tekkinud suhtluses võrguvaldajatega sai autor kinnitust, et vaakumkanalisatsioon

on lekkekindel ning infiltratsioon süsteemis puudub. Käsitleti nii vaakum kui ka isevoolse kanalisatsiooni hooldustööde teostamist seoses torustikega ning pumplatega. Intervjueerides vee-ettevõtte esindajaid sai autor vaakumkanalisatsiooni süsteemi kohta palju positiivset tagasisidet- hinnati nii infiltratsiooni puudumist, hooldustööde ja seiresüsteemi lihtsust. Siiski oli ka vestlustes tunda seisukohta, et ehitusmaksumus on siiski kohati kallid ning ka hilisem elektrienergia tarbimine suur.

Autori arvamus kogutud analüüsiandmete põhjal on, et vaakumkanalisatsiooni ehitusmaksumus on Eesti Vabariigis teatud tingimustel kõrgem kui isevoolse kanalisatsiooni süsteemi korral. Vaakumkanalisatsiooni rajavad vee-ettevõtted peaksid siinkohal tegema suuremamahulist analüüsi enne projekteerimis- ja ehitustööde tellimist ning otsuse langetamist. Kindlasti tuleb ka jälgida hilisemat elektrienergia tarbimist ning selle reaalsel vajadust. Vaakumkanalisatsiooni eksploatatsiooni kulud, välja arvatud elektritarbimine, on analüüsiandmete põhjal tänasel päeval võrdsed isevoolse kanalisatsiooni hoolduskuludega. Siinkohal on autor arvamusel, et peale mõningast isevoolsete kanalisatsioonitorustike amortisatsiooni on selle süsteemi hoolduskulud suuremad kui vaakumkanalisatsiooni puhul. Vaakumkanalisatsiooni lekkekindlus ning torustike isepuhastusvõime tagab pikaajalise toimivuse ning väikesemahulised hooldustööd.

Käesolevas lõputöös teostatud andmete kogumine ja analüüs ning järeldused aitavad edaspidi kaasa vaakumkanalisatsiooni kuluefektiivsusele hinnangu andmisele enne ehitustöödega alustamist.

Summary

VACUUM SEWERAGE CONSTRUCTION AND MAINTENANCE COST-BENEFIT ANALYSIS

Mihkel Vingal

Language : Estonian

Figures : 39

Pages : 60

Tables : 6

References : 36

Appendixes : 0

Keywords: vacuum sewerage, construction cost-benefit, maintenance cost-benefit

In Estonia there is most commonly used sewage transportation type gravity sewer combined with pressure sewer. Gravity sewer is one of the most dependable and widely used system world-widely, but its construction might be complicated and resource-consuming in some situations. In Estonia there are made big investments to the public water supply expansion and renovation in last decade with European Union support, total costs reaches to 470 million euros.

In research author examined three vacuum sewerage areas and compared them with areas where gravity sewer is used. Analyzis were based on information from local water supply companies Viimsi Vesi AS and Strantum OÜ. Construction costs per customer, electricity consumption for sewage transportation per customer and maintenance costs were analyzed during the research. Network holders who was interviewed considered, that vacuum sewerage system is very simple to maintenance and the automation system is very userfriendly. Nevertheless in many situations the construction costs are very high.

As a result of the research the author claimed vacuum sewerage advantages:

- one vacuum station can serve big amount of costumers
- pipeline small mounting depth
- lack of infiltration
- simplicity of automation system
- operative failure analysis

