



**Põhjavee, filtritaidiste ja filtreeritud
põhjavee mikrobioloogiline
rakendusuring
Sillamäe**

28.03.2020 Tallinn



Töö nimetus: Põhjavee, filtritaidiste ja filtreeritud põhjavee mikrobioloogiline rakendusuuringSillamäe

Töö number: 19027

Tellijä: EESTI VEE-ETTEVÖTETE LIIT

Vastutav täitja: Madis Metsur

Koostajad: Madis Metsur
Kadri Normak

Töös osalesid: Artto Pello
Mati Salu
Eik Eller

Kaasatud eksperdid Jaak Jaaku AA Aqua OÜ
Mailis Laht EKUK
Rein Munter OÜ LOITEH

Kontrollija: Kadri Normak

Maves OÜ

Marja 4D Tallinn, registrikood 10097377

<http://www.maves.ee> e-post: maves@maves.ee

SISUKORD

PÕHJAVEE, FILTRITÄIDISTE JA FILTREERITUD PÕHJAVEE MIKROBIOLOOGILINE RAKENDUSUURING SILLAMÄE.....	0
1 SISSEJUHATUS.....	3
2 HÜDROGEOLOOGIA.....	4
3 SENISED VEEKVALITEEDI MIKROBIOLOOGILISED PROBLEEMID.....	7
4 SENISED TEHNOLOOGILISED LAHENDUSED.....	9
4.1 ANAEROOBSE PÕHJAVEE PUHASTAMISE TEHNOLOOGIA.....	9
4.2 TEHNILISTE LAHENDUSTE ASJAKOHASUS.....	9
4.3 SEADISTAMINE.....	10
4.4 TEHNOLOOGIA PUUDUSED	11
5 ANALÜÜSIDE TULEMUSED JA JÄRELDUSED.....	12
5.1 VEEANALÜÜSID.....	12
5.2 LAHUSTUNUD HAPNIKU SISALDUS VEES.....	13
5.3 BAKTERITE MÄÄRANGUD.....	14
5.4 METAAN.....	16
5.5 TOITAINED	17
6 MIKROORGANISMIDE ELUTEGEVUS VEETOOTMISE PROTSESSIS.....	18
7 VEE BIOLOOGILISE STABIILSUSE SAAVUTAMISE VÕIMALUSED	23
8 KOKKUVÕTE	26
9 VIIDATUD KIRJANDUSE LOETELU	27

LISA 1 Vee-ettevõtte kiri terviseametile (08.02.2017)

LISA 2 Rein Munteri arvamus veekäitlusest, kokkuvõte

LISA 3 Veeproovide ja mõõtmiste tulemused (Excel, 6 töölehte)

1 SISSEJUHATUS

Uurimistöö käigus analüüsi hüdrogeoloogi (Madis Metsur, Maves OÜ), veeinseneri (Rein Munter), keemiku (Jaak Jaaku) ja mikrobioloogi (Mailis Laht) koostöös Sillamäe Mikrorajooni ja Rapla ühisveevärgi põhjavee kasutamise ja veekäitluse arengu ajalugu, olemasolevat tehnoloogiat ja tulemusi toorvee käitlemisel.

Teadadaolevalt ei ole Eestis spetsialiste, kelle põhitegevuseks on erinevate põhjaveeallikate toorvee käitlemise tehnoloogia uuringud ja teaduslikult põhjendatud lahenduste soovitamise. Seetõttu kulus töörühmal palju aega Sillamäe ja Rapla anaeroobse põhjavee käitlemise probleemi ja maailmapraktika näidetesse süvenemiseks. Olulisemate kogutud ja kasutatud materjalide loetelu on toodud peatükis 9. Viited kasutatud materjalidele on toodud ka vee-ettevõtetele esitatud töömaterjalides.

Töö raames külastati Rakvere ja Haapsalu veetöötlusjaamu, mis töötlevad samuti anaeroobset põhjavett.

Uuringute programmi tuli töö käigus lisandunud informatsiooni põhjal jooksvalt täpsustada. Esimeste proovivõtuseeriade järel selgus täiendavate uuringute vajadus vee lahustunud metaani sisalduse osas.

Rapla ja Sillamäe veehaarete uuringu töömaterjalid, sealhulgas arutluste üleskirjutused ja mõõtmiste tulemused on esitatud Rapla ja Sillamäe vee-ettevõtetele jooksvalt. Veeproovide ja mõõtmiste tulemused on koondatud lissasse 3. Olulisemad näitajad on esitatud ka teksti tabelites peatükis 5.

Käesolev aruanne esitab ekspertide arusaama vaadeldud veetöötlusjaama uuringute alusel. Käesoleva kokkuvõtliku aruande koostas Madis Metsur.

Töö tulemused on läbi arutatud Sillamäe Vee esindajatega. Aruanne saadeti tutvumiseks Keskkonnaministeeriumi veeosakonnale ja põhjaveekomisjonile 06.03.2020. ning EVEI-ile koos Rapla aruandega 12.03.2020. Tööd esitleti põhjaveekomisjoni elektroonilisel koosolekul 01.04.2020. Aruannet täpsustati veeettevõtte märkuste alusel süsteemi perioodilise läbipesemise soovitude osas.

2 HÜDROGEOLOOGIA

Põhjavee kvaliteedi kujunemise seaduspärasused. Vesi on kogu ökosüsteemi alus, milleta elu maal ei ole võimalik. Vee füüsikalise-keemiliste omaduste kujunemisel osalevad mikroorganismid, mille olemasolu me tavaliselt ei teadvusta. Vett saab steriliseerida ainult kuumutamiseks üle 130 °C temperatuuri juures.

Põhjavee keemiline koostis sõltub veekihi lasumissügavusest. Aeroobne põhjavesi levib ainult maapinnalähedases veekihis, mis toitub otseselt sademetest ning mille koostis sõltub sademete vee koostisest ning mulla- ja pinnasekihtidest pärinevatest lahustuvatest ainetest. Maapinnalähedases hapnikurikas tsoonis esinevad nii nitraatioon kui ka sulfaatioon. Sügavuse suurenedes kaob veest vaba hapnik ning seejärel kasutavad mikroorganismid ära nitraat- ja sulfaatiooni hapniku. Põhjavee ilmuvad vees lahustunud mangaan ja raud, seejärel väävelvesinik ja metaan.¹

Sügavate veekihtide vees on sageli joogiveeks kasutamiseks liigselt rauda, mangaani, väävelvesinikku ja ammoniumiooni. Kõiki neid on võimalik veest kõrvaldada vee oksüdeerimise ja filtreerimise teel.

Põhjaveekogumite vee kujunemise kontseptuaalsed mudelid leiab Geoloogiateenistuse põhjaveekogumeid kirjeldavast tööst (Marandi jt., 2019).²

Sillamäel kasutatavate põhjaveekihtide vee looduslik koostis on välja kujunenud aastatuhandete jooksul. Sillamäe piirkonna Voronka põhjaveekihi vesi pärineb liustike sulaveest, mis on infiltreerunud rohkem kui 10 000 aastat tagasi. Voronka põhjaveekiht on tänapäevasest veeringest ja kõrgemal lasuvatest põhjaveekihtidest isoleeritud. Põhjavesi on HCO₃⁻Cl⁻Na⁺Ca⁺ tüüpi ja mage, mineraalsusega 0,6 g/l. Enamiku keemiliste komponentide sisalduse osas vastas vesi väga hea joogivee kvaliteediklassile ja ainult kloriidide sisalduse poolest heale kvaliteediklassile (Sotsiaalministri 02.01.2003 määrus nr 1, *kehtetu alates 01.10.2019*³). Kloriidide sisaldus on enamasti 170–200 mg/l. Üksikutes

¹ Põhjaveekomisjon 2005. Eesti Põhjavee kasutamine ja kaitse

² Marandi, A., Osjamets, M., Polikarpus, M., Pärn, J., Raidla, V., Tarros, S., Vallner, L., 2019. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine, koormusallikate hindamine ja hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

³ Sotsiaalministri 02.01.2003 määrus nr 1. Joogivee tootmiseks kasutatava või kasutada kavandatava pinna- ja põhjavee kvaliteedi- ja kontrollinõuded (*kehtetu alates 01.10.2019. Ei ole kavas uuendada*)

Sillamäe kaevudes on Cl^- sisaldus tõusnud üle 500 mg/l, millega on kaasnenud ka K^+ ning Na^+ sisalduse kasv ning põhjavesi on muutunud $\text{Cl}^- \text{HCO}_3^- \text{Na}^+ \text{Ca}^{2+}$ tüüpi veeks⁴.

Keslinna kaevudes esines kloori sisaldust üle 250 mg/l ka 2019. aastal nii Geoloogiateenistuse poolt võetud veeproovides kui ka vee-ettevõtte omaseire veeproovides.

Sillamäe SEJ puurkaevus nr 2193 on esinenud efektiivdoosi piirväärtuse (0,1 mSv/a) ületamist, mis Kiirgusseire büroo 2015. aasta hinnangul inimeste tervisele ohtu ei kujuta.⁵

Varasemates uuringutes on Sillamäe puurkaevust nr 2217 leitud (01.12.2011 ja 04.07.2016 võetud veeproovides) metaani (peamiseks põhjavees lahustunud gaasiks oli lämmastik).⁶

Sillamäe põhjaveevaru on uuritud 1999. aastal⁷, kinnitatud varude (7000 m³ ööpäevas põhjavett Kambrium Vendi V2vr (6500 m³/ööp) ja V₂gd (500 m³/ööp) veekihist) tähtaeg lõpeb 2020. aastal.⁸ Lähtudes põhjavee varude uuringust, on veeloas nr L.VV/329103 toodud lubatud veevõtu mahud puurkaevude kaupa. Sellest lähtudes lülitatakse töötavaid kaeve regulaarselt ümber. Põhjaveevarude ümberhindamisel on soovitatav kaaluda samade puurkaevude võimalikult stabiilsel režiimil kasutamise võimalust. See aitaks hoida toorvee mikrobioloogilist stabiilsust.

Põhjavesi on kõigis **Mikrorajooni** varustavas viies (**2202** (puuritud 1966), **2210** (1981), **2212** (1981), **2217** (1987), **2966** (1964)) puurkaevus hea kvaliteediga, kuid anaeroobne (sulfaatide sisaldus kaevudes on alla 3,3 mg/l, kloriidide sisaldus 175–185 mg/l)). Sealjuures oli Mikrorajooni viiest kaevust 2018. aasta lõpus Geoloogiateenistuse poolt eelviidatud kloriidide uuringu raames võetud veeproovis ka rauasisaldus normis (alla 200 µg/l). (Raidla jt 2019)

Mikrorajooni puurkaevudest 2019. aastal käesoleva töö raames võetud veeproovide

⁴ Raidla, V., Polikarpus, M., Pärn, J., Tarros, S., 2019. Põhjavee kloriidide sisalduse tõusu põhjuste ja päritolu uuring Sillamäel. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

⁵ Terviseameti kiri 05.02.2020 nr 9.2-3/20/788-1 „Sillamäe linna veevõrkide joogivee kvaliteedist 2019. aastal“

⁶ Raidla, Valle & 2019. Origin and formation of methane in groundwater of glacial origin from the Cambrian-Vendian aquifer system in Estonia. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 251 (2019) 247–264

⁷ Savistki, Leonid 1999. Ida-Virumaa kambriumi-vendi veekompleksi põhjaveetarbevaru hinnang. Eesti Geoloogiakeskus

⁸ Keskkonnaministri käskkiri 06.04.2006 nr 409

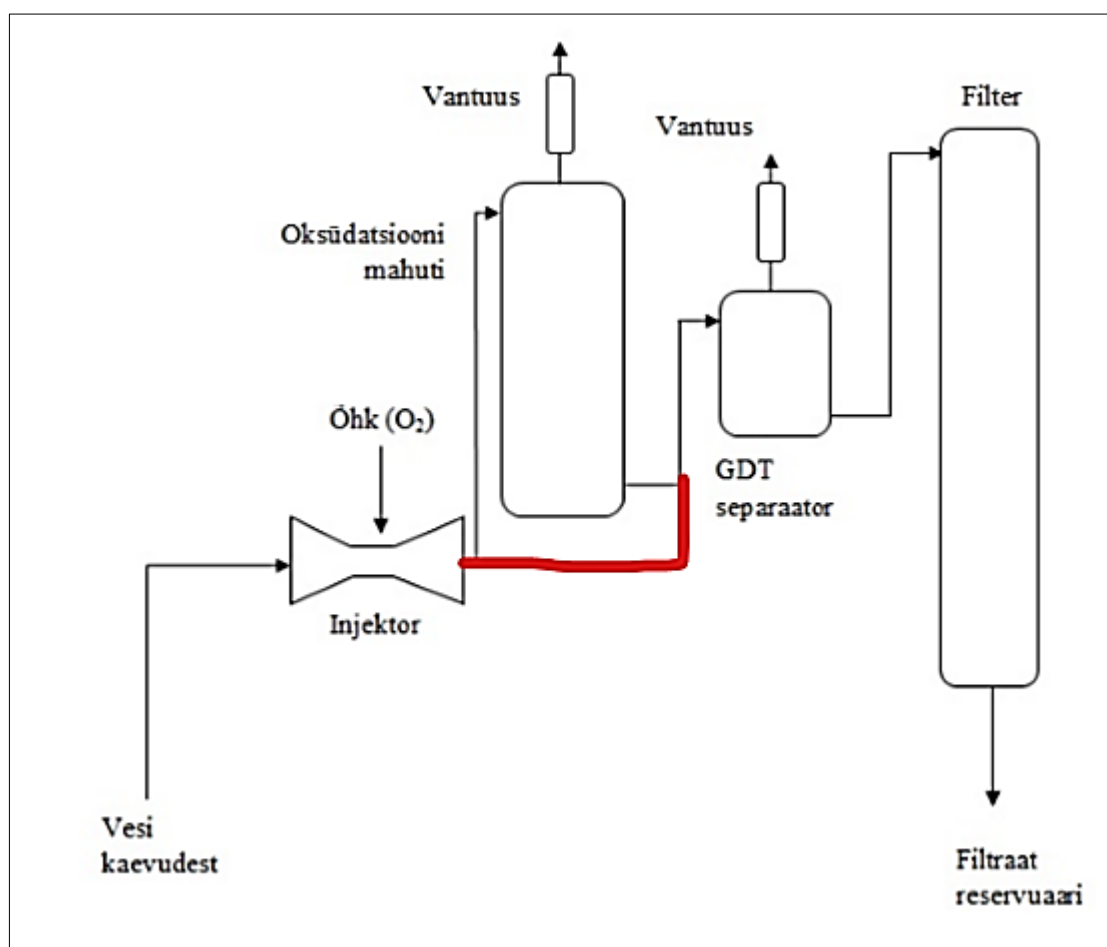
põhjavee koostis vastab joogivee nõuetele⁹. Piirväärtuse 0,2 mg/l piiril on rauasisaldus puurkaevus nr 2966. Käesoleva töö raames võetud veeproovide alusel esineb põhjavees ammoniumioon, kahevalentne raud ja mangaan, sulfiidid, metaan (1–5 mg/l) Oma looduslikus anaeroobses olekus on põhjavee koostis stabiilne. Vaata ka peatükk 5 ja Lisa 3.

Tähelepanu väärrib ka puurkaevude vanus ning nende tööaja võimalik ammendumine.

⁹ Sotsiaalministri määrus 24.09.2019 nr 61. Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid

3 SENISED VEEKVALITEEDI MIKROBIOLOOGILISED PROBLEEMID

Mikrobioloogilised probleemid ilmsid juba veepuhastusjaama rajamise ajal bakterite vohamisena kontaktmahutites, filtrites ja ülejäänud veesüsteemis. Bakterite vohamise indikaatoriks oli suurenenud kolooniate arv 22 °C veetarbijate juures, aga vee-ettevõtte andmetel ka pruuni sette ja lima ilmumine tarbijate kraanidesse veevõrgu häiringute järel. Tarbijateni jõudis ka piimvalge imepeente mullidega segunenud vesi (viitab metaani esinemisele vees). Lähteolukorda kirjeldab lühidalt AS Sillamäe Veevõrk kiri Terviseametile 08.02.2017 (Lisa 1).



Joonis 1. Veeäitluse tehnoloogiline skeem SCHÖTTLI KESKKONNATEHNIKA AS 2014¹⁰ (möödaviik oksüdatsioonimahutist tehti 2017 aastal)

Sillamäel 2015. aastal tehtud mikrobioloogilisel uuringul leiti ja soovitati muuhulgas järgmist: Mikro filtrit toidab puurkaev (27), kus on looduslikult hulgaliselt suuri väävl-bakterite niite. Mikrorajooni filtri sisu on bakteritega ja sellest tulenevalt ka orgaanilise

¹⁰ Schöttli Keskkonnatehnika AS 2014. Sillamäe linna torustike ja vee filtreerimisseadmete rekonstrueerimise projekteerimis- ja ehitustööd, III etapp veetötluse tehnoloogia projekt

ainega saastunud. Praegune filtri täidis soodustab põhjavees looduslikult leiduvate väheste vävlibakterite vohamist (kemolitotroofide – kasutavad eluks keemiliste reaktsioonide energiat, sulfaatide redutseerimist jne, ja süsinikuallikana süsihappegaasi). Filtri täitematerjal on soovitatav asendada inertse ja orgaanikavaba materjaliga, milleks on näiteks puhas räniliiv. (See on käesolevaks ajaks tehtud). Tarbija juures bakteritest vabanemiseks tuleb torustikke klooreerida ja surveveega läbi pesta, et sealt bakterid välja uhta. Seejärel tuleb tagada, et veevõrku ei satuks enam bakteririkast vett. See on võimalik üksnes juhul, kui leitakse uus filtritäidis, mis ei soodusta bakterite kasvu.¹¹

Vee hapnikusisalduse mõõtmisi, veeanalüüse ega vee kvaliteedinäitajate mõõtmisi eelviidatud töö käigus teadaolevalt ei tehtud.

2017 aastal otsustati toorvesi oksüdatsioonimahutist mööda juhtida. Eksperdi põhjendus oli järgmine:¹²

Mikroorganismide vohamise vältimiseks on lühemas perspektiivis otstarbekas oksüdatsioonimahutid süsteemist välja lülitada ja olemasolev torustik läbi pesta. Oksüdatsioonimahuti ja aeratsiooni põhieesmärk on vähendada raua sisaldust vees. Kuna reaalne raua sisaldus puuraukude vees on lubatud piires, siis puudub püsiv vajadus aeratsiooni ja oksüdatsioonimahuti järele.

Käesoleva töö alguseni töötas veepuhastusjaam endiselt ebastabiilselt, kuid regulaarse süsteemi läbipesemise ja desinfitseerimise toel suudeti tarbijale anda valdavalt nõuetele vastavat joogivett. Perioodiliselt oli kolooniate 22 °C leiud veevõrgu vees küll kõrgeenenud, kuid 2017. aastal üle 1000 PMÜ/1ml saadud sisaldustega võrreldes olid 2018. – 2019. aasta alguse näidud tagasihoidlikumad (enamasti alla 300 PMÜ/1ml).

¹¹ Künnis-Beres 2015. Sillamäe veevarustussüsteemi mikrobioloogiline uuring

¹² Lemkov A., Kaevand A., Künnis-Beres, K. 30.01.2017. AS Sillamäe Veevärk keskpumpla veeproovide hinnang. Roschier Holding OÜ

4 SENISED TEHNOLOOGILISED LAHENDUSED

4.1 Anaeroobse põhjavee puhastamise tehnoloogia

Sillamäel kasutatakse sügavate põhjaveekihtide anaeroobset vett, mis sisaldab metaani ja sulfiide, ammooniumiooni, kahevalentset rauda ja mangaani ning süsihappegaasi.

Kui tavaliste filtersüsteemidega eraldatakse enamasti ainult kahevalentset rauda, siis sügavate veekihtide vesi nõuab ka veetöötlusjaamast väljuva vee stabiilset küllastamist lahustunud hapnikuga. Seepärast kasutatakse „sügavaeratsiooni“ või oksüdantide lisamist¹³. Rahuldavaid tulemusi on andnud ka jugapumbast ja separaatorist koosnev GDT tehnoloogia. Viimase tõhusus sõltub seadmete sisend- ja väljundrõhkude tootja juhiste kohasest tagamisest.

Eestis on „sügavaeratsiooni“ kasutamise näiteks Rakvere veepuhastusjaam¹⁴, kus 2019. aasta juunis suunati vee-ettevõtte mõõtmiste alusel veevõrku töödeldud vesi lahustunud hapnikusisaldusega 9–10 mg/l. Siin kasutatakse aeratsiooniks klassikalist aeratsioonitorni.

Tõrgeteta töötab veetöötlus GDT tehnoloogiat kasutades Haapsalu veevõrgis¹⁵.

Mõlemas eeltoodud veevõrgis torvee kloreerimist ei rakendata (vee-ettevõtte informatsioon 2019. aasta veetöötlusjaamade külastamise ajal).

Valiku kirjandust veetöötluste tehnoloogiate kohta leiab p. 9. Kasutatud materjalid.

4.2 Tehniliste lahenduste asjakohasus

Mikrorajooni veetöötlussüsteemi pumbatakse vesi viiest puurkaevust. Ühe kaevu toodang 10 m³/h (neli kaevu kokku 40 m³/h). Puurkaevud on nelja kaupa töös ja üks on ooterežiimil vaheldumisi.

Sillamäe veetöötlusjaama on paigaldatud firma Mazzei (<http://www.mazzei.net>) GDT seadmed. Veepuhastusjaama süsteeme ei õnnestunud ehitusperioodil hästi seadistada, mistõttu soovitati lisaks õhutussüsteemile kasutada ka kloreerimist. Vett siiski pidevalt ei kloreerita. Veekäitlusjaama häälestamine jäigi poolikuks, mistõttu veevõrku antavas vees ei olnud tõenäoliselt pidevalt piisavalt hapniku stabiilse veekvaliteedi tagamiseks kogu

¹³ Karu, Jaan 2016. Veevärk. Tallinna tehnikaülikool. Keskkonnatehnika instituut

¹⁴ Keskkonnalahendused OÜ 2018. Rakvere linna ühisveevõrgi ja -kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2018-2030. Rakvere linnavalitsus

¹⁵ SWECO Projekt 2017. Haapsalu ühisveevõrgi ja -kanalisatsiooni arengukava aastateks 2014...2025. Haapsalu Veevärk AS

veevõrgus. Bakterite ebakorrapärased vohangud veevõrgus olid ilmselt seotud vähese hapnikusalduse perioodidega veesüsteemis ning oksüdeerumata orgaanilise aine kuhjumisega seisvama veega süsteemi osades.

Vee kvaliteedi säilitamiseks tehakse veesüsteemi profülaktilisi kloreerimisi ja torustike läbipesu. 2 korda aastas desinfitseeritakse NaOCl₂ga reservuaarid, linna torustikud, lasteaedade ja koolimajade sisetorustikud. Vaata lisa 1.

Veetöötlusjaamade töö ja veevõrgus oleva vee kvaliteedi püsiva tagamise oluliseks eelduseks on kogu veevõrgu vee pidev lahustunud hapniku sisaldus (2(?)–5 mg/l) kuni tarbija liitumispunktini. Selleks peab veetöötlusjaamast väljuva vee lahustunud hapniku sisaldus olema pidevalt 5–10 mg/l.

Kõik GDT seadmed ei töötanud piisavalt hästi ka 2019. aasta esimese poole hapniku mõõtmiste ajal. Puudusteks oli madal sisendrõhk jugapumpades ning osade jugapumpade vale montaaž.

4.3 Seadistamine

1. Seadmed projekteeriti ja seadistati ainult raua ja mangaani eraldamiseks. Arvestamata jäeti anaeroobse põhjavee muude komponentide oksüdeerimise hapnikutarve ning võrku mineva vee lahustunud hapniku vajadus, milleks Mazzei juhised soovivad vähemalt 5 mgO₂/l. Arvestada tuleb ka seadmete efektiivsuse- ja varuteguritega.¹⁶ (Teoreetilisi arvutusi tuleb kontrollida vees lahustunud hapniku mõõtmistega).
2. See tingis lahustunud õhuhapniku vähese ja ebastabiilse sisalduse veepuhastusjaama kontaktmahutis ja filtrites. Jugapumpade rõhk oli reguleeritud „Desinfitseerimis- ja hooldusjuhendi“ lk 4 järgi 1,5/1,0 baari¹⁷, mis on Mazzei injektorite tootlikkuse tabelite järgi ilmselt vähe. (Väiksemad injektorid olid süsteemi ühendatud tagurpidi, kuid see ei mänginud suurt rolli, kuna suuremate õhutoodangust õige rõhu juures piisab).
3. VPJ seadmetes ja veevõrgus algas kontrollimatu rauabakterite vohamine, millest tekkinud orgaanilisest ainest toitus ka kõikvõimalik muu mikroorganismide kogukond.
4. Kontaktmahuti ummistus ja selle puhastamine osutus konstruktsiooni tõttu võimatuks. Seetõttu kontaktmahutist loobuti Haapsalu VPJ eeskujul (Haapsalu põhjavesi ei ole nii anaeroobne, kui Sillamäel, samuti on siin injektorid seadistatud suuremale õhu juurdevoolule).

¹⁶ Mazzei 2011. Technical Bulletin No.2, Removal of Iron and Manganese by aeration

¹⁷ Schöttli Keskkonnatehnika AS 2014. Sillamäe Keskpumpla ja mikrorajooni veetöötlusjaama veetöötlusseadmed, kasutus ja hooldusjuhend

5. Ebakorrapärase klooriühendite lisamine puurkaevude vette olukorda ei parandanud, kuna see ei taga süsteemi mikrobioloogilist stabiilsust.
6. Lahustunud hapniku mõõtmine süsteemis 2019. a kevadel ja suvel kinnitas eeltoodut: hapnikusisaldus veesüsteemis oli ebapiisav. Vaata peatükk 5.2.
7. Esimene katse suvel jugapumpasid (injektoreid) reguleerida ei õnnestunud ning olukord halvenes veelgi (metaan hakkas süsteemis iseloomulikke rõhulööke andma).
8. GTD rõhud seadistati koos tarnija esindajaga 31.07.2019 rõhkudele enne injektorit 2,5 baari, pärast injektorit 1 baar, pärast separaatorit 0,5 baari. Ekslikult paigaldatud jugapumbad paigaldati nõuetekohaselt.
9. Jugapumpade õhutoodangut mõõdeti 28.08.2018. Torustikku juhitava õhu kogus oli piisav ja hapnikusisaldus separaatorite järel rahuldav (6,4 mg/l). (Hiljem tõsteti sisendrõhku 3 baarini). Pärast seda on lahustunud hapniku sisaldused võrku suunatavas vees olnud head (7–7,5 mg/l). Vaata Lisa 3 töötabel 3.
10. Seejärel veesüsteemi töö paranes. Olulist mikroorganismide vohamist enam ei esine.

4.4 Tehnoloogia puudused

Praegu veetöötlusjaamas olemasolev tehnoloogia ei võimalda toorveest efektiivselt metaani eraldada. Olemasolevad GTD seadmed selleks ei sobi. Vaata ka lisa 2. Rein Munteri arvamus. Mikrobioloogilise stabiilsuse tagamiseks peab veevõrku suunatava vee lahustunud metaani sisaldus olema alla 10 µg/l. Seetõttu ei ole praeguste seadmetega joogivee stabiilne väga hea kvaliteet Sillamäel garanteeritud. Lahustunud metaan veevõrgus soodustab mikrobioloogilist ebastabiilsust. Kui oluline see mõju on, selgub pikema ekspluatatsiooni käigus.

Ebasoovitatav on toorvee allikaks olevate kaevude regulaarne ümberlülitamine. Seisva veega veesüsteemi osades on bakterite kasvuks soodsamad tingimused.

Veetöötlusjaama normaalset tööd segab veefiltrite ebapiisav kõrgus veereservuaaride suhtes. Reservuaarid ei täitu isevoolselt atmosfäärirõhul.

UV lambid ei tapa kõiki baktereid ega oma järelmõju veetorustikule.

Hüpokloriti lisamine veele on bakterite elutegevuse mahasurumiseks ebaselge mõjuga. Võib oletada, et ebaregulaarse ja väikestes kontsentratsioonides hüpokloriti kasutamise korral bakterid kohanevad sellega. On ka viiteid, et hüpoklorit võib teatud tingimustel isegi bakterite elutegevust soodustada.

Seadmete desinfitseerimine ja torustike läbipesu leevendab bakterite vohanguid veesüsteemis, kuid tulemused on tõenäoliselt paremad kui veesüsteemis hoitakse pidevalt vee lahustunud hapniku sisaldust üle 5 mg/l.

5 ANALÜÜSIDE TULEMUSED JA JÄRELDUSED

5.1 Veeanalüüsid

Uurimistöö käigus tehti kõigist vaadeldavat veetöötusjaama toorveega varustatavatest puurkaevudest vähemalt üks kord põhjavee põhjalikud üldanalüüsid, milles tavanäitajatele (sealhulgas ammoniumioon) lisaks määrati TOC, DOC, CO₂, Fe₂⁺, Fe, Mn, Cl⁻, KHT_{Mn} (keemiline hapnikutarve), N_{üld}, P_{üld}, S_{üld}, (et teada saada bakterite võimalike toitainete koguhulka vees), kolilaadsed bakterid, *Escherichia coli*, enterokokid, kolooniate arv 22° C, väävelvesinik. Kohapeal mõõdeti vees lahustunud hapniku sisaldus (ja küllastumusprotsent), temperatuur, pH ja elektrijuhtivus.

Enne veetöötlust määrati: Fe₂⁺, Fe, Mn, Cl⁻, vabakloor, hapnik, KHT_{Mn}, S, kolooniate arv 22° C, CO₂ ja sulfaat.

Võrku suunatavast veest määrati: TOC, DOC, CO₂, Fe₂⁺, Fe, Mn, Cl⁻, hapnik, KHT_{Mn}, N_{üld}, P_{üld}, S_{üld}, kolooniate arv 22 °C, sulfaat, nitraat ja ammoniumioon.

Süsteemi vahepunktides (kolmes punktis) määrati Fe₂⁺, Fe, Mn, Cl⁻, vabakloor, hapnik, KHT_{Mn}, S, kolooniate arv 22 °C ja CO₂.

Võrgu kaugemates punktides määrati: TOC, DOC, CO₂, Fe₂⁺, Fe, Mn, Cl⁻, hapnik, KHT_{Mn}, N_{üld}, P_{üld}, S_{üld}, kolooniate arv 22 °C, sulfaat, nitraat, ammoniumioon.

Veepuhastusprotsessi tõhususe hindamiseks määrati vee hapnikusisaldust, TOC (üldorgaaniline süsinik) ja DOC (lahustunud orgaaniline süsinik). Bakterite toitainete (N, S, P) määramine õnnestus otseselt üldlämmastiku kaudu. Üldväävi ja -fosfori sisaldus jäi alla määramispiiri.

Kõige kulutõhusam on jälgida veesüsteemis vee lahustunud hapniku sisalduse muutusi. Informatiivne oli kahevalentse raua, üldraua ja mangaani ning orgaanilise aine sisalduse määramine.

Esimeste proovivõtuseeriade järel selgus täiendavate uuringute vajadus vee lahustunud metaani sisalduse osas.

Veeproovide iga järgneva proovivõtu koosseisu korrigeeriti eelnevate analüüside ja mõõtmiste põhjal. Põhjavee (toorvee) ja joogivee täisanalüüse kõigis punktides täismahus korduvalt ei tehtud nende näitajate osas, mis osutusid stabiilseks või jäid alla määramispiiri. Selline lähenemine oli vajalik võimalikult sihipärase uurimistulemuse saavutamiseks etteantud töömahu piires.

Lahustunud hapniku korduvatel mõõtmistel osutusid filtrite järel olevad proovivõtukraanid ebaiseloomulikeks, andes anomaalselt väikeseid tulemusi. See võib olla tingitud kraani paiknemisest tupiktorude või siibrите läheduses. See kinnitab veelkord, et

veesüsteemi ökosüsteemi piirialad on väga muutlikud ja tupikutes on bakterite kooslus ja toidulaud rikkalik.

Veeanalüüside ja mõõtmiste tulemused on toodud lisa 3.

5.2 Lahustunud hapniku sisaldus vees

Uurimistöö käigus mõõdeti perioodiliselt hapnikusisaldust veesüsteemides. Vees lahustunud hapniku sisaldus on oluline veesüsteemi biokeemilise seisundi näitaja. Hapnikusisalduse mõõtmiste tulemusi kasutati õhusseadmete seadistuse täpsustamiseks. Seadistamise abil saavutati 2019. aasta septembrist alates olemasoleva tehnoloogiaga piisav hapnikusisaldus veevõrku suunatavas vees.

Tabel 1. Hapnikusisaldus vees

Kuupäev, näitaja ja ühik	Mõõtmise koht		
	Pärast gaasi separaatorit	Veevõrku väljuv	Hüdrant Narva mnt ääres
17.04.2019			
O ₂ , mgO ₂ /l	2,7	3,5	1,8
T, °C	10,1	10,3	
20.05.2019			
O ₂ , mgO ₂ /l	2,2	3,7	
T, °C	10,7	10,5	
12.06.2019			
O ₂ , mgO ₂ /l	4,4	5,3	
T, °C	10,4	10,9	
28.08.2018			
O ₂ , mgO ₂ /l	6,4		
10.09.2019			
O ₂ , mgO ₂ /l	9,5	7,3	
T, °C	10,3	10,8	
09.10.2019			
O ₂ , mgO ₂ /l		7,5	
T, °C		10,6	
20.11.2019			
O ₂ , mgO ₂ /l	8,6	7,6	6,4
T, °C	10,2	10,4	
18.12.2019			
O ₂ , mgO ₂ /l		7,5	6,4
T, °C		10,1	9,1

5.3 Bakterite määrangud

Joogivees seirataivate bakterite olemasolu ja hulka uuriti Sillamäel tavameetodil joogiveest määrataivate bakterite jälgimise abil. Haigusi tekitavatele bakteritele viitavaid kolilaadsed, *Escherichia coli* ja enterokokke ning *pseudomonas auringosat* puurkaevude veest ei leitud.

Tabel 2. Bakterite sisaldus vees

Labor, proovivõtupunkt	Kuupäev	Kolooniate arv 22 °C	koli-laadsed bakterid	Enterokokid	<i>Escherichia coli</i>	<i>Pseudomonas aerungiosa</i>
Ühikud		PMÜ/1 ml	PMÜ/100 ml	PMÜ/100 ml	PMÜ/100 ml	PMÜ/250 ml
EKUK						
puurkaevude vesi VTJ sisse	10.09.2019	72				
Pärast separaatorit TK1	10.09.2019	58				
Pärast filtrit 2	10.09.2019	91				
Veevõrku keskelt 1	10.09.2019	600*				
TA K-Järve labor						
PK 2966	09.10.2019	<4	0	0	0	
PK 2217	09.10.2019	0	0	0	0	
PK2212	09.10.2019	<4	0	0	0	
PK2210	09.10.2019	<4	0	0	0	
PK2202	09.10.2019	0	0	0	0	
Filter 1 järel	09.10.2019	<4				
Filter 2 järel	09.10.2019	17				
Veevõrku alt 3	09.10.2019	11				
PK 2966	20.11.2019	<4	0	0	0	0
PK2202	20.11.2019	0	0	0	0	0
VPJ sisenev	20.11.2019	0	0	0	0	0
Enne filtreid, Separatori TK 1.1 järel	20.11.2019	<4				
Filter 1 järel	20.11.2019	<4				
Filter 2 järel	20.11.2019	98				
Vesi reservuaari	20.11.2019	58				
Vesi linna	20.11.2019	57	0	0	0	0

* proov võetud pärast tsisterni pesu

Indikaatornäitaja „kolooniite arv 22 °C juures“ määramise tulemused on hüplikud. Nende üksikproovide põhjal järelduste tegemine võimalik ei ole. 2019. aasta teisel poolaastal on määramiste tulemused (sh vee-ettevõtte omaseire proovid) veesüsteemis valdavalt alla 100 PMÜ/ml. Võib väita, et olulisi mikroorganismide vahanguid pärast lahustunud hapnikusalduse tõstmist veesüsteemis üle 5 mg/l ei ole esinenud.

Kuna vesi süsteemis on elav, ei ole välistatud indikaatornäitaja kolooniite arv 22 °C juures sisalduste leiud üle 100 PMÜ/1 ml. Kui vesi on tarbijale vastuvõetav, ei ole nende bakterite likvideerimine veest eraldi eesmärk. Olulisele probleemile võib viidata kolooniite püsiv sisaldus üle 300 (500) PMÜ/1 ml veesüsteemis voolavas vees.¹⁸

Veesüsteemis levivad bakterirühmad määrati BART meetodika abil¹⁹. (Biological Activity Reaction Test BART™). BART testidele on Kanadas välja antud ISO 9001:2000 kohased kehtivad kvaliteedisertifikaadid. Puurkaevudes ja mujal veesüsteemis on peamiseks probleemiks rauabakterid.

Leidis kinnitust mitmesuguste bakterigruppide esinemine puurkaevudes ja veesüsteemi eri osades. Kõige enam esineb rauabaktereid, mis hakkasid aktiivselt paljunema kõigis BART määrangutes.

Tabel 3 Bakterigruppide BART määrangud (AA Aqua OÜ)

		Dipsl kont- roll	Raua- bakte- rid	sulfaati redut- seerivad bakterid	Limabak- terid	pseudo- omona- sed	Nitrifit- seerivad bakterid
Proovivõtu- punkt		PMÜ/ml					
veevõrku minev vesi 2	10.09.2019		35000				
veevõrku minev vesi 3	10.09.2019		35000				
puurkaev 2202 (VPJ)	10.09.2019		9000				
PK 2966	09.10.2019	<1000	140000	<1	2500	800	<1000
PK2217	09.10.2019	<1000	9000	<1	500	<1	<1000
PK2212	09.10.2019	<1000	9000	<1	13000	<1	1000
PK 2210	09.10.2019	<1000	9000	<1	13000	<1	1000
PK 2202	09.10.2019	<1000	2200	<1	13000	170	<1000
PK 2966	20.11.2019	<1000	9000	5	2500		

¹⁸ WHO 2003. Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety. Edited by J. Bartram, J. Cotruvo, M. Exner, C. Fricker, A. Glasmacher. World Health Organization 2003

¹⁹ Biological Activity Reaction Test BART™ User manual. Droycon Bioconcepts Inc. 2004.
<http://www.dbi.ca/BARTs/PDFs/Manual.pdf>

		Dipsl kont- roll	Raua- bakte- rid	sulfaati redut- seerivad bakterid	Limabak- terid	pseudo- omona- sed	Nitri-fit- seerivad bakterid
Proovivõtu- punkt		PMÜ/ml					
PK 2202	20.11.2019	<1000	35000	5	13000		
Filter 1 järel	20.11.2019	<1000	9000	<1	<20	<1	<1
Filter 2 järel	20.11.2019	<1000	35000	5	2500	<1	<1
Vesi reservuaari	20.11.2019						
veevõrku minev vesi 3	20.11.2019	<1000	35000	<1	<20	<1	<1
PK 2196	18.12.2019	<1000	9000	<1	100	<1	

5.4 Metaan

Metaani sisaldavale veele on iseloomulik väga peente mullide teke vee rõhu alt vabanemisel. Vesi on klaasis mõnda aega piimjas. See nähtus ei pruugi siiski alati ilmnedä. Metaan võib põhjustada rõhulõõke veesüsteemis ja kraanidest väljuva vee sisinat, ning „soovee“ lõhna ja maitset.

Metaani mõõtmised kinnitasid, et Sillamäe puurkaevudes esineb olulises koguses metaani, selle sisaldus vees on muutlik ning kasutatav tehnoloogia seda veest ei eralda. Metaan võib soodustada mikrobioloogilist ebastabiilsust veesüsteemis. Samas ta laguneb süsteemis ainult osaliselt. Vastasel juhul kulutaks metaan veest ära kogu hapniku.

Tabel 4 Vees lahustunud metaani sisaldus

Lahustunud metaani mõõtmise punkt	Kuupäev	Tulemus, mg/l
PK 2966	20.11.2019	4,9
PK 2202	20.11.2019	4,8
Filter 1 järel	20.11.2019	3,73
Filter 2 järel	20.11.2019	3,56
Vesi reservuaari	20.11.2019	3,18
veevõrku minev vesi 3	20.11.2019	3,15
Veevõrku minev vesi	18.12.2019	0,89
Hüdrant Narva mnt ääres	18.12.2019	0,32
PK 2196	18.12.2019	2,36

5.5 Toitained

Mikroorganismid on miljardite aastate jooksul arenenud väga elujõulisteks ning suudavad elada ja areneda ka puhtale põhjaveele iseloomulike väga väikeste toitainete (orgaaniline C, P, N, S, Fe, Mn, muud) kontsentratsioonide juures. Metoodiliseks probleemiks oli käesoleval uurimistööl juba seegi, et kasutatavad laboratoorsed meetodid ei võimalda sageli toitainete sisaldust mikroorganismide tegevust iseloomustava täpsusega määrata.

Bakterite elementkoostise (C:N:P vahekord) tõttu on mikroorganismidele kättesaadav orgaaniline süsinik enamasti bakterite kasvu limiteeriv komponent ja selle sisaldus oluline bioloogilise stabiilsuse näitaja. Samas piisab juba orgaanilise süsiniku sisaldusest 1 µg C/l tagamaks bakterite kasvu suurusjärgus 10³–10⁴ rakku milliliitris. Muid toitaineid nagu P, N või mikroelemente (Fe, Mn jne) on vaja tunduvalt väiksemas koguses, kui orgaanilist süsinikku.²⁰

Sillamäe Mirkorajooni veepuhastusjaama kasutuses olevate puurkaevude vesi on veeanalüüside alusel tagasihoidliku toitainete sisaldusega.

Orgaanilise aine sisaldust iseloomustavad näitajad jäävad puurkaevude vees järgmistesse vahemikesse:

PHT: 1,2 – 3 mg/l

TOC: 2,3 – 3,3 mg/l

DOC: vea piires sama, mis TOC

Üldlämmastik N: 0,3 – 0,7 mg/l, NH₄: 0,17 – 0,21 mg/l

Üldfosfor P: alla 0,02 mg/l

Üldväävel S: alla 0,5 mg/l

Üldraud Fe: 0,1 – 0,2 mg/l

Mangaan Mn: alla 0,02 mg/l

Seega on põhjavesi pigem toitainetevaene, kuid ei välista rauabakterite elutegevust.

²⁰ Prest EI, Hammes F, van Loosdrecht MCM and Vrouwenvelder JS (2016) Biological Stability of Drinking Water: Controlling Factors, Methods, and Challenges. *Front. Microbiol.* 7:45.doi: 10.3389/fmicb.2016.00045

6 MIKROORGANISMIDE ELUTEGEVUS VEETOOTMISE PROTSESSIS

Looduslik põhjavesi sisaldab mikroorganisme, kes võistlevad omavahel väheste kättesaadavate toiteainete kasutamisel. Mikrobioloogiline aktiivsus põhjavees on madalseisus, sest hapnik ja toitained on suures osas ära kasutatud. BART määrangute järgi esineb puurkaevudes arvukamalt rauabaktereid (nii anaeroobseid kui mikroaerofiilseid) ja lima tekitavaid (mikroaerofiilseid) baktereid. Mõnes proovis on esindatud ka pseudomonaadid, sulfaate redutseerivad ja nitrifitseerivad bakterid. Haigusi tekitavaid või neile viitavaid mikroorganisme põhjaveest ei leitud.

Joogivee kvaliteedi tagamiseks jälgitakse, et süsteemi ei satuks haigust tekitavaid mikroorganisme (optimaalsed kasvutemperatuurid 37 °C juures – tavalised indikaatorid *E. coli* ja enterokokid). Lisaks tuleb jälgida, et veesüsteemis ei oleks mikroorganismide üldist vohamist (indikaatoriks bakterite arv 22 °C juures), mis tekitab probleeme vee läbipaistvuse, lõhna ja maitse kvaliteedi näitajate tagamisel.

Joogivesüsteemide puhul on üheks levinud probleemide põhjustajaks rauabakter. Rauabakterid suudavad kasvada väga väikese toiteainete sisalduse juures ja neil on omadus moodustada lima (biokile), mis omakorda loob soodsad tingimused teistele bakterite gruppidele.

Rauabakterid vajavad elutegevuseks kahevalentset rauda (Fe_2^+) ja lahustunud CO_2 . Sellises süsteemis suudavad rauabakterid areneda, saades energia kahevalentse raua oksüdeerimisest. Rauabakterite kasv torustikus, filtrites ja mahutites põhjustab limase moodustise (biokile) tekke. Biokile ja rauabakterite poolt toodetud orgaaniline aine omakorda loob soodsad kasvutingimused teistele bakterigruppidele (sh heterotroofsetele bakteritele), kes muidu toiteainete ja orgaanilise aine vaeses puhtas põhjavees ei ole võimelised paljunema (püsivad ainult elus, aga see ei põhjusta ei tervise ega veesüsteemi probleeme).

Rauabakteritest vabanemiseks on vaja vees lahustunud kahevalentne raud oksüdeerida kolmevalentseks rauaks. Kolmevalentsest rauast (Fe_3^+) rauabakterid energiat ei saa ja nende elutegevus pidurdub. Süsteemi hapnikuga rikastades ja kahevalentse raua oksüdeerimisel kolmevalentseks ei teki rauabakteritele soodsaid tingimusi ning nende vohamist torustikus.

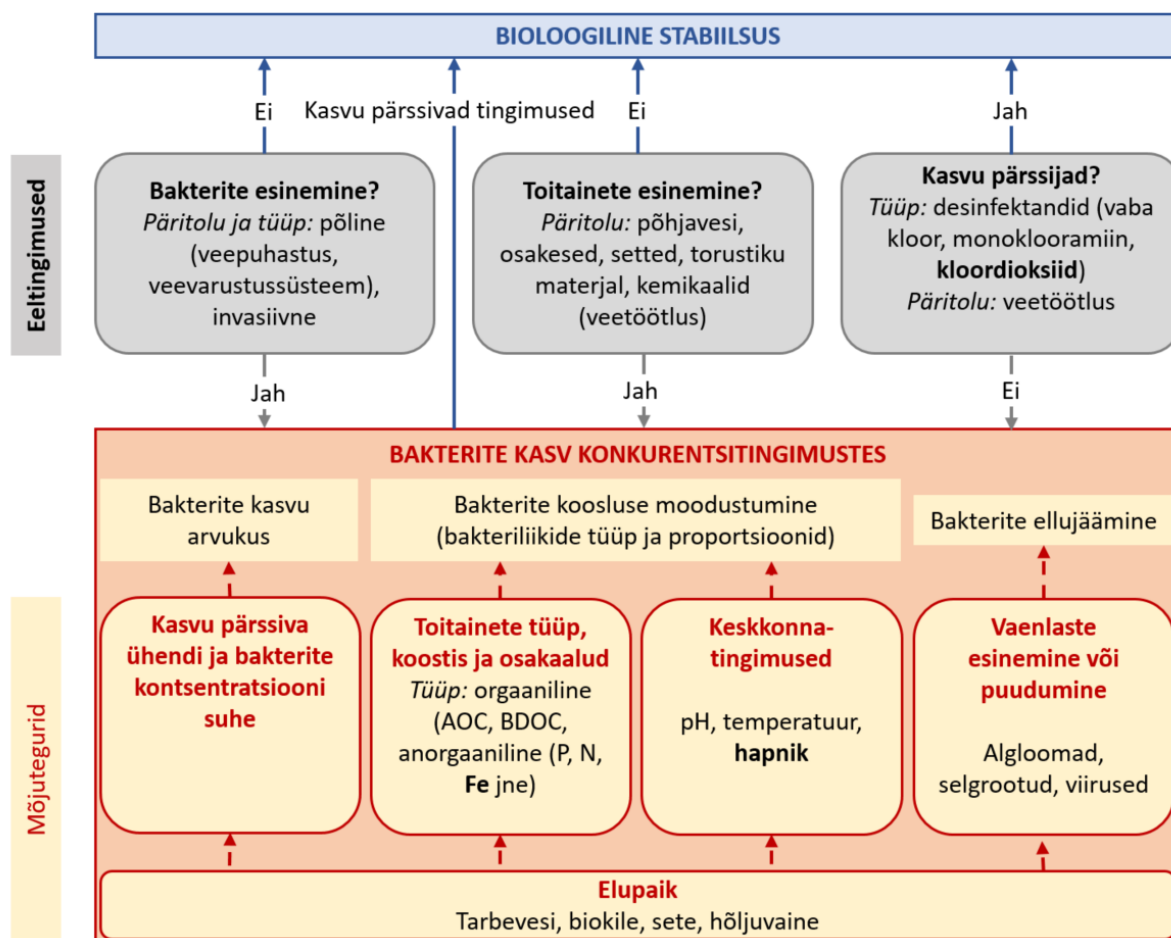
Kolmevalentne raud sadeneb välja. Sadenemise kiirus süsteemis sõltub oksüdeerimise aktiivsusest.

Veesüsteemis tuleb hoida hapniku tase sellisena, et ei tekiks soodsaid tingimusi rauabakterite kasvuks (hapniku sisaldus kõikjal püsivalt vähemalt üle 2 mgO₂/l).

Rauabakterist vabanemiseks peaks hoidma hüpokloriti kontsentratsiooni süsteemis 1 – 10 mg/l, mis ületab joogivees lubatud piire. Seetõttu ei ole rauabakteritest täielik vabanemine joogivesüsteemis võimalik.

Anaeroobset põhjavett ei ole võimalik otse tarbijale suunata. Sel juhul väljuvad vees lahustunud gaasid tarbija kraanis koos gaasipursetega, eluruumidesse võib sattuda väävelvesinikku, metaani ja radooni. Sõltuvalt kahevalentse raua ja mangaani sisaldusest määrduvad nendega olmetehnika. Vähemalt gaasieraldus veevõrku suunatavast veest on vältimatu vajadus. Sellega kaasneb paratamatult toorvee kokkupuude õhuhapnikuga ning „uinunud“ bakterirühmad hakkavad veesüsteemis vohama.

Veetöötlastest veevõrku suunatav vesi peab olema mikrobioloogiliselt ohutu ja ideaaljuhul ka bioloogiliselt stabiilne.²¹ Bioloogilise stabiilsuse eeldusi ja bakterite kasvu konkurentsitingimustes illustreerib joonis 2.



Joonis 2. Bakterite elutingimused veesüsteemis (Prest 2016)

²¹ World Health Organization [WHO] (2006). Guidelines for Drinking Water Quality: *Incorporating First Addendum*. Geneva: World Health Organization

Anaeroobse põhjavee veekihist välja pumpamisel muutub veekihi biokeemiline seisund kiiresti. Kokkupuutel õhuga aktiveeruvad seni passiivses olekus olnud bakterite rühmad, mille koostis ja arvukus muutub kiiresti kuni vee aeroobseks muutumiseni veetöötlusprotsessis. Bakterite vohamine lakkab, kui oluline osa bakterite toitaineid on oksüdeeritud ning vesi on muudetud aeroobses olekus mikrobioloogiliselt suhteliselt stabiilseks. Vaata joonis 2.

Veesüsteemis liikuva vee stabiilse aeroobsuse tagamiseks peab veevõrku suunatav ja seal liikuv vesi sisaldama piisavas koguses lahustunud hapnikku, et aeroobne vesi jõuaks ka tarbija kraanini torustiku kaugemates osades. Sillamäe veetöötlusjaama projekteerimisel ja seadistamisel lähtuti peamiselt kahevalentse raua ja mangaani oksüdeerimise eesmärgist.²² See moodustab väikese osa anaeroobse põhjavee hapnikutarbest (arvutuslik lahustunud hapniku kogus, mis on vajalik toorvette lisada vees esineva anorgaanilise ja orgaanilise aine oksüdeerimiseks ning vee stabiilsuse säilimiseks piisava lahustunud hapniku varu (vähemalt 5 mg/l) tagamiseks veevõrku suunatavas vees). Sillamäe põhjavee teoreetiline hapnikutarve (17 – 27 mg/l) on suurem hapniku lahustuvusest vees (ligikaudu 11 mg/l). Praktikas kõik ained vee liikumisel veesüsteemis ei lagune ja väljuvad osaliselt tarbija kraanis, sealhulgas osa metaani.

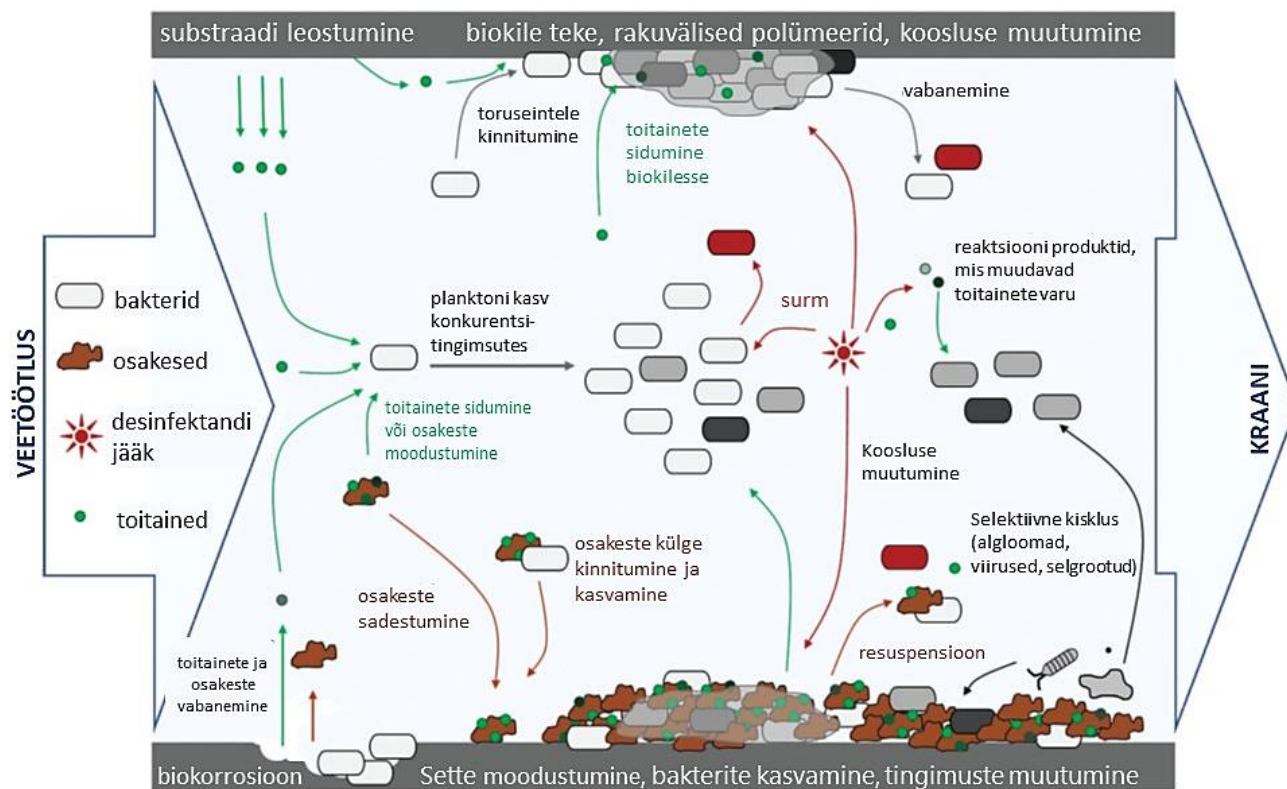
Bakterite olemasolu põhjavees ja joogivees ei ole iseenesest probleem seni, kuni vees ei leidu haigusi tekitavaid mikroorganisme. Milliliitris vees võib olla tuhandeid kuni miljoneid baktereid ilma, et see kuigivõrd mõjutaks inimese tervist. Soovimatu bakterite vohamine (ja perioodiline lagunemine) veesüsteemis kutsub esile eelkõige tarbijate kaebusi vee organoleptiliste näitajate osas. Kirjanduses on ka viiteid tõestavate bakterite arvukuse suurenemise kohta ebastabiilse mikrobioloogilise keskkonnaga veesüsteemis (kui sellised mikroorganismid on veesüsteemi sattunud). (Prest &, 2016).

Mikrobioloogilise ebastabiilsuse indikaatoriteks on heterotroofsete bakterite (kolooniade arv 22 °C) arvukuse tõus vees, kahevalentse raua sisalduse suurenemine, orgaanilise aine lagunemisega kaasnev ebameeldiv lõhn ning vee hägusus.

Kolooniade arv 22 °C juures on indikaatornäitaja, mis on maailmas kasutusel olnud pika aja jooksul (alates Robert Kochi asjakohasest artiklist *About Detection Methods for Microorganisms in Water* 1883 aastal). Määratakse heterotroofsete bakterite (kasutavad elutegevuseks olemasolevat orgaanilist ainet, lagundades seda) kolooniade arv söötmel. Tegemist ei ole täpse arvulise kriteeriumiga, kuigi erinevaid piirväärtusi (100 – 500 PMÜ/1ml) on püütud aegade jooksul joogiveele kehtestada. Süsteemselt suured näitajad (üle 500 PMÜ/ml) viitavad mikroorganismide kontrollimatu vohamise ohule veesüsteemis. (WHO 2003 artiklite kogumik).

²² Schöttli Keskkonnatehnika AS 2014. Sillamäe Keskpumpla ja mikrorajooni veetöötlusjaama veetöötlusseadmed, kasutus ja hooldusjuhend

Bakterite vohamist veesüsteemis soodustab vee füüsikalise-keemilise koostise muutumine, mis võimaldab erinevatel bakterite rühmadel tsükliliselt aktiveeruda ja massiliselt paljuneