

Margit Murumägi

VEETORUSTIKE HOOLDUS JA JÄÄPESU TALLINNA NÄITEL

LÕPUTÖÖ

Tehnoloogia ja ringmajanduse instituut

Keskkonnatehnoloogia ja -juhtimine

Juhendaja: Erki Lember ja Sven Miller

Tallinn 2023

Mina, Margit Murumägi, tõendan, et lõputöö on minu/meie kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja Erki Lember (allkirjastatud digitaalselt)

Juhendaja Sven Miller (allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud tehnoloogia ja ringmajanduse instituudi direktori korraldusega.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Margit Murumägi
sünnikuupäev: 27.05.2000

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
Veetorustike hooldus ja jääpesu Tallinna näitel

1. reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
3. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas (allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)

SISUKORD

1	VEEVARUSTUS.....	5
1.1	Joogivee kvaliteedinäitajad.....	5
1.2	Joogivee tootmine.....	6
1.3	Veevarustuse välisvõrk.....	9
1.3.1	Sulgarmatuur	11
1.3.2	Hüdrandid.....	12
1.3.3	Veetorstike materjalid	14
2	VEEVARUSTUSVÕRGU HOOLDAMINE.....	15
2.1	Veetorstike hooldusvajadus.....	15
2.2	Erinevad tehnoloogilised lahendused torustike hooldamiseks	16
2.2.1	Hüdropneumaatiline pesu.....	16
2.2.2	Desinfitseerimine	17
2.2.3	Jääpesu protsess.....	18
2.2.4	Jäämassi tootmine	20
2.3	Veetorstike hooldusprotsesside võrdlus	24
3	JÄÄPESU KASUTAMISVÕIMALUSED TALLINNAS	27
3.1	Tallinna veevõrgu kirjeldus	27
3.2	Senine hoolduspraktika.....	28
3.3	Jääpesu kasutamine ühel näidisobjektil.....	30
	VIIDATUD ALLIKAD.....	36
	Lisa 1. Joogivee tava- ja süvakontrollil uuritavad näitajad	40

SISSEJUHATUS

Tallinn on Eestis suurima veevarustusvõrguga linn, kus on vaja tagada 470 000 tarbijale puhas joogivesi. Tallinna linna joogivee vajaduse katab pinna- kui ka põhjavesi. Tallinnas hakati joogivee puhastamisele tähelepanu pöörama 20. sajandi alguses, kuid veevarustusvõrgu hooldusele hakati suuremat tähelepanu pöörama alles 20. sajandi lõpus. Eesti taasiseseisvumine oli pöördepunkti, kus hakati veetorustikke rekonstrueerima uute torustike materjalidega. AS Tallinna Vesi on seadnud tehnilised nõuded torustike ehituseks Eesti standardi järgi, et veevõrguvarustus oleks vastupidav. Joogivee kvaliteedi täitmiseks on AS Tallinna Vesi haldab ja hooldab Tallinna linna torustikke ning vastutab joogivee kvaliteedi eest.

Töö põhieesmärgiks oli analüüsida olemasolevaid AS-i Tallinna Vesi kasutatavaid veetorustike hooldustehnoloogiaid ning võrrelda neid uudse jääpesu tehnoloogiaga. Põhieesmärgi täitmiseks uuriti teadusartikleid ja kirjandust, et anda ülevaade joogivee hooldusprotsessidest ning torustike hoolduse vajadusest. Analüüsiti hetkel kasutatavaid hooldustehnoloogiaid Tallinna linna veevarustusvõrgu hooldamiseks. Hooldustehnoloogiatega võrdluseks koguti andmeid AS-st Tallinna Vesi. Töös tehakse ülevaade AS Tallinna Vesi linna veevarustusvõrgu hoolduskavast, kuidas seda luuakse ning millised eripärasid seal leidub.

Joogivee kvaliteedi saavutamiseks on AS Tallinna Vesi põhjalik veepuhastusprotsess. Veepuhastusjaamast väljuv vesi on väga hea kvaliteediga, mis võib langeda veevarustusvõrgus. Veekvaliteedi säilitamiseks torustikus koostatakse ja järgitakse hoolduskava.

AS Tallinn Vesi võttis kasutusele 2023. aastal uue jääpesu tehnoloogia. Käesolev töö annab jääpesu tehnoloogiast põhjaliku teoreetilise ülevaate ning analüüsib selle kasutamist Tallinna linnas veetorustike hooldamiseks.

1 VEEVARUSTUS

1.1 Joogivee kvaliteedinäitajad

Eesti joogiveehaareteks on pinnavesi ja põhjavesi. Tallinnas ja Narvas kasutatakse pinnavett, ülejäänud veevärgid kasutavad põhjavett. Pinnavee ja põhjavee kvaliteedid on erinevad. Põhjavesi vastab tihti juba puhastamata joogivee nõuetele, kuid vahel võib olla probleeme raua ja mangaaniga. Mereäärsetes piirkondades võib põhjavee soolsus olla kõrgem, mitmetes teistes piirkondades kõrgem fluoriidisisaldus. Põhja-Eesti rannikualadel on probleemiks radionukliidide sisaldus. [1, lk 12, 13]

Joogiveele tehakse tava- ja süvakontrolle vastavalt Veeseaduse määrusele § 85 lõike 2 alusele „Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ja analüüsimeetodid ning tarbijale teabe esitamise nõuded“. Tava- ja süvakontrollides uuritavad näitajad on lisa 1. [2]

Alumiinium lahustumata kujul ei ole inimesele mürgine, kuid veepuhastusjaamades kasutatavad alumiiniumisoolad võivad tekitada närvisüsteemi kahjustusi, kui selle sisaldus vees on kõrge [3]. Alumiiniumi piirsisaldus on 200 µg/l ja näitajat kontrollitakse süvakontrollides või kui ühendit kasutatakse veepuhastusjaamas kemikaalina. [2]

Nitritit ja ammooniumi kontrollitakse süvakontrollis või kui kasutatakse puhastusprotsessis kloorimist, siis tehakse tavakontrollina. Nitriti ja ammooniumi sisaldus vees näitab üsna värsket reostust. Nitriti ja ammooniumi piirsisaldused on 0,5 mg/l. [2], [3]

Jääkkloori uuritakse tavakontrollis ainult veevarustusvõrkudes, kus tehakse järelkloorimist. Veepuhastusjaamast väljudes võib jääkkloori sisaldus seaduse järgi olla kuni 1 mg/l ja veevarustusvõrgus 0,2 – 0,5 mg/l. Tavakontrollid aitavad tuvastada, kas on vajadust lisada veevarustusvõrku täiendavalt kloori. [2], [4]

Elektrijuhtivus tähendab erinevate lahustunud soolade sisaldust vees ja soolade rikas vesi juhib paremini elektrit. Lahustunud soolade ioonid on naatrium, kaltsium, kaalium, magneesium, kloriid, sulfaat karbonaat ja vesinikkarbonaat. [5] Kõrgenenud elektrijuhtivus vees põhjustab seadmete ja torustike korrosiooni. Elektrijuhtivuse piirsisaldus joogivees on 2500 µS cm⁻¹ 20° C juures. [2], [3]

Vesinikioonide kontsentratsioon ehk pH näitab vee happelisust (pH ≤7) või aluselisust (pH ≥7). Tavalise joogivee pH jääb vahemikku ≥ 6,5 ja ≤ 9,5 [2]. Leeliseline vesi on inimese tervisele kahjulik. Madal ehk happeline pH põhjustab veevõrgus korrosiooni. [3]

Kõrge rauasisaldus joogivees tuleneb peamiselt põhjaveest, aga ka amortiseerinud malm ja teras joogiveetorustikus võib seda põhjustada. Rauda uuritakse süvakontrollides, v.a kui seda kasutatakse veepuhastusjaamas kemikaalina. Kõrge rauasisaldus on tajutav hägususe ja maitse järgi. Vesi võib olla kollakas või oranž ning vees leidub ka sadet. Rauasisalduse piirmäär on 200 µg/l [2] ja inimese tervisele on see ohtlik alates 6000 µg/l. [3]

Lõhn, maitse, hägusus ja värvus on indikaatorid, et vees on toimunud mikrobioloogiline või keemiline muutus. Nelja indikaatorit mõjutavad looduslikud ja inimtegevusega seotud tegurid. Looduslikud tegurid on näiteks taimed, mikroorganismid ja pinnas ning inimtegevuslikud tööstus ja majapidamine. [3] Need neli indikaatorit võivad muutuda ja olla tarbijale ebameeldivad lõhn, maitse, hägusus ja värvus peavad olema tarbijale vastuvõetavad ja ilma ebaloomulike muutusteta. Hägususe piirväärtus on 1 NTU (nefelomeetrilise hägususe ühik) [6]. [2]

Mikrobioloogilised kvaliteedinäitajad jagunevad viirusteks, bakteriteks ja hulkrakseteks organismideks. Mikroobe leidub vees, kuid kõik neist ei ole inimesele ohtlikud. Ohtlikke ehk haigust tekitavaid mikroobe on erinevaid, kuid neid mõõdetakse üldiselt *colide* ja enterokokkide järgi. *Colid* ja enterokokid pärinevad inimeste ja loomade soolestikus ning viitavad nakkushaiguste olemasolule joogivees. [1, lk 54] Enterokokid omandavad kiiresti antibiootikumiresistentsuse. [7]

Mikroorganismid on aeroobsed bakterid, pärmid ja hallitused. Kolooniade arv võimaldab hinnata põhjavee allikate ja veepuhastusprotsesside kvaliteeti. [8, lk 3]

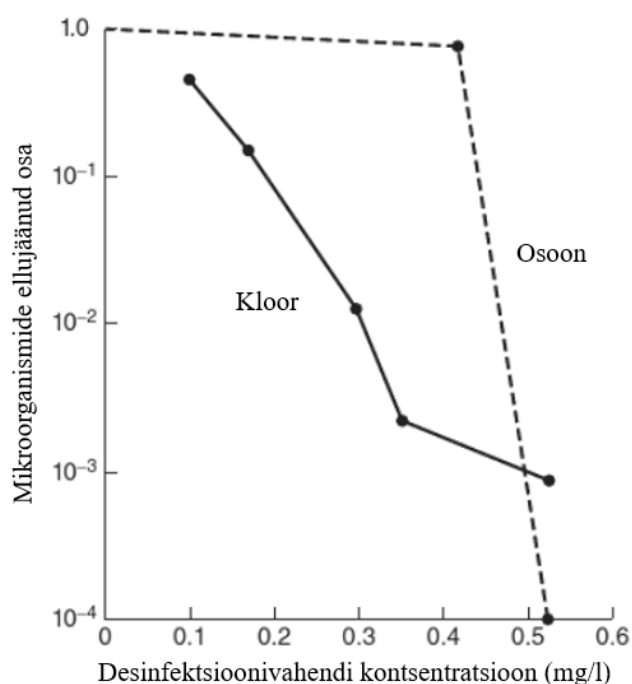
1.2 Joogivee tootmine

Joogiveeks kasutatav põhjavesi või pinnavesi tuleb enne veejaotusvõrku saatmist puhastada. Vesi peab vastama Veeseaduse määrusele § 85 lõike 2 alusele „Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ja analüüsimeetodid ning tarbijale teabe esitamise nõuded“ kvaliteedinõuetele. [2] Nõuete täitmiseks kasutatakse erinevaid toorvee puhastamise meetodeid. Meetodid on näiteks keemilised – koaguleerimine ja flokuleerimine; mehaanilised – selitamine, filtreerimine; desinfitseerimine – kloorimine, uv-kiirgus ja osoonimine. [1, lk 58]

Pinnaveest joogivee tootmisel on esimene etapp mehaaniline puhastus. Toorvesi filtreeritakse läbi võrede ja mikrofiltrite, et eemalda makroreostus. Puhastisse sisenedes juhitakse vesi läbi võrede. Võrede läbimõõdud on 1 – 13 mm, 13 – 25 mm ja 32 – 100 mm [9, lk 31]. Mikrofiltrites eemaldatakse makroreostus, selleks kasutatakse pöörlevaid trumleid, mille läbimõõt on Ülemiste veepuhastusjaama näitel 3000 mm. Trumlite sees on 80 raami, kuhu on kinnitatud mikrovõrgud

läbimõõduga 20 – 60 μm . Vesi liigub trumli seest väljapoole basseini ning makroreostus nagu planktonid ja heljumiosakesed jäävad trumli sisse mikrovõrgule. Mikrofiltrite puhastusefekt on 15%. [1, lk 78–80]

Osoonimine on vee desinfitseerimine, millega eemaldatakse oksüdeerimise teel lahustumatuid ja lahustunud osakesi. Osoonimine on efektiivne protsess võrreldes klooriga, mida kirjeldab Joonis 1. Osooni tootmine on elektrimahukas ja üks kulukamaid protsesse veepuhastusjaamas. Osooni toodetakse veepuhastusjaamas kohapeal atmosfääriõhus sisalduvast hapnikust, ühe kilogrammi osooni valmistamiseks kulub ca 70 – 80 m^3 õhku. [9, lk 158, 161], [1, lk 133] See on ainuke efektiivne oksüdeerija, mis ei tõsta kogu lahustunud osakeste kogust. Kuigi osoon võib olla efektiivne võrreldes teiste desinfitseerimismeetoditega, siis peab arvestama, et osoonimine toodab biolagunevaid ühendeid nagu aldehyide ja ketoone. Need ühendid võivad stimuleerida biokile kasvu vee jaotustorustikus. Osoonimisel puudub desinfitseerimise järelmõju ja sellepärast on vaja pärast lisada täiendavat kloori. [10, lk 462, 464]



Joonis 1. Osooni ja kloori kontsentratsiooni efektiivsuse võrdlus vee desinfitseerimisel [11, lk 555]

Kloorimine on levinumaid desinfitseerimise protsesse olles odav ja efektiivne. Klooriühendeid kasutatakse nii veepuhastusjaamas raua, mangaani ja vesiniksulfiidi eemaldamiseks kui ka veetorustike desinfitseerimiseks. [9, lk 162] Klooriühendeid jaotatakse hüpokloorihappeks (HOCl), hüpoklorit aniooniks OCl^- , monokloramiiniks (NH_2Cl), komplekseks orgaaniliseks kloramiiniks ja

kloriidiks [11, lk 526]. Peamised faktorid, millest oleneb kloorimise efektiivsus on vee temperatuur, pH, võõrised, viibeag ja kontsentratsioon. Kontsentratsiooni suhet on näha Joonis 1. Nimelt, kui kloori kontsentratsioon langeb, siis peab kokkupuude veega olema pikem, et efektiivsus jääks samaks [9, lk 166]. Kloori tuleb lisada piisavalt, et veepuhastist väljudes jääks vette jääkkloori, mis takistab mikroorganismide kasvu veevarustusvõrgus [12, lk 556]. Temperatuur mõjutab jääkkloori sisaldust, sest madalama temperatuuriga vees on kloor paremini lahustuv kui kõrgema temperatuuriga ja sellest tulenevalt lisatakse AS-i Tallinna Vesi näitel veevõrku täiendavat kloori erinevates linna veevõrgu punktides. [9, lk 167]

Keemiliselt saab eemaldada lahustumatuid osakesi koaguleerimise ja flokulantide lisamisega. Seda protsessi nimetatakse ka selitamiseks ja dekoloreerimiseks. [1, lk 58] Lahustumatud osakesed on peamiselt mikroorganismid, bakterid, viirused, anorgaanilised osakesed ja värvi tekitavad osakesed [9, lk 31]. Koagulandina kasutatakse lahustatud $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ soola. [9, lk 53] Koagulandiga segatud vesi suunatakse vertikaalsetesse segistitesse, kus vesi liigub alt üles segunedes paremini kemikaalidega, mille tulemusena eemalduvad veest ka gaasid. Lahustumatud osakesed koonduvad koagulandi ümber ja tekivad helbed, mida saab eemaldada selitite abil. [1, lk 75] Flokulatsioon on füüsikaline protsess, kus koaguleerimisel tekkinud mikrohelbed liituvad üksteisega flokulandi toimel suuremateks ja seega raskemateks helvesteks, mida on lihtsam veest selitamisega eemaldada. Tekivad flokid ehk rasked helbed, mis setivad selitite põhja ning selitite pinnalt jookseb puhas vesi järgmisesse etappi ehk filtreerimisse. [9, lk 50]

Pärast seliteid vesi filtreeritakse läbi aktiivsöe või hüdroantratsiidi kihi. Kihi paksus võib olla 250 – 500 mm. Kvartsiiva osakeste läbimõõt jääb 0,5 – 1,6 mm vahemikku ja kihi paksus on ca 750 – 1500 m. Vesi liigub ülevalt alla ja sade püütakse kinni filtrikihis, puhas vesi liigub pärast kloorimist veereservuaaridesse. [1, lk 111]

Enamlevinud põhjavee probleem on kõrgenenud raua ja mangaani sisaldus. Raud ja mangaan esinevad vees tihti koos nii lahustunud Fe^{2+} ja Mn^{2+} iooni kui ka lahustumatu Fe^{3+} ning Mn^{4+} kujul. Hapnikurikkamas pinnavees esineb enamjaolt lahustunud raud ja mangaan, kuid põhjavees esineb lahustumatuid. Neid saab eemaldada korraga süvaeratsiooniga. Raud oksüdeerub kiiremini ja lihtsamalt ($\geq \text{pH } 7$). Mangaani on keerulisem oksüdeerida, sest selle eemaldamiseks on vajalik pH vahemik 7,5 – 10. Rauda ja mangaani saab eemaldada korraga, kuid töökindlam on aereerida ja filtreerida raud ning järgmise astmena aereerida ja filtreerida mangaan. Mangaani oksüdeerimiseks võib olla vajadus lisada abikemikaale nagu kloor. [13, lk 188 – 190]

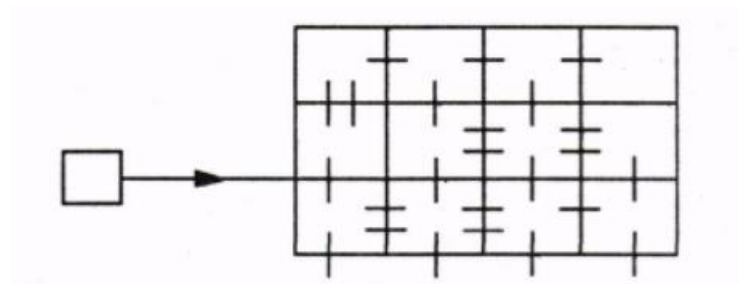
Ultravioletvalgust (UV-kiirgus) kasutatakse toorvee desinfitseerimiseks. UV-kiirguse vahemik on lainepikkusel 100 – 400 nm ja baktereid hävitav vahemik 200 – 280 nm [11, lk 543]. UV-lampe, mis hävitavad fotokeemilisel toimel mikroorganismide rakumolekule, nimetatakse bakteritsiidiseadmeteks. [1, lk 138] Bakteritsiidiseadmed ei vaja reagente, ei lisa lõhna ega maitset ning desinfitseerivad viivitamatult. Bakteritsiidiseadmete efektiivsust mõjutab vee hägusus, mis peab olema alla 1 NTU, tähendades, et see sobib pigem põhjavee puhastamiseks, kus ei esine lahustumatuid ühendeid [9, lk 156]. Teine suur probleem on desinfitseerimise järelmõju puudulikkus [14]. Bakteritsiidiseadmete süsteem on automatiseeritud ning see koosneb UV-lampidest, mis on madal-rõhu Hg-lambid ning läbipaistvatest kvartsümbristest, mis kaitsevad UV-lampe desinfitseeritava vee eest. Kiirituskambris asetsevad UV-lambid ja kvartsümbrised, kust voolab läbi desinfitseeritav vesi ning lisaks on seadmes andurid ja puhastussüsteemid [1, lk 138], [11, lk 544 – 546].

1.3 Veevarustuse välisvõrk

Veevarustuse välisvõrgu eesmärk on tarnida puhas joogivesi tarbijani. Tallinna linna näitel kasutatakse joogiveeks põhja- kui ka pinnavett. Põhjavett kasutatakse Tallinna Nõmme ja Pirita piirkonnas ning pinnavesi katab ülejäänud Tallinna, Saue ja Maardu linna vajadused.

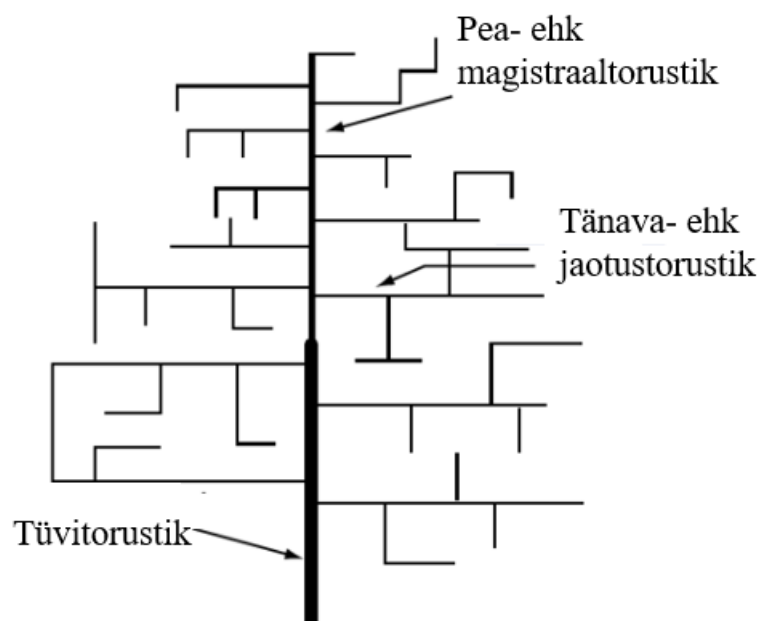
Veevarustuse välisvõrk on joogivee jaotussüsteem [15], mis koosneb tüvitorustikust; pea- ehk magistraaltorustikust [16, lk 42]; tänav- ehk jaotustorustikust ja tarnetorudest [17, lk 19]. Tüvitorustik on ühendus veepuhastusjaama ja magistraaltorustiku vahel. Magistraaltorustik asub tänavamaal ning selle eesmärk on edastada suuri veekogusid pikkade vahemaade taha kõige otsesemat teed pidi [18]. Tänavatorustik ühendab magistraaltorustiku tarnetorustikuga ja tarnetorustik on ühenduses kinnistuga. Välisvõrgud jaotatakse harg- ehk tupikvõrkudeks ja ringvõrkudeks, mida projekteeritakse vee viibeaja järgi. Vee viibeaeg torustikus mõjutab vee kvaliteeti, sest seisavas vees võivad hakata kasvama mikroorganismid. [17, lk 16, 19]

Ringvõrgustikku nõutakse rohkem, sest see tagab parema töökindluse, vähendab korrosiooni ja külmumise riski ning tagab parema vee kvaliteedi. Näiteks avarii olukordades on võimalik sulgeda sulgarmatuuri nii, et tarbijal jääb vesi alles ja kindlustades ka tuletõrjevee olemasolu. Sulgarmatuur on kraan torustikul. Ringvõrgustikku skeemi on näha Joonis 2. [17, lk 18]



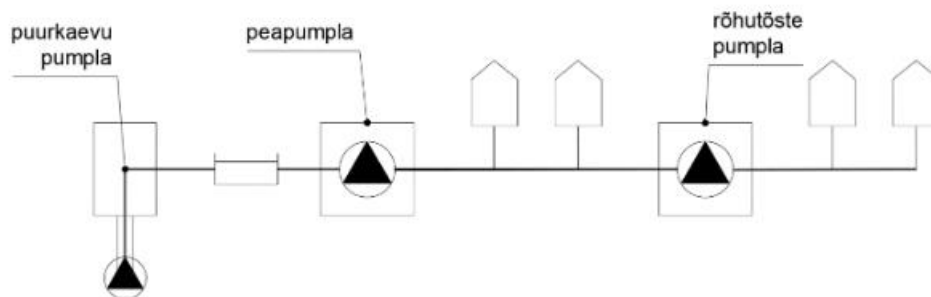
Joonis 2. Ringvõrgustiku skeem [15, lk 20]

Harg- ehk tupiktorusid ehitatakse hajaasustusaladele. Hajaasustused linnastuvad ja sellespärast võivad olla harg- ja tupiktorud kasutuses. Joonisel 3 on näide harg- ja tupiktorust. Tuletõrjevesi on tagatud varumahutitega. Tupiktorudes võib vesi liiga kauaks seisma jääda ja tupikutes hakkavad kasvama mikroorganismid, mis halvendavad vee kvaliteeti. Kvaliteedi languse korral tuleb teha tihedamini torustike loputusi, mis omakorda suurendab veekulusid. [16]



Joonis 3. Harg- ja tupiktorustiku skeem [15, lk 12]

Pumplaid on välisvõrgus kolme tüüpi: peapumpla, rõhutõstepumpla ja puurkaev-pumpla. Peapumpla on tavaliselt peale veepuhastusjaama või seadmeid ning pumpab vee veevarustusvõrku. Rõhutõstepumplad on vajalikud, et veevarustusvõrgus säiliks töörõhk. Pumplate kujutatav asukoht veevarustusvõrgus on Joonis 4. Puurkaevu pumplaid on kahte tüüpi. Ühed, mis pumpavad otse veevõrku ning teised pumpavad veemahutisse ja sealt võrku. Viimast kasutatakse AS Tallinn Vesi süsteemis, sest see tagab veevaru ning ühtlustab vee tarbimise. [17, lk 41 – 42]



Joonis 4. Eri tüüpi pumplate asukoha skeem veevarustusvõrgus [17]

1.3.1 Sulgarmatuur

Sulgarmatuuri eesmärk on hooldustööde, ümberehituste, torustike rekonstrueerimise, vee liikumise suuna muutmise või avariide korral veetorustiku sulgemine. Sulgarmatuuriks ehk sulgseadmeteks nimetatakse siibreid, kummikiilsiibreid ja pöördklappe. Siibrite korpuse materjal on tempermalm või konstruktsioonplastik polüatsetaal.

Malmkorpusega siiber on kujutatud Joonis 5. Siibrid jäävad vahemikku siseläbimõõduga 20 – 50 mm. Kummikiilsiibrite korpuse materjal on tempermalm ning need on siseläbimõõduga 50 – 600 mm. Malmkorpusega kummikiilsiibrit on kujutatud Joonis 6. Pöördklappide korpuse materjal on tempermalm ning siseläbimõõdud on 150 – 1000 mm. [19] Sulgeseadmetele ühendatakse spidlipikendus, mis ulatub maapinnani ning võimaldab sulgeseadet avada ning sulgeda.



Joonis 5. Siiber läbimõõduga 32/40 mm [20]

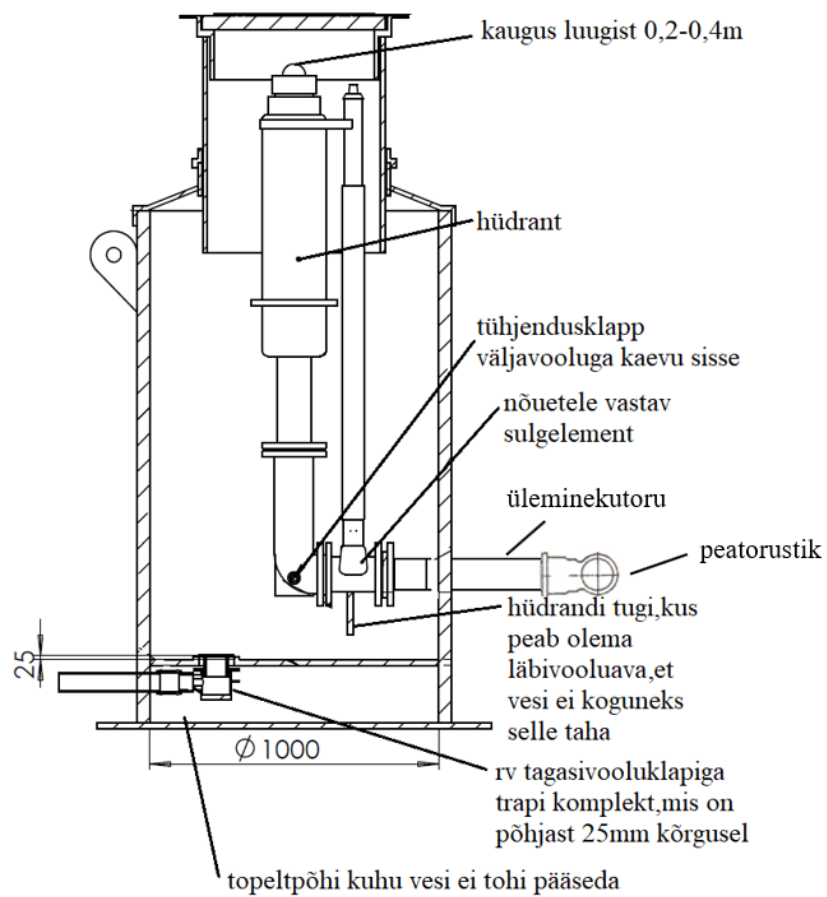


Joonis 6. Kummikiilsiber läbimõõduga 300 mm [21]

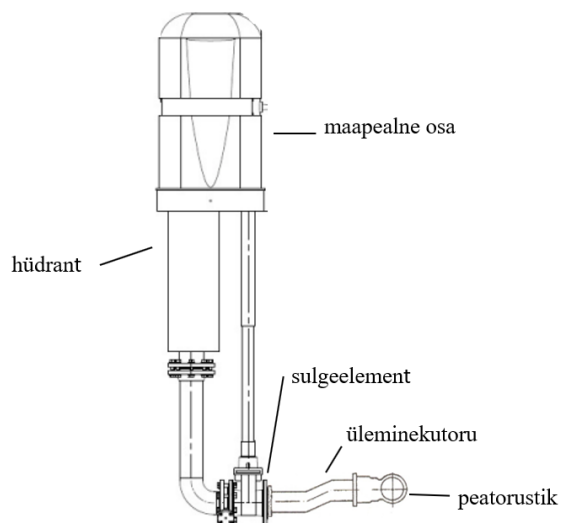
Torustike sulgeseadmete vahelistes lõikudes võib olla kuni 100 m^3 vett. Sulgarmatuuri liinisulgeseadmete maksimaalsed kaugused on standardi järgi ära määratud tüvitorustikul 5,0 km, peatorustikul 2,0 km ja jaotustorustikul 0,3 – 0,5 km. Tarnetorude sulgarmatuur projekteeritakse 1 m kaugusele väljaspoole kinnistu piirist. [17, lk 20]

1.3.2 Hüdrandid

Hüdrante paigutatakse 100 – 120 m vaheliste kaugustega pea- või tänavatoru külge [22, lk 83] ning minimaalne läbimõõt on lubatud 80 mm ja 100 mm. [23, lk 5] Neid saab kasutada peale tulekustutusvee võtmise ka torustike tühjendamiseks, ventileerimiseks ja läbipesuks [17]. Hüdrante on kahte tüüpi: maapealsed ja maa-alused hüdrandid. Maa-alused hüdrandid paiknevad veetihedates seadmekaevudes. Joonis 7 on kujutatud maa-alust hüdranti ja maa-pealne hüdrant on kujutatud Joonis 8. Peatorustikust eralduv hüdrandi üleminekutoru peab olema minimaalne, et sinna ei koguneks mikroorganisme. [24]



Joonis 7. Maa-aluse hüdrandi skeem [24]



Joonis 8. Maapealse hüdrandi skeem [25]

1.3.3 Veetorstike materjalid

Polüetüleen (PE) torud tulid Eestis kasutusele 90ndate alguses. Tänapäeval on need kõige eelistatumad joogivee torustikud. PE torustike ühendusi on kerge teostada keevitamisega ning need on lekkekindlad, kerge kaaluga ja hea keemilise taluvusega. Erinevalt teras- ja malmtorudest on PE torud painduvad. Polüetüleentorud võtavad rullina vähem ruumi ning torustik ei kahjustu nihkivas pinnases. PE torud on korrosioonikindlad ja sileda sisepinnaga, mida saab kasutada ka kehvemas pinnases, näiteks niiskemas pinnases, mis võib malm- ja terastorstikele tekitada lihtsamini korrosiooni. PE toru kasutusiga on vähemalt 50 aastat ja paigalduskulud on madalad. [26], [27, lk 6]

Malmtorustikke hakati paigaldama 20. sajandi alguses. Tempermalmist survetorud on korrodeeruvad ja sellepärast kaetakse torustike ja liitmikute sise- ja välispind bituumeni, katoodkaitse [17] või 4 – 6 mm tsementkaitsekihiga [22, lk 16], mis lisaks teeb sisepinna siledaks. [16] Torustikke ühendatakse muhvidega ning eeldatav eluiga on kuni 50 aastat.

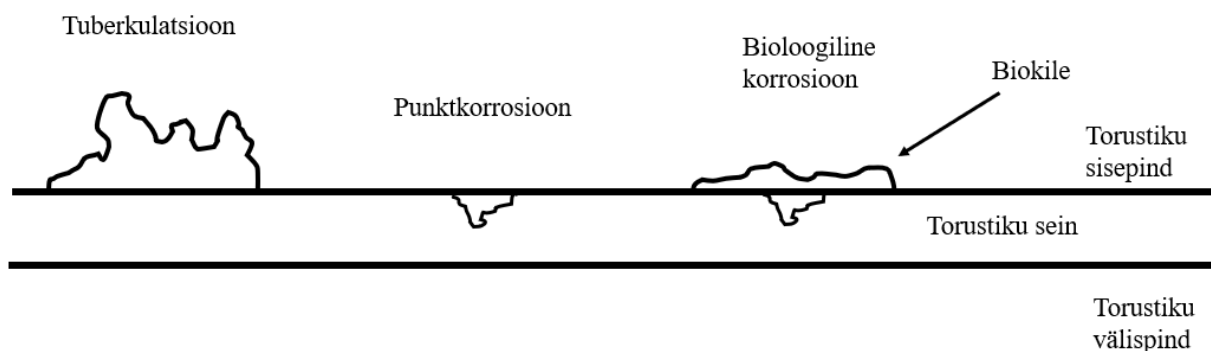
Tänapäeval kasutatakse Eestis veetorude paigaldamiseks galvaniseeritud terastorstid, mis on läbimõõtudega ≤ 600 mm. Terastorstide eeliseks malmtorude ees on kergsus, tootluse ja paigalduse lihtsus, keevitusvõimalus [2, lk 3.21], kõrge tõmbetugevus, madal hind, hea hüdraulilisus ning sobivus kohtadesse, kus võib esineda liikumist. Torustikke kaitstakse väliste tegurite eest tsingikihiga. Tsingikihi kulumisel on terastorstik kergesti korrodeeruv. [1, lk 26]. Eluiga kuumtsingitud terastorstul on kuni 30 aastat [22, lk 20].

2 VEEVARUSTUSVÕRGU HOOLDAMINE

2.1 Veetorustike hooldusvajadus

Veepuhastusjaamas puhastatud vesi vastab joogivee kvaliteedile. Joogivee kvaliteet langeb veevarustusvõrgus. Torustikke hooldatakse korrapäraselt, et hoida joogivee kõrget kvaliteeti. Hooldustööd peaksid võimalikult vähe tarbijaid häirima. Vee kvaliteeti veevarustusvõrgus mõjutavad erinevad tegurid, nagu lekkivad ühendused, korrosioon, desinfitseerimisaine reaktsioonid orgaanilise ja anorgaaniliste ainetega, avariitööd jne.

Torustike korrosioonist kui ka põhjaveest pärinev raud sadestub torustike sisepinnale. Hooldamata torustikes võib raua sisaldus tõusta üle piirnormide. Korrosiooni tüüpe on erinevaid, nagu tuberkulatsioon, punkt- ja bioloogiline korrosioon, mida kirjeldab Joonis 9. Tuberkulatsioon tekib, kui torustike seintel eralduvad roosteosakesed kuhjuvad. Tuberkuloosi tõttu väheneb torustiku siseläbimõõt ja tekitab probleeme torustiku surves ja voolukiiruses. Tuberkulatsiooni korrosioon on hea kasvupind biokilele. Punktkorrosioon on lokaalne ebaühtlane korrosioon, mis tekitab torustike seintele väikseid auke. Punktkorrosioonist tekkinud lekkeid on raske tuvastada. Bioloogilise korrosiooni puhul mõjutavad torustiku seinal biokiles olevad mikroorganismid pH ja hapniku sisaldust ning selline koosmõju suurendab torustiku korrosiooni aktiivsust. [26, lk 9.1]



Joonis 9. Korrosiooni tüüpide joonis

Biokile on mikroorganismide kooslus, mis on kaetud loodusliku ekstratsellulaarse polümeeriga (*EPS – extracellular polymeric substance*) [28]. EPS-i kiht on sültjase struktuuriga, mida mikroorganismid toodavad enda kaitseks keskkonnatingimuste eest. EPS koosneb 99% veest, sellest 2 – 5% on mikroorganismid. EPS-i koostis on orgaaniline süsinik, polüsahhariidid, valgud,

nukleiinhapped, lipiidid, fosfolipiidid ja humiinaained. Lisaks võivad biokiles olla ka anorgaanilised aineid nagu korrosiooni produktid, liiv ja heljuvad tahkeid aineid, mis suurendavad biokile vastupidavust. Veevarustusevõrkudes võib tekkida biokile, olenemata vee puhtusest, torumaterjali tüübist või puhastustehnoloogiast, sest mikroorganismide kasvutingimuseks on vesi. [30, lk 333, 334]

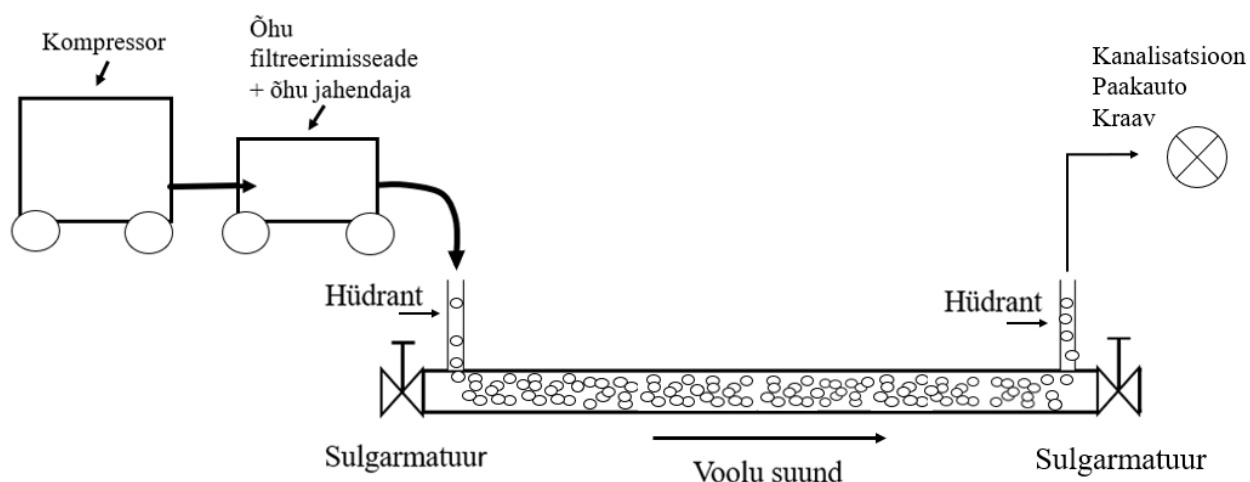
Biokile tekib enim väiksema veetsirkulatsiooniga torustiku pinnale. EPS-i külge võivad kinnituda ka teised inaktiivsed mikroorganismid. Biokile tekkeks ja mikroorganismide kasvuks on vaja orgaanilisi ja anorgaanilisi aineid. Anorgaanilised ained on näiteks fosfor, lämmastik, raud, magneesium, vask, kaalium jne. [30]

2.2 Erinevad tehnoloogilised lahendused torustike hooldamiseks

2.2.1 Hüdropneumaatiline pesu

Hüdropneumaatiline pesu ehk õhk-vee pesu hõlmab filtreeritud suruõhu sisestamist veetorustikku, mille tagajärjel õhu ja vee segu vaba väljavool tekitab hüdraulilisi lööke ja turbulentse, mis eemaldavad torustiku seinal olevad setted ja biokile. [31]

Toru hooldamiseks valitakse lõik hüdrantist hüdrantini. Joonis 10 on kujutatud õhk-vee pesu teostamine. Enne ja peale hüdranti on vaja sulgeda sulgarmatuur. Hüdrantist lastakse õhk torustikku ning vee ja õhu segu väljub teisest hüdrantist. Vesi torustikus suunatakse kanalisatsiooni, kraavi või paakautosse. Loputada saab torusid läbimõduga kuni 250 mm. Kõige parem tulemus tuleb veetoruga, mille läbimõõt on alla 200 mm [35, lk 84]. Töid saab teostada torustike pikkusel 100 – 1000 m. [32]



Joonis 10. Hüdropneumaatilise veetorustiku hooldamise skeem [31]

Hüdropneumaatilisel pesul on vajalik kolme seadet – kompressor, õhu jahuti ja õhu filtreerimisseade. Kompressori võimsus valitakse vastavalt filtreerimisseadme rõhuklassile. Kompressori võimsused on 3,5 m³/min ja 7,0 m³/min [34]. Minimaalne nõue on 5 m³/min, millega saab hooldada torusid läbimõõduga kuni 225 mm. Kompressoris tõuseb õhu temperatuur ca 60°C juurde ning õhujahuti vähendab seda kuni 20°C juurde. Õhk liigub edasi filtreerimisseadmesse. Filtreerimisseadmes on kolm filtrit: eelfilter (1 µm), peenfilter (0,01 µm) ja aktiivsöe filter. Eelfilter eemaldab õli ja niiskuse, peenfilter eemaldab tolmu, bakterid, mustuse, õli ning niiskuse. Aktiivsöe filter eemaldab allesjäänud õli ja sellega seotud lõhna ja maitse. [33, lk 52]

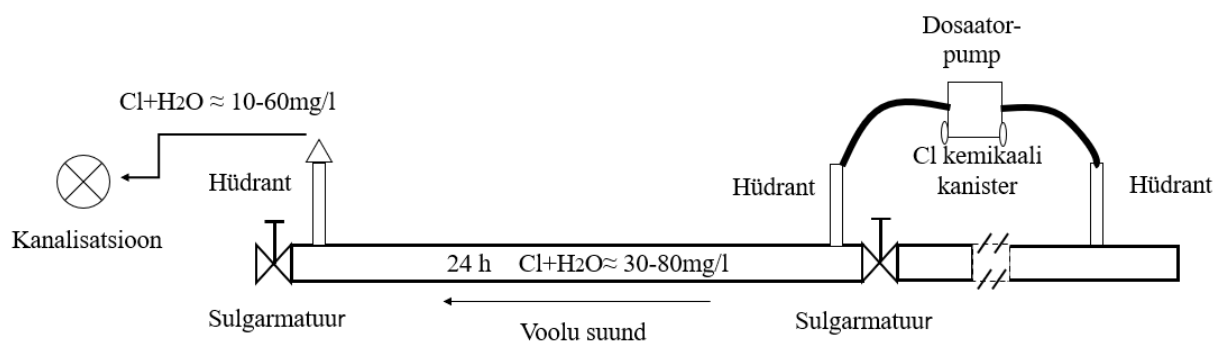
2.2.2 Desinfitseerimine

Veetorustikke desinfitseerimine hõlmab desinfitseeriva lahusega torustiku loputamist. Desinfitseeritavaks lahuseks kasutatakse kloori. Desinfitseerimist teostatakse kahe hüdrandi vahelises torulõigis. Joonis 12 on kujutatud desinfitseerimise protsessi. Desinfitseerimiseks läheb vaja ühte seadet. Seadme eesmärk on ühendada kemikaali kanister desinfitseeritava toru ja sissetuleva veega. Seade ise doseerib kemikaali, et tagada stabiilne ja õige doos desinfitseeritavasse torusse. Joonis 11 on A sissetulev vesi ja B väljaminev lahus.



Joonis 11. Desinfitseerimisel kasutatav seade (Klim Dašitšev)

Desinfitseerimiseks kasutatav seade paigaldatakse kahe hüdrandi vahele, kust esimesest hüdrandist võetakse vett ja teisest hüdrandist lastakse torustiku sisse lahus. Enne lahuse sisestamist, keeratakse sulgarmatuurid kinni. Torustikus olemasolev vesi lastakse kanalisatsiooni ja kloorilahus suunatakse torustikku. Hüdrandid suletakse ja lahus jäetakse torustikku seisma.



Joonis 12. Torustike desinfitseerimise skeem

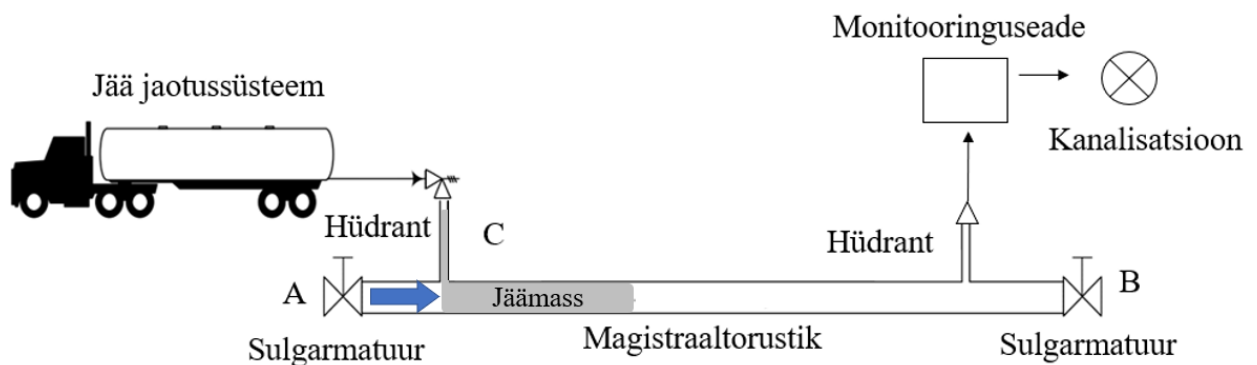
Vajalik on jälgida seadme küljes olevat vooluhulgamõõtjat, sest kui on pumbatud läbi torustiku mahuga võrdne kogus lahust, võetakse kloori proovid ribatestriega desinfitseeritava torustiku väljundist. Lahuse kontsentratsioon peab olema sõltuvalt objektist 30 – 80 mg/l ning torustik täidetud lahusega. Desinfitseeriv lahus jäetakse torustikku seisma 24 h. Desinfitseerimisi tehakse ka kõrgemate kontsentratsioonidega juhul, kui on vaja saavutada kiirem tulemus. Kloori desinfitseerimise tõhusus oleneb kontsentratsioonist ja ajast. Kõrgema kontsentratsiooniga lahust hoitakse vähem aega torus, kuna kloor on söövitav ja tekitab korrosiooni. Enne torustiku loputamist kontrollitakse lahuse kontsentratsiooni. Kloori kontsentratsioon torustikus seistes võib langeda kuni 25%, vastasel juhul tuleb teha täiendav desinfitseerimine. Lahus suunatakse kanalisatsiooni ja torustikule tehakse loputus. Loputust tehakse 4 – 6 toru mahu kogust. Peale loputust mõõdetakse kloori jääkide kogust testribaga, kui tulemus jääb alla 0,5 mg/l, on loputus teostatud. Torustike ja voolikute vahelised kraanid suletakse ning ühendatakse lahti. Elanikele tagatakse vesi veepaakide või ajutise veetoruga. Desinfitseerimisel pole torustike pikkus või läbimõõt piiratud torustike pikkust või laiust, kuid tavaliselt üle ühe kilomeetri pikkust lõiku ei tehta. Olukord oleneb piirkonna tarbijatest, sest tarbijatele tuleb tagada joogivesi.

2.2.3 Jääpesu protsess

Jääpesu ehk „Ice Pigging“ hooldussüsteem põhineb vee ja NaCl lahusest valmistatud jäämassi läbi veetorustiku pumpamisest, kus jäähelvede löikab torustike seintelt maha sinna kogunenud setted ning biokile. Jääpesu süsteem hõlmab kolme seadet: jäätootmisjaam, jäämassi transpordi- ja torustikku pumpamise seade ehk jää jaotusseade ning monitooringuseade.

Jääpesu teostamiseks objektil on vajalik jää jaotussüsteem ja monitooringuseade, abiseadmed on näiteks voolikud, hüdrandipüstikud ja ühendusosad. Joonis 13 kirjeldab, kuidas teostatakse jääpesu

torustikus. Jääjaotusseade ühendatakse hüdrandiga. Sulgarmatuur A ja B suletakse ning hüdrandid avatakse. Hüdranti C sisestatakse jäämass, mis peab olema vähemalt 10% kogu hooldava torustiku kogumahust. Jäämass surutakse torustikku ning see surub torustikus oleva vee välja hüdrandist D. Kui vajalik kogus jäämassi on sisestatud magistraaltorustikku, suletakse hüdrant C ning avatakse sulgarmatuur A ja jäämassi surub edasi magistraaltorustikus oleva veesurve abil. Hüdrandi D järelle on ühendatud monitooringuseade, mis näitab vajalikke parameetreid, nagu elektrijuhtivust, vooluhulka, survet, temperatuuri ja hägusust.



Joonis 13. Jäätäyttö skeem [35]

Monitooringuseadmel on kraan, kust saab võtta proovivõtu anumatesse proove. Joonis 14 on monitooringuseade. Monitooringuseade annab märku punase tulega ja helisignaaliga, kui jäämass on jõudnud seadmesse. Proove võetakse intervalliga, mis oleneb jäämassi ja torustiku mahust. Näiteks kui sisestatakse 2000 l jäämassi, siis iga 200 l tagant võetakse üks jäämassi proov ehk kokku tuleb kümme proovi. Pärast jäämassi väljumist loputatakse torustikku nii kaua, kuni hägusus on jõudnud normi, mis on ≤ 1 NTU. Väljavool hüdrandist juhitakse voolikute abil kanalisatsiooni. [37, lk 12, 13]

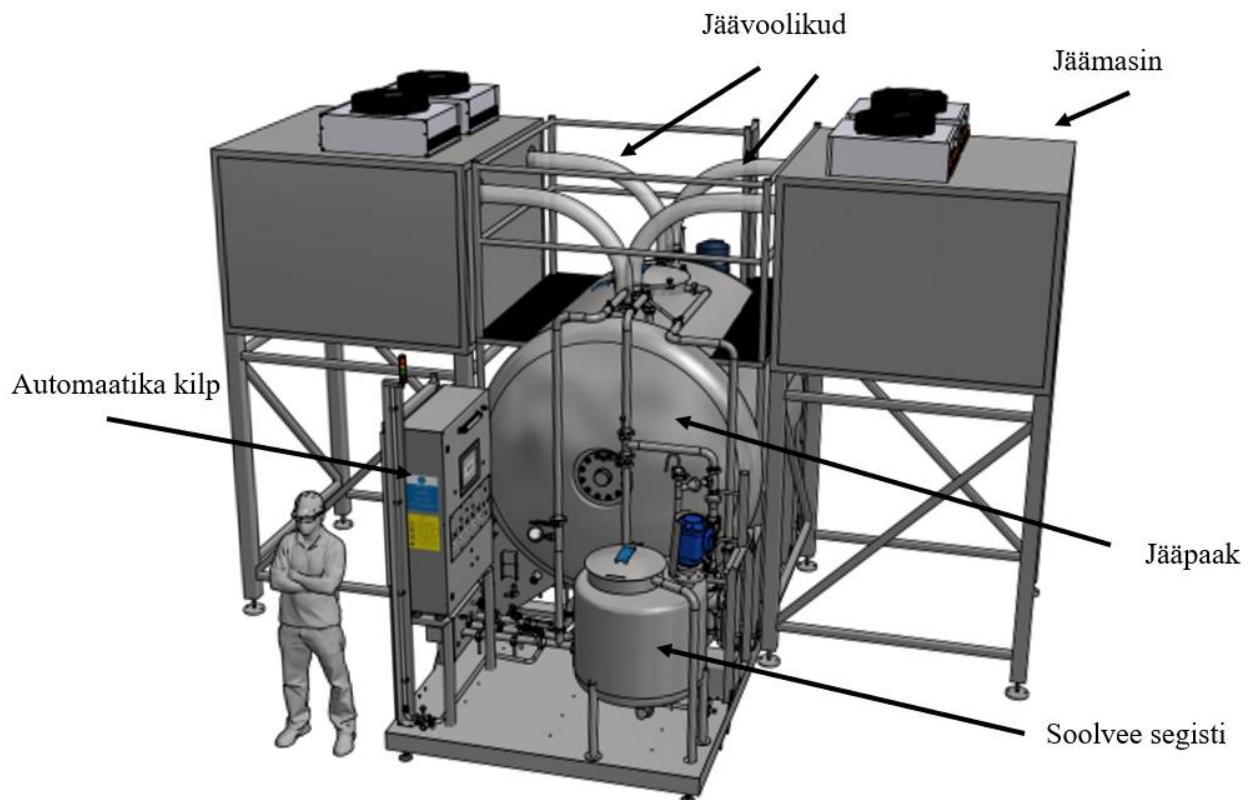


Joonis 14. Monitooringuseadme infopaneelil nähtavad mõõdetavad parameetrid

2.2.4 Jäämassi tootmine

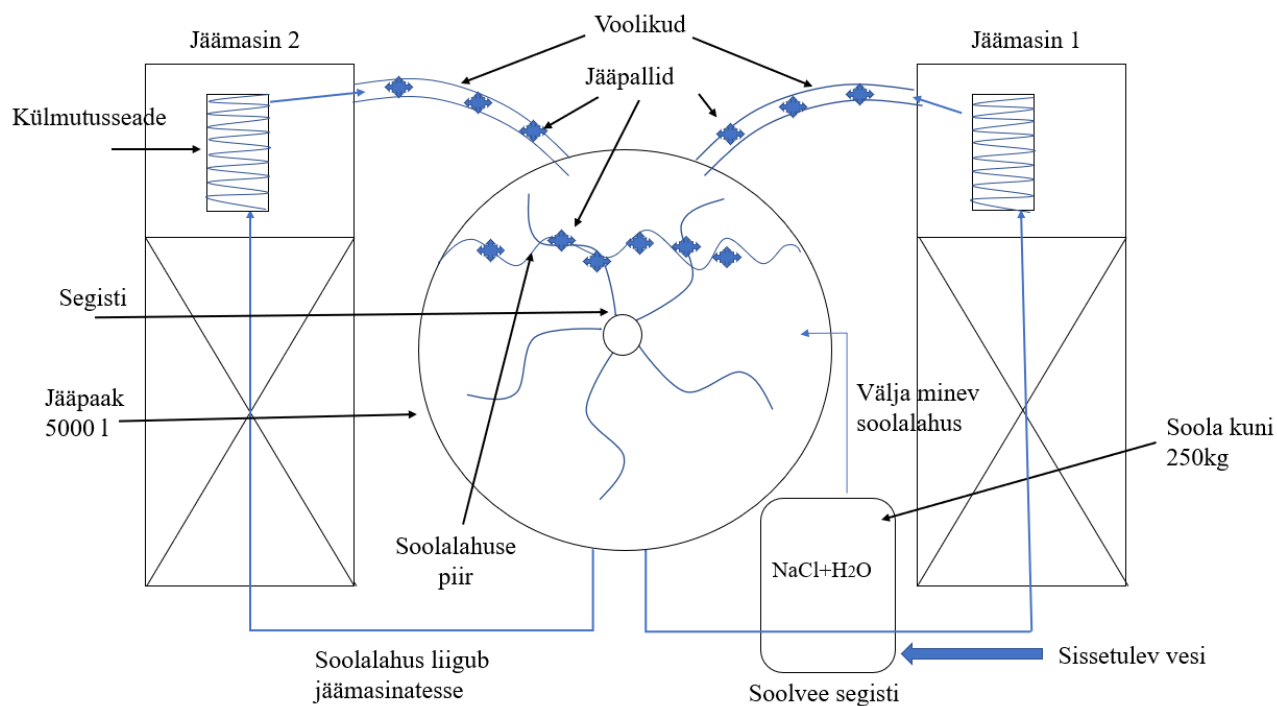
Jäätootmisjaama süsteemi ülesanded on segada soolvett, valmistada sellest jäämassi ja säilitada massi süsteemis. Süsteem on mõeldud hoonesse paigaldamiseks ning töötab temperatuurivahemikus +5 kuni +25°C. Protsessid jaotatakse kolmeks: soolvee tootmine, jää valmistamine, jäämassi pumpamine jääjaotusseadmesse. [37]

Esimese etapina valmistatakse soolvesi. Soolvee mahuti on Joonis 15, mahuga 500 l, Maksimaalse 5000 l jäämassi koguse tootmiseks läheb vaja 250 kg NaCl. Kasutatav NaCl on tarbimise kvaliteedinõuetele vastav sool, mida operaator valab käsitsi soolvee mahutisse. Masin on automatiseeritud, juhendades operaatorit, millal ja kui palju lisada soola. Süsteem ise doseerib õige koguse vett, et lahuse kontsentratsioon tuleks 4,7%. Enne soola lisamist on oluline veenduda, et soolvee mahuti oleks täiesti tühi. [38] Joonis 15 on jäätootmisjaama 3D mudel.



Joonis 15. Jäätootmisjaama 3D mudel [39]

Soolalahus suunatakse jääpaaki ning sellest hakatakse tootma jääd. Jäämassi tootmise skeem on kujutatud Joonis 16. Soolane vesi on suurema tihedusega kui jää ning vajub põhja, kust see pumbatakse jäämasinatesse. Jäämasinates läbib soolalahus külmutusseadet, mis muudab soolalahuse jääpallideks, kukkudes seejärel raskusjõu mõjul mööda jäavoolikuid jääpaaki. Joonis 17 on näha jääpallide kukkumist jääpaaki. Jäavoolikud peavad olema 30 kraadise nurga all. Jääpallide tihedus on väiksem, kui soolvee tihedus ning jääpallid jäävad pinnale hõljuma. Jääpaagi segisti alustab segamist ning protsess kestab kuni saavutatakse vajaliku fraktsiooniga jäämass. Jäämassi tootmiseks kulub 9 – 20 h ehk tootlikkus kuni 250 l/h. Süsteem on kaugjälgitav. [39] Jäämassi pikemal viibimisel jääpaagis saavutatakse lihvitum/ümaram jääkristall. Teravam jääkristall kraabib torustike pinnalt rohkem sadet ja biokilet kui ümaram jääkristall.



Joonis 16. Jäätootmisjaama jäämassi tootmise skeem



Joonis 17. Jääpallid kukuvad jääpaaki

Jääjaotusseade ehk jäämassi transpordi ja torustikku pumpamise seade sarnaneb jäätootmisseedmega, kus toimub pidev jäämassi segamine. Tootmismasinast pumbatakse jäämass jääjaotusseadmesse (joonis 18). Süsteem on varustatud generaatoriga, mis suudab säilitada ja segada massi kuni 24 h. [39]

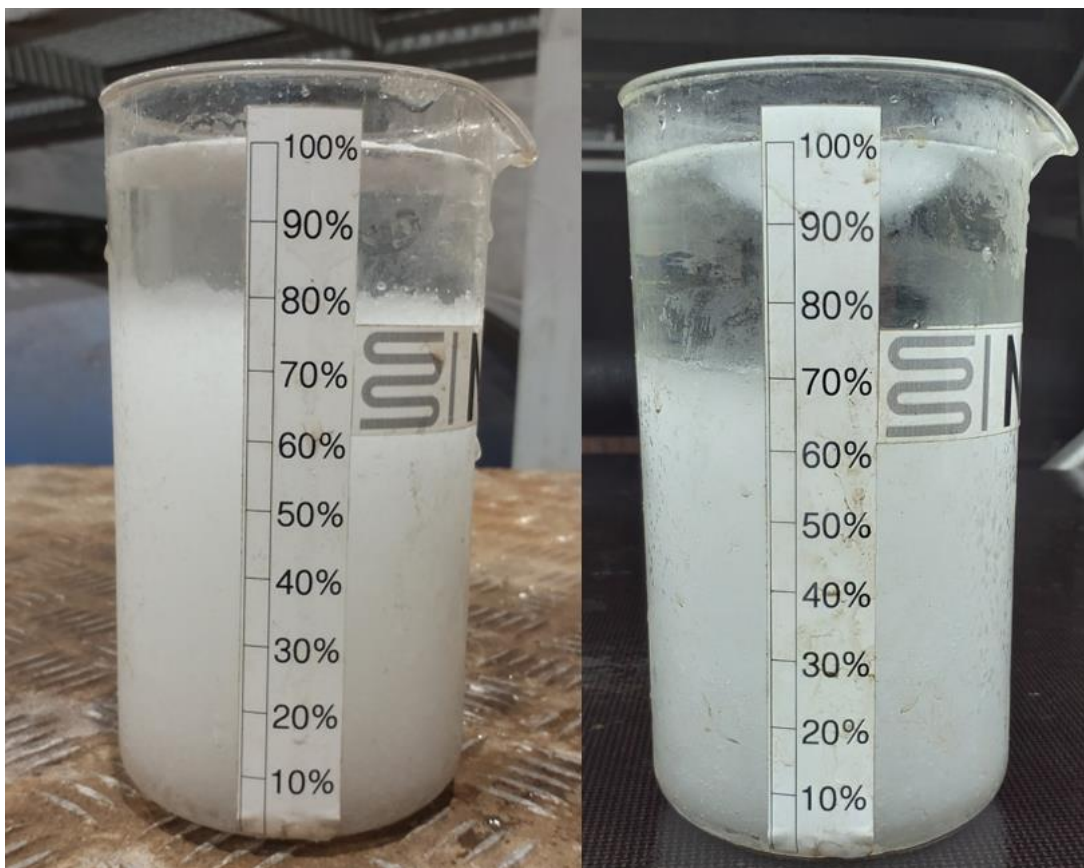


Joonis 18. Jääjaotusseade (OÜ Watercom foto)

Enne jäämassi torustikku sisestamist tuleb kontrollida jää tihedust. Jäämassi tihedust mõõdetakse kaks korda. Esimene kord mõõdetakse jäätootmisjaamas ja teine kord objektile saabudes. Jää sisalduse mõõtmiseks kasutatakse presskannu. Joonisel 19 on näha jäämassi tiheduse proovi muutust, mis on ca 10 %. Keskmiselt on jää tihedus 70 – 75% jäämassist, soovitud jää tihedus tootmises on 80%. Tihedam jää sisaldus on efektiivsem, kuid tugevalt korrodeerunud torustiku võib see ummistada. Jäämassi eelis on, et see võtab alati ruumi kuju ning on suuteline läbi voolama kitsustest (siibrid, toru ahenemised, pöörangud jms). Isegi kui tekib ummistus, siis sulab ummistunud jää ajapikku ära.

5000 liitri jäämassiga saab keskmiselt hooldada torustikke pikkuseid läbimõõdudega [39]:

- 100 mm ca 2000 m;
- 150 mm ca 850 m;
- 200 mm ca 475 m;
- 250 mm ca 300 m.



Joonis 19. Vasakul on jää tihedus jäätootmisjaamas, paremal on jää tihedus objektile saabudes (OÜ Watercom fotod)

2.3 Veetorustike hooldusprotsesside võrdlus

Tallinna linnas hooldatakse torustikke nelja erineva hooldusprotsessiga. Kõige lihtsam tehnoloogia on loputus. Enim kasutatav tehnoloogia torustike korrapäraseks hoolduseks on hüdropneumaatiline pesu. Desinfitseerimist kasutatakse enim uute torustike vastuvõtmisel kui ka olemasolevate torustike desinfitseerimisel. Jääpesu on uudne torustike hooldustehnoloogia, mille AS Tallinna Vesi on lisanud oma hoolduskavasse. Hooldusprotsessidest on võrdlev tabel 1, kus on toodud välja erinevad parameetrid. Võrdlus aitab valida õige tehnoloogia erinevateks olukordadeks. Tabeli andmed tuginevad AS Tallinn Vee kogemustelt.

Tabel 1. Veetorustike hooldusprotsesside võrdlused

Parameetrid	Hüdropneumaatiline pesu (õhk-vesi pesu)	Desinfitseerimine	Jääpesu	Loputus
Toru materjalid	Malm, teras, PE	PE (90%), vahel ≤300 mm malm (10%)	Malm, teras, PE	Malm, teras, PE
Toru läbimõõdud	≤400 mm	Kõik	<300 mm, võimalik ka 400 mm	Kõik
Sade eemaldamine	Jah	Jah	Jah	Oleneb survest
Biokile eemaldamine	Jah	Jah	Jah	Ei
Vajalik kordustööde intervall	≤3 aastat	Proovide järgi	≤7 aastat	≤5 aastat
Aja kulu	5 h/km	48 h	4 h/km	Osad 24/7, osad ainult 1h
Vee kulu	300–400 m ³ /km	Oleneb torustiku mahust	100 m ³ /km	50 – 70 m ³ /h
Korraga pestav torustiku pikkus	1 km	Oleneb läbimõõdust, tavaliselt 3 – 5 km	100 mm – 3 km; 300 mm – 1,5 km	Pole piirangut
Teostatav aastaeg	Aastaringi, aga alla -12°C ei tehta	Aastaringi, talvel külmumise oht	Aastaringi, aga alla -12°C pigem ei tehta	Aastaringi, külmumise oht

AS Tallinna Vesi kogemuse põhjal on loputus kõige lihtsamaid hooldusprotsesse, sest hooldust saab teha olenemata torustiku läbimõõdust, selle pikkusest või materjalist. Miinuseks on suurem veekulu, ei eemalda biokilet ja sadet eemaldab olenevalt survest. Hooldustulemus säilib eeldavalt kuni viis

aastat ehk ühe hoolduskava pikkuse. Loputustööde pikkus oleneb olukorrast ehk veekulud võivad suuresti varieeruda. Sellepärast on antud veekulu m^3/h .

Desinfitseerimist kasutatakse peamiselt uute torustike kasutusse võtmisel ning see on kõige pikema ajakuluga. Hooldustööde vahelist tsüklit ei ole määratud. Veekulud olenevad torustiku mahust, kuid võivad olla suured, sest desinfitseerimisel peab tegema loputusi.

Hüdropneumaatiline ehk õhk-vesi pesu on kõige levinum hooldusprotsess, olles lihtne ning eemaldades sadet ja biokilet. Hooldustööde intervall on kuni kolm aastat ja vee kulu on ühe kilomeetri kohta suur. Võrreldes loputust ja õhk-vesi pesu, siis nende vee kulu tuleb samaväärne, kuid õhk-vee eelis on biokile eemaldamine.

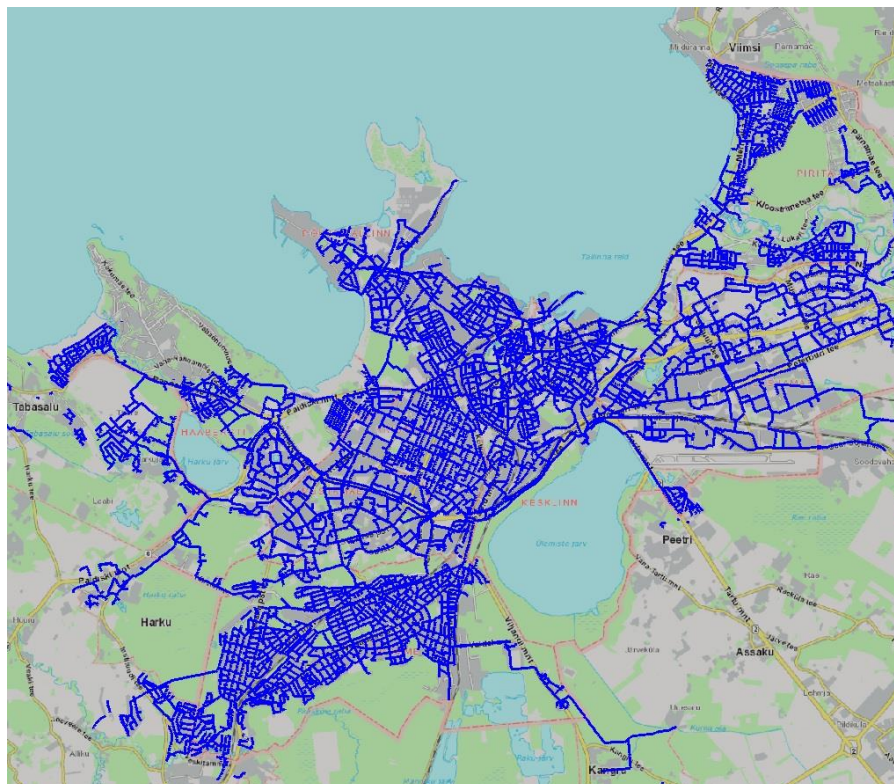
Eesmärk on väikse veekuluga saada parim tulemus, sest veekulu on ettevõttele omakulu. Hooldusprotsesside võrdlus toob välja, et jääpesu hoolduse tulemus on kõige pikema mõjuga ning selle keskmine veekulu on kordades väiksem kui teistel hooldusprotsessidel. Kordustööde vaheline intervall on lühem kui õhk-vee pesul või desinfitseerimisel. Kõiki hooldusi saab teha aastaläbi, kuid alla -12°C ei tehta, sest tekib külmumisoht hüdrandipüstakutes.

3 JÄÄPESU KASUTAMISVÕIMALUSED TALLINNAS

3.1 Tallinna veevõrgu kirjeldus

AS-le Tallinna Vesi kuulub 1200 km torustikke, mida ettevõtte haldab. Tallinna Vesi AS teenindab 470 000 lõpptarbijat ja 23 900 era- ja äriklienti. [40] Joonisel 20 on Tallinna Vesi AS-le kuuluvad veetorustikud. Tallinna kasutuses olevate veevõrgu torustike vanused ulatuvad 19. sajandisse. Enne Eesti Vabariigi algust paigaldati Tallinnas vaid malm- ja terastorustikke. Tänapäeval paigaldatakse Tallinna linnas kuni 350 mm läbimõõduni polüetüleenitorustikke, suurema läbimõõdu korral paigaldatakse terastorustikke.

Puurkaevu vett kasutatakse Nõmme, Tiskre, Saue ja Merivälja piirkonnas. Tallinna linnas on üle 30 puurkaevu pumpla, lisaks reservpumpjad. Pinnavesi Ülemiste järvest katab ülejäänud Tallinna linna piirkonna veevajaduse.



Joonis 20. AS-i Tallinna Vesi hallatavad veetorustikkude joonis

3.2 Senine hoolduspraktika

Käesoleval ajal AS Tallinna Vees kujundatakse uut viie aastast veevõrgu hoolduse kava, mille põhjal planeeritakse hooldada 295 km torustikke õhk-veesi pesu ja jääpesu tehnoloogiaga. Varem oli hoolduskava kolm aastat, mis tulenes õhk-veesi pesu kolme aastase tulemuse kestvusest. Uues hoolduskavas on õhk-veesi osakaal 135 km ja jääpesu 160 km. Hoolduse kava eesmärk on ennetada probleeme veekvaliteedis. Kava peab olema paindlik, sest prioriteedid võivad muutuda. Hoolduse kava luuakse varasemate veeproovide ja kliendikaebuste alusel.

Hoolduskavasse ei kuulu üle 300 mm läbimõõduga magistraaltorustike hooldus, sest AS Tallinna Veel puudub nende hooldamiseks sobilikud seadmed. Magistraaltorustike seisukord on võrreldes väiksemate torustikega parem, sest sealse vee vool ja surve on stabiilsed ning vee viibeaeg on lühike. Tänavatorustikes on vee viibeaeg pikem ning selle võrra on suurem võimalus korrosiooni ja biokile tekkeks. Kõige ideaalsem hooldus peaks ette nägema mehaanilist puhastust, millele järgneb desinfitseerimine ning loputus. Selline hooldus oleks liiga kulukas ja aeganõudev. Teoreetiliselt oleks hea alustada vee puhastusjaamast ning liikuda otste poole.

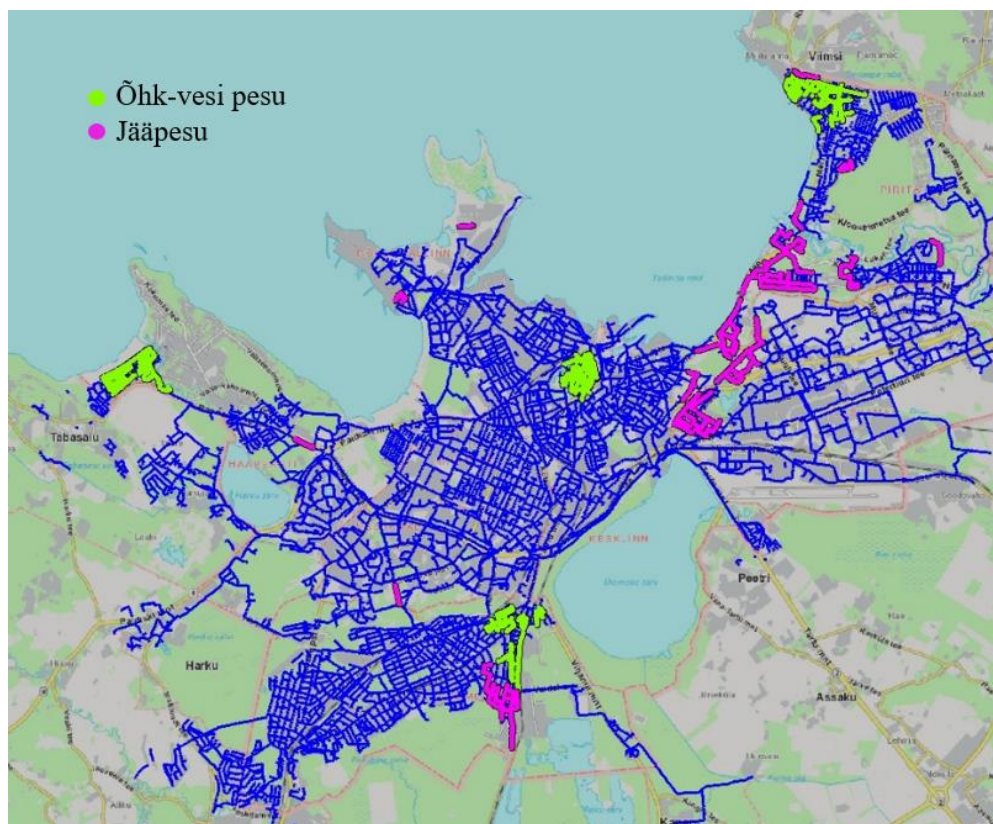
Tallinnas on 132 veeproovivõtu kohta, kust võetakse proovi kaks korda kuus. Veeproove võetakse samadest piirkondadest korraga, sellisel juhul on andmebaasis ülevaade piirkondlikest muutustest. Tegemist on lokaalse probleemiga, kui ühes proovivõtukohas on muutus, aga lähedal asuvates proovivõtukohtades pole. Lokaalse probleemi korral võetakse uus veeproov või palutakse proovivõtu asukohas elava(te)l tarbija(te)l oma torustikke loputada. 2022. aastal võeti kokku rohkem kui 3000 veeproovi, millest viis olid mittevastavused ning need lahendati veetorustiku loputamisega. Reeglina on need probleemid kinnistusesse torustikega. Tarbija saab torustikke loputada kõiki oma veekraane järjestikku avades. Suurema loputuse vajaduse korral demonteeritakse veearvesti torustiku vahelt välja ning tarbija ei pea loputuse käigus kulunud vett ise kinni maksma.

Veeproovide muutused on normaalsed, kui kõik näidud vastavad piirnormidele. Proovivõtu kohti muudetakse aeg-ajalt. Muudatusi tehakse, sest veeproovivõtu eesmärk on tagada veekvaliteet tänavatorustikus. Kinnistusesse torustikud võivad olla kehvast seisust või torustikku pole ehituse tõttu kasutatud ning seisva vee kvaliteet ei vasta normidele ega iseloomusta veekvaliteeti tänavatorustikus.

Tallinna linnas hooldatakse torustikke nelja tehnoloogiaga. Õhk-veesi pesu kasutatakse põhjavee piirkondades, mis eemaldab hästi raua sade torustikelt. Õhk-veesi pesu ei eemalda biokilet nii tõhusalt.

Jääpesu sobib kõikidesse piirkondadesse, eemaldades efektiivselt raua sadet kui ka biokilet. Desinfitseerimist tehakse harvem olemasolevatele torustikele, sest kemikaalide käsitlemine on ohtlik nii töötajale kui ka tarbijale. Loputust viiakse läbi esmaste ja lihtsamate probleemide tekkimisel.

Erinevad aastaajad mõjutavad veevõrgu hoolduse kava, sest talvel on teatud piirkonnad, nagu Nõmme linnaosa, rohkem lume all ning ligipääsetavus on seal keerulisem. Sellisel perioodil tehakse hooldusi Kesklinna piirkonnas, kus teed on paremini hooldatud ning siibrid ja hüdrandid on paremini ligipääsetavad. Joonis on alates 2023. aastal tehtud torustike hooldused õhk-vesi ja jääpesu hooldusega. Jääpesu on roosa värviga, õhk-vesi on roheline.



Joonis 21. 2023 aastal tehtud õhk-vesi pesu ja jääpesu hooldused, kus roosad on jääpesu hooldused ja rohelised õhk-vesi pesu hooldused

Tallinna linnas toimuvad pidevalt ehitused ja veevariid, mille tagajärjel pole planeeritud torustiku hooldus võimalik. Muutunud on ligipääsetavus torustikule või ehituse tagajärjel on planeeritud torustiku taga liiga suur hulk tarbijaid, kes võivad jääda ilma veeta. Sellistes olukordades planeeritakse hooldusplaane ringi. Tarbijate häirimise vähendamiseks tehakse näiteks kesklinnas töid öösel, sest tarbijate hulk on väga suur.

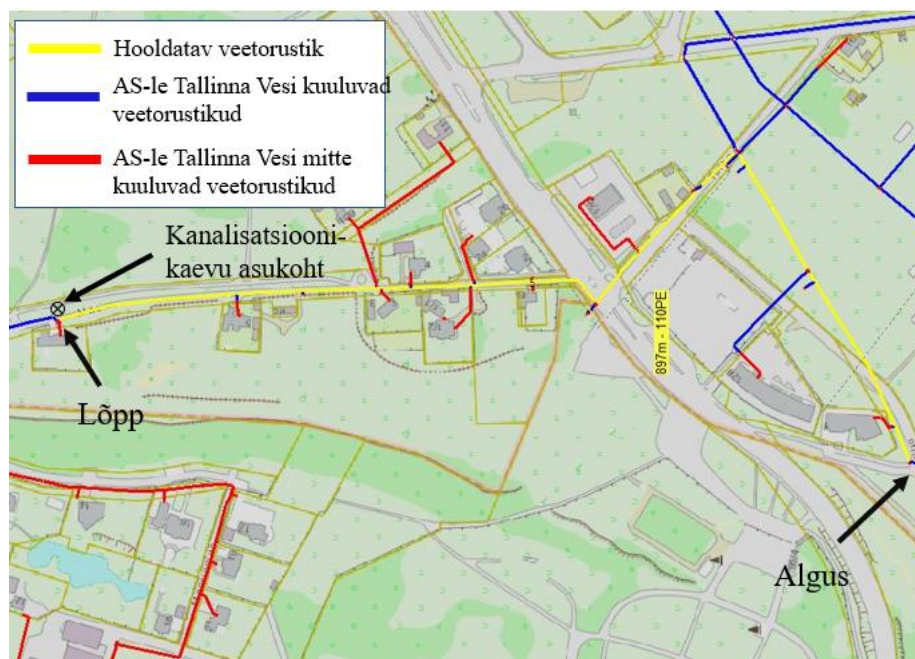
Reaktiivselt käitutakse, kui mitmes sama piirkonna proovivõtetes esineb joogivee kvaliteedi mittevastavusi. Reaktiivne käitumine tähendab, et hooldusbrigaad saadetakse probleemset torustikku hooldama ja sellised hooldused on kavavälised. AS-i Tallinna Vesi eelistatuim hooldusprotsess reaktiivses olukorras on jääpesu, sest 2023. aasta tehtud jääpesu hooldused on kõige paremate tulemustega.

Jääpesu tagasiside on Tallinna linna torustike hooldusel väga positiivne. Tehnoloogiat kasutatakse teistes riikides juba pikalt ning on näidanud, et torustiku hoolduse tulemus võib kesta kuni kümme aastat. Tallinna linna torustike seisukorda hinnates ennustatakse kestvust kuni seitse aastat. Tulevikus kogutakse rohkem andmeid Tallinnas jääpesu praktiseerimise kohta, et paremini hinnata selle efektiivsust ja murekohti.

3.3 Jääpesu kasutamine ühel näidisobjektil

2023. aastal hakkas AS Tallinna Vesi teostama veetorustike hooldust jääpesu tehnoloogiaga. Näiteks võetud objekt asus Lasnamäe linnaosas Mäe tänaval. Mäe tänav torustik oli 110 mm läbimõõduga polüetüleen toru, mille hooldatava lõigu pikkus oli 897 m ja ehitusaasta 2003. Torustiku hoolduseks kulus 2 tonni jäämassi. Loputusvett kulus 65 m³. Töö kestvuseks 3 h. Jäämassi tihedus torustikku sisestamisel oli 75%.

Joonisel 22 on märgitud hooldatava torustiku lõik, kus kollane joon tähistab hooldatava Mäe tn torustikku. Mäe tänav torustik, sinine on AS-le Tallinna Vesi kuuluv torustik ning punane AS-le Tallinna Vesi mitte kuuluv torustik. Joonisele on ka ära märgitud, kust sisestati jäämass ning kust väljus ja kanalisatsioonikaevu asukoht. Hooldatava torustiku lõik on ringvõrgustikul ning sellega ühenduses olevatele tarbijatele saadetakse teavitus, kus palutakse vett mitte tarbida ning soovitatakse peakraan sulgeda.



Joonis 22. Mäe tänava hooldatava torustiku lõigu plaan

Jäämassi sisestatakse alguspunktist läbi maapealse hüdrandi ning see väljub hooldatava torulõigu lõpus olevast hüdrandist. Loputusvesi suunati AS-le Tallinn Vesi kuuluvasse kanalisatsiooni. Kanalisatsiooni torustik oli PVC materjalist läbimõõduga 160 mm. Torustik võttis probleemideta vastu loputusvett.

Joonisel 23 on I ja II pesu tulemused. Proovid võeti ca 160 l tagant, joonisel 23 proovitops A on vesi enne torustiku hooldust. B-s on jäämassi esimene proov. C-s on viimane jäämassi proov. D-s on teise pesu esimene jäämassi proov ning E-s on viimane jäämassi proov. F-i proov on joogivee kvaliteedile loputatud vesi.



Joonis 23. I ja II pesu jäämassi ja vee proovid (OÜ Watercom foto)

Monitooringuseade salvestab viit parameetrit, mille alusel luuakse graafik. Graafikut on näha joonisel 24, mis annab ülevaate hooldusprotsessi iseloomustavatest parameetrite muutustest hoolduse ajal.

Vooluhulka reguleerib töötaja, kuid vooluhulga iseeneslik langus näitab torustikus olemasolevat takistust. Vooluhulk pärast teist jäämassi sisestamist on stabiilne, mis näitab, et torustikus pole takistusi. Viimased kümme minutit on vooluhulka vähendatud, sest hägusus on jõudnud alla 1 NTU. Joonis 24 on monitooringuseadme infopaneelil olevad parameetrid loputuse lõppedes. Hägususe näit oli loputuse lõpetades 0 NTU.

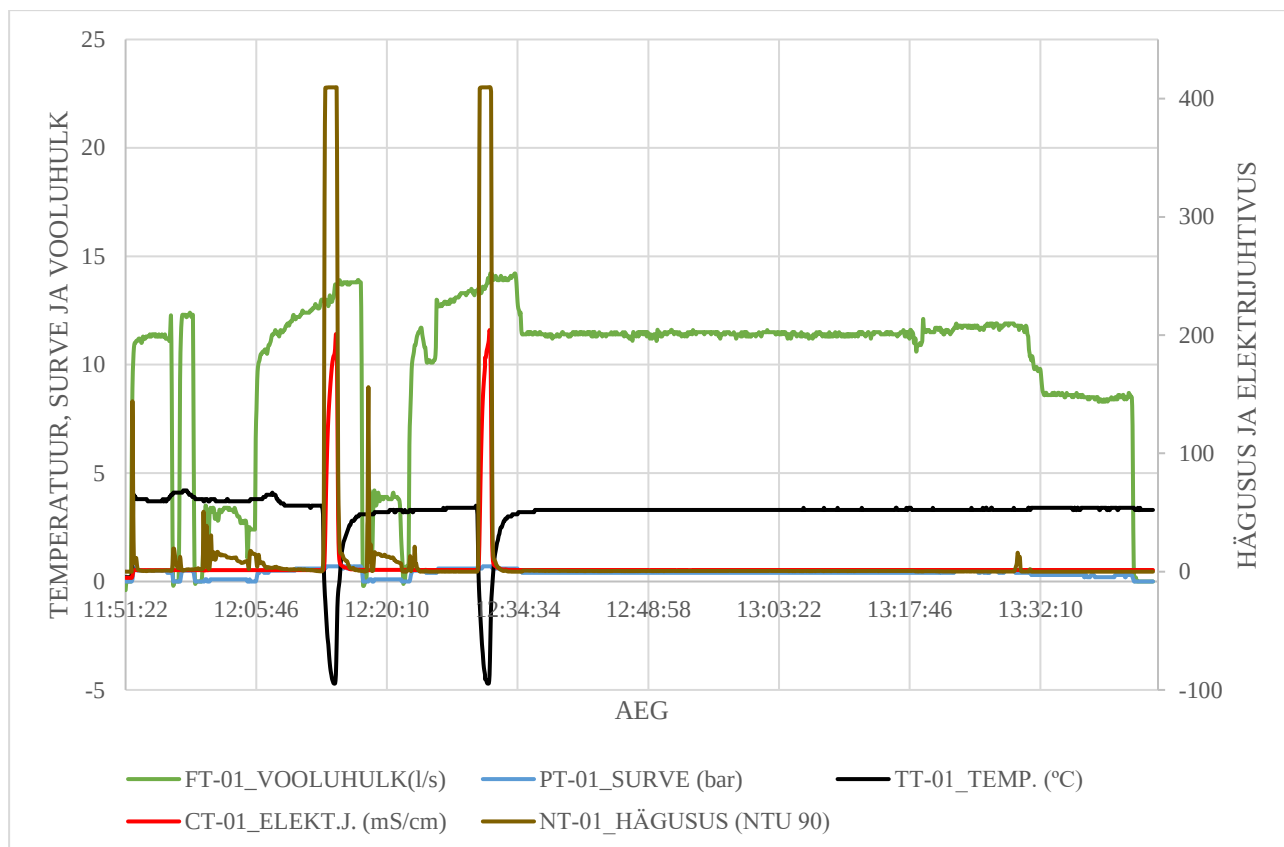


Joonis 24. Monitooringuseade infopaneel (OÜ Watercom foto)

Surve torus ehk veesurve lükkab jäämassi torustikus edasi. Jäämass sisestatakse torustikku 1 baari võrra vähema rõhuga kui on torustiku rõhk. Liiga madala rõhu korral vesi ei lükka jäämassi hooldatavas torustikus edasi. Vesi ei suuda jäämassi edasi lükata, kui jäämassi surve on kõrgem veetorustikus oleva vee survest.

Jäämassi sisestamisel vee temperatuur langeb ning elektrijuhtivus tõuseb. Elektrijuhtivus tõuseb, sest jäämass on valmistatud soolalahusest. Pärast jäämassi elektrijuhtivus langeb ja läheb normi tagasi.

Monitooringuseade võimaldab mõõta hägusust kuni 400 NTU. Joonisel 25 on graafikul näha, et hägusus läheb üle 400 NTU. Pärast esimest pesu on graafikul näha ebatäpsusi. Pärast teist pesu läheb hägusus kohe ühtlaselt alla ja jääb stabiilseks. Loputus lõpetatakse kui hägusus on alla 1 NTU.



Joonis 25. Monitooringuseadme graafik

KOKKUVÕTE

AS Tallinna Vesi vastutab Tallinna elanike puhta joogivee eest. Joogivee kvaliteedi tagamise aluseks on korrapärane torustike hooldus hoolduskava järgi. 2023. aastal teeb AS Tallinna Vesi uue hoolduskava, et lisada sinna jääpesu tehnoloogia. Kavas on ette nähtud hooldada torustikke hürdopneumaatilise pesu ehk õhk-vesi pesu kui ka jääpesuga. Varem oli kava määratud kolmeks aastaks ning peamine hooldusprotsess oli õhk-vesi pesu. Kava pikkus tulenes peamiselt hooldusprotsesside kestvusest, mis õhk-vee pesu korral on kolm aastat. Kava koostamise aluseks on kliendikaebused ja veeproovid. Veevarustusvõrku seiratakse 132 veeproovivõtukohest kaks korda kuus. Uues kavas on ette nähtud 2023. aastal torustikke hooldada õhk-vesi pesu kui ka jääpesuga. Hoolduskavast üle poole hooldatavate torustike mahust hooldatakse jääpesuga. Jääpesu eeldatava tulemuse kestvus on kuni seitse aastat ja sellepärast on pikendatud hoolduskava 5 aasta peale.

Veetorustike põhiprobleem on torustike korrosiooni ja biokile teke, mis halvendavad joogivee kvaliteeti, kui ka torustike veesurvet ning eluiga. Korrosioon torustikes tekitab veesurve langust kui ka lekkeid. Lisaks on korrodeerunud torustiku sisepind kasvukoht mikroorganismidele. Biokile on mikroorganismide enda poolt kaitsva kihiga kogum, mis on raskesti eemaldatav oma struktuuri tõttu. Biokiles võivad hakata vohama tarbija tervisele ohtlikud mikroorganismid nagu *colid* ja entreokokid. Enne 2023. aasta algust oli eelistatuim viis biokile eemaldamiseks õhk-vesi pesu, kuid ka see ei eemalda nii tõhusalt kui jääpesu. Biokile on polüetüleentorustikust raskem eemaldada õhk-vee pesuga kui jääpesuga, mistõttu leiti vajadus tuua jääpesu tehnoloogia Eestisse.

Hooldusprotsesside võrdlus andis ülevaate, kui palju tõhusam võib üks tehnoloogia olla teisest. Torustike hooldusprotsesside tähtsamad erinevused on veekulu ja vajalik hooldustööde intervall. Vajalik jääpesu järgne kordushooldus tsükkel on kaks korda pikem kui õhk-vesi pesu ning veekulu kolm korda väiksem kui õhk-vee pesu ja loputuse hooldusprotsessil. Mistõttu peaks Tallinnas ja ka mujal Eestis jääpesu rohkem kasutama.

SUMMARY

Tallinn has the most expansive water distribution system in Estonia with 470 000 consumers. The water comes from both ground and surface water sources. AS Tallinna Vesi has set the specifications for construction of water pipes according to Estonian standard so that the water distribution system would be durable.

The basis of guaranteeing the quality to the drinking water is regular cleaning of the pipe system according to the specified schedule. In 2023 AS Tallinna Vesi is making a new cleaning schedule to add in a new ice pigging technology. The plan is to do the water pipes maintenance with air scouring and ice pigging. Drafting the new plan is based on customer complaints and water samples. The new plan dictates the maintenance with air scouring and ice pigging technology in 2023. Over half of the planned maintenance work on the water pipes will be done with ice pigging. The expected duration of the results from ice pigging is estimated to last up to seven years and therefore the maintenance schedule is extended to five years.

The main problem with water pipes are corrosion and the formation of biofilm which degrade the quality of the drinking water as well as water pressure and lifespan of the pipes. Corroded inner walls of the water pipes promote the growth of microorganisms and biofilm. Microorganisms like enterococcus faecalis and escherichia coli can start to proliferate in the biofilm which are dangerous to the health of the consumer. Before the start of 2023 the preferred method of eliminating biofilm was air scouring but this is not as efficient as ice pigging. Biofilm is more difficult to remove from polyethylene pipes with air scouring than it is with ice pigging which is why there was a need to bring this technology to Estonia.

Comparison of these methods gave an overview of how much more efficient one technology could be from another. AS Tallinna Vesi uses four different cleaning methods for water pipe maintenance – air scouring, disinfecting, flushing and ice pigging. Air scouring and flushing are the most common. Disinfecting is mainly used to clean new pipes. Ice pigging has been used since the start of 2023 and the results have been promising. The duration of the results from ice pigging has been shown to be twice as long as from air scouring. The amount of water used in ice pigging has been three times less than with air scouring and flushing methods.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] J. Karu, *Veevärk*. 2016.
- [2] „Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ja analüüsimetodid ning tarbijale teabe esitamise nõuded“. <https://www.riigiteataja.ee/akt/115032023010> (vaadatud 3. aprill 2023).
- [3] „Indikaatornäitajad“. [Online]. Available at: https://www.terviseamet.ee/sites/default/files/content-editor/vanaveeb/Keskkonnatervis/vesi/joogivesi/Jv_indikaatornaitajad.pdf (vaadatud 6. aprill 2023).
- [4] L. Korjus, „Kraanivee kvaliteet püsib kõrgel tasemel“, *Tallinna Vesi*, 31. jaanuar 2020. <https://tallinnavesi.ee/kraanivee-kvaliteet-pusib-korgel-tasemel/> (vaadatud 7. aprill 2023).
- [5] „Elektrijuhtivus“, *Veefilter*. <https://www.veefilter.ee/probleemid-ja-lahendused/elektrijuhtivus/> (vaadatud 7. aprill 2023).
- [6] Eesti Standardikeskus, „EVS-EN ISO 7027-1:2016 Vee kvaliteet. Hägususe määramine. Osa 1: Kvantitatiivsed meetodid“. 8. märts 2016. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/et/evs-en-iso-7027-1-2016> (vaadatud 11. mai 2023).
- [7] Y.-W. Tang, D. Liu, M. Sussman, I. Poxton, J. Schwartzman, ja Y.-W. Tang, *Molecular Medical Microbiology*. San Diego, UNITED KINGDOM: Elsevier Science & Technology, 2014. Vaadatud: 16. märts 2023. [Online]. Available at: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/tuee/detail.action?docID=1798299> (vaadatud 16. märts 2023).
- [8] Eesti Standardikeskus, „EVS-EN ISO 6222:2001 Vee kvaliteedi kultiveeritavate mikroorganismide loendamine“. 2001. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/Download/ViewBrowsingServiceSubscription?productId=40899&language=EstonianLanguage> (vaadatud 16. märts 2023)
- [9] AWWA Staff, *Water Treatment*. Denver, UNITED STATES: American Water Works Association, 2009. [Online]. Available at: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/tktk/detail.action?docID=3116750> (vaadatud 21. märts 2023)
- [10] J. C. Crittenden *et al.*, *MWH's Water Treatment: Principles and Design*. Hoboken, UNITED STATES: John Wiley & Sons, Incorporated, 2012. [Online]. Available at: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/tktk/detail.action?docID=817311> (vaadatud 21. märts 2023)

- [11] N. K. Shammass, *Water Engineering: Hydraulics, Distribution and Treatment*. Newark, UNITED STATES: John Wiley & Sons, Incorporated, 2015. [Online]. Available at: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/tktk/detail.action?docID=7104368> (vaadatud 21. märts 2023)
- [12] K. J. Howe, D. W. Hand, J. C. Crittenden, R. R. Trussell, ja G. Tchobanoglous, *Principles of Water Treatment*. Newark, UNITED STATES: John Wiley & Sons, Incorporated, 2012. [Online]. Available at: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/tktk/detail.action?docID=7103512> (vaadatud 3. aprill 2023)
- [13] C. Binnie ja M. Kimber, *Basic Water Treatment*, Fifth edition. 2013.
- [14] J. Karu, *Tarbeveekäitlus II*. 2010.
- [15] L. Mays, *Water Transmission And Distribution (WSO)*. Denver, UNITED STATES: American Water Works Association, 2010. [Online]. Available at: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/tktk/detail.action?docID=3116696> (vaadatud 22. veebruar 2023)
- [16] L. Paal, H. Mölder, ja H. Tibar, *Veevarustus ja kanalisatsioon*. 1981.
- [17] Eesti Standardikeskus, „EVS 921:2022 Veevarustuse välisvõrk“. 2022. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/Download/ViewBrowsingServiceSubscription?productId=141612&language=EstonianLanguage> (vaadatud 2. märts 2023)
- [18] R. Clarke, *Modeling Water Quality in Distribution Systems*. Denver, UNITED STATES: American Water Works Association, 2011. [Online]. Available at: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/tktk/detail.action?docID=3116755> (vaadatud 17. märts 2023)
- [19] AS Tallinna Vesi, „Sulgeseadmed“, *Tallinna Vesi*. <https://tallinnavesi.ee/tehnilised-nouded/projekteerimine/veevarustuse-projekteerimine/sulgeseadmed/> (vaadatud 4. aprill 2023).
- [20] „AVK MAAKRAAN AVK DN32/40 PN16“, *Onninen*. <https://www.onninen.ee/avk-maakraan-avk-dn32-40-pn16/p/AAI192> (vaadatud 4. aprill 2023).
- [21] „AVK KUMMIKIILSIIBER ÄÄRIKUTEGA AVK DN300 PN10“, *Onninen*. <https://www.onninen.ee/avk-kummikiilsiiber-aarikutega-avk-dn300-pn10/p/AAI259> (vaadatud 4. aprill 2023).
- [22] K. Lindström, *Veevarustus ja kanalisatsioonitehnika*. Ehitame, 2001.
- [23] „Microsoft Word - EVS_EN_14339;2005_et - PDF.js viewer“. <https://www.evs.ee/Download/ViewBrowsingServiceSubscription?productId=52328&language=EstonianLanguage> (vaadatud 3. aprill 2023).

- [24] AS Tallinna Vesi, „Tulekustutus“, *Tulekustutus*. <https://tallinnavesi.ee/tehnilised-nouded/projekteerimine/veevarustuse-projekteerimine/tulekustutus/> (vaadatud 3. aprill 2023).
- [25] „Ettevalmistamine paigaldamiseks. Paigaldamine ja kasutamine“. [Online]. Available at: <https://eccua.ee/wp-content/uploads/2016/01/TTMP-paigaldusjuhend.pdf> (vaadatud 7. aprill 2023)
- [26] Pipelife, „Veesurvetorustikud“, juuli 2009.
- [27] L. Mays, *Water Distribution Systems Handbook*. 1999.
- [28] R. M. Donlan, „Biofilms: Microbial Life on Surfaces“, *Emerg Infect Dis*, kd 8, nr 9, lk 881–890, sept 2002, doi: 10.3201/eid0809.020063.
- [29] L. V. Evans, *Biofilms: Recent Advances in their Study and Control*. CRC Press, 2003.
- [30] E. I. Prest, F. Hammes, M. C. M. van Loosdrecht, ja J. S. Vrouwenvelder, „Biological Stability of Drinking Water: Controlling Factors, Methods, and Challenges“, *Frontiers in Microbiology*, kd 7, 2016, [Online]. Available at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2016.00045> (vaadatud 2. aprill 2023)
- [31] R. Woulfe, „AIR SCOURING OF WATER MAINS - AN ASSET MANAGEMENT APPROACH“, 2001.
- [32] D. Ellison, *Investigation of Pipe Cleaning Methods*. American Water Works Association, 2003. [Online]. Available at: https://books.google.ee/books?hl=en&lr=&id=CAGE1lDiFMoC&oi=fnd&pg=PR9&dq=Ellison,+D.+and+AWWA+Research+Foundation.,+Investigation+of+pipe+cleaning+methods.+2003,+Denver,+CO:+AWWA+Research+Foundation+and+American+Water+Works+Association.+xix,+142+p.&ots=Q03T0FhxSb&sig=Rx98lzSu2uJD-L9CERZ0lF0AIDs&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false (vaadatud 23. märts 2023)
- [33] R. G. Ainsworth ja R. Ainsworth, Toim, *Safe piped water: managing microbial water quality in piped distributed systems*. WHO drinking water quality series. London: IWA [u.a.], 2004.
- [34] Factair, „Cleaning of Water mains by means of air scouring“.
- [35] G. Berriman, „ICE PIGGING - THE WAY AHEAD FOR WATER MAIN CLEANING“, 2011.
- [36] „Wayback Machine“, 4. märts 2016. https://web.archive.org/web/20160304035628/http://www.aqualogyuk.com/websitefiles/water_paper.pdf# (vaadatud 1. aprill 2023).
- [37] Nivalis Tech Ltd, „Torustiku jääga puhastamise süsteemi juhised“. detsember 2022.

- [38] „Manuals and training records“, *Airtable*.
<https://airtable.com/shrPcmdIsVEnQtSja/tbl93EPAsqy2NxIY8/viw2sntuZ642QE7Xu/recvWrepgO8rkX1FJ/fldYlelaRLyKGDacn/attAHG3SOnRyGF1HI> (vaadatud 2. aprill 2023).
- [39] Nivalis Tech Ltd, „Ice Pigging Equipment Detailed Specification“. jaanuar 2022.
- [40] „Tegevusvaldkonnad“, *Tallinna Vesi*. <https://tallinnavesi.ee/ettevote/tegevused/> (vaadatud 13. mai 2023).

Lisa 1. Joogivee tava- ja süvakontrollil uuritavad näitajad

Näitaja	Piirsisaldus	Ühik
Alumiinium	200	µg/l
Ammoonium	0,5	mg/l
Elektrijuhtivus	2500	µS cm ⁻¹ 20 °C
Jääkkloor	≤ 0,5 ja ≤ 1	mg/l
Raud	200	µg/l
Nitrit	0,5	mg/l
Hägusus	Tarbijale vastuvõetav, ebaloomulike muutusteta	NTU
Maitse	Tarbijale vastuvõetav, ebaloomulike muutusteta	
Lõhn	Tarbijale vastuvõetav, ebaloomulike muutusteta	
Värvus	Tarbijale vastuvõetav, ebaloomulike muutusteta	
Escherichia coli	0	arv/ 100ml
Kolooniate arv 22 °C	Ebaloomulike muutusteta	
Coli-laadsed bakterid	0	arv/ 100ml
pH	≥6,5 ja ≤ 9,5	pH ühik
Soole enterokokid	0	arv/ 100ml