Kasutatud allikad

1. Solomon S, „Type of Sewer Systems“, kättesaadav: http://ocw.unesco-ih.org/pluginfile.php/440/mod_resource/content/1/Urban_Drainage_and_Sewerage/1_Introduction/Types%20of%20sewer%20systems/Type_of_sewer_systems.pdf
2. Marsalek J, Maksimovic C, Zeman E, Price R, „Hydroinformatics Tools for Planning, Design, Operation and Rehabilitation of Sewer Systems“, 2010
3. Paal L, Mölder H, Tibar H, „Veevarustus ja kanalisatsioon“, 1981
4. „History of vacuum sewer system“, kättesaadav <http://enviren.gr/content/view/14/35/lang,en/>
5. United States Patent Office „Pneumatic sewer system“, 13.09.1892. Kättesaadav: http://www.sewerhistory.org/images/aus/aus4/1892_482439.pdf
6. Uzair Usman, Flovac Systems „History of vacuum Sewerage Systems“, 2010
7. U.S. Environmental Protection Agency „Alternative Wastewater Collection Systems Manual“, 1991
8. Water Environment Federation „Vacuum Sewers 101“, 2007
9. Flovac Collection Pit, kättesaadav: <http://flovac.com/flovac-vacuum-system-pe-collection-pit/>
10. Water Environment Federation „Vacuum Sewers- design and installation guidelines“, 2007
11. Inax Corporation, US Patent US5280872A, „Vacuum valve for a sewage collection system“, 1994
12. Roediger Anlagenbau GmbH, US Patent US5657784A, „Control arrangement for actuating a shut-off valve and method of operation“, 1997
13. Flovac Nordic OÜ, www.flovac.ee, Georg Sarap, isiklik suhtlemine, 10.04.2017
14. Wikipedia, „Rotary vane pump“, kättesaadav: https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_vane_pump
15. Wikipedia, „History of water supply and sanitation“, kättesaadav: https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_water_supply_and_sanitation
16. „Sewer History“, kättesaadav: http://www.sewerhistory.org/chronos/early_roots.htm
17. Wikipedia, „Tallinna ajalugu“, kättesaadav: https://et.wikipedia.org/wiki/Tallinna_ajalugu#Linnataristu_areng_2
18. Tallinna Vesi AS, tegevuse ülevaade, kättesaadav: <https://www.tallinnavesi.ee/et/investor/ettevottest/tegevuse-ulevaade/>

19. Keskkonna Investeeringute Keskus, toetusvoor 2007-2013, kättesaadav:
<https://kik.ee/et/rahastatud-projektid>
20. Sustainable sanitation and water management, „Combined sewers“, kättesaadav:
<http://www.sswm.info/content/conventional-sewers-combined-sewers>
21. Orenco Systems INC, Engineered solutions, kättesaadav:
http://www.orencosystems.com/systems/wastewater_collection.cfm
22. US Environmental Protection Agency, „Gravity Sewer systems Technology Fact sheet“, 2002
23. Eesti Standardikeskus, „EVS848:2013 Väliskanaliseerimisvõrk“, 2013
24. Käärid S, „Linnade ja asulate sanitaartehnilised rajatised“, 2008
25. Pipelife Eesti AS tootekataloog, kättesaadav:
http://www.pipelife.ee/ee/media/pdf/catalogs/Reoveekanaliseerimine_2408.pdf
26. Krah Pipes OÜ tootekataloog, kättesaadav: <http://www.krah-pipes.ee/uploads/Kataloogid/krahvwapp.pdf>
27. Fotod ehitustöödest, M.Vingal
28. Stanton Bonna Concrete Limited, <http://www.stanton-bonna.co.uk>
29. Puhastid OÜ, www.puhastid.ee, Veigo Ulla, isiklik suhtlemine, 17.04.2017
30. Viimsi Vesi AS, www.viimsivesi.ee, Eero Antons, isiklik suhtlemine 17.04.2017
31. Merko Infra AS, „Lubja küla vee-, vaakum- ja kanalisatsioonitrasside teostusjoonis“, 15.12.2015
32. K&H AS, „Kiigemäe tee vee- ja kanalisatsioonitorustiku teostusjoonis“, 30.10.2010
33. Strantum OÜ, www.strantum.ee, Raivo Suuk, isiklik suhtlemine 21.04.2017
34. Eesti Konjunkturiinstituut, www.ki.ee, majandusussuundindeks ja ehitusbaromeeter
35. AV Geodeesia OÜ, „Suurupi küla vee- ja kanalisatsioonitrasside teostusmöödistuse asendiplaan“, 08.05.2014
36. Miszta-Kruk, K, „Reliability and failure rate analysis of pressure, vacuum and gravity sewer systems based on operating data“, 2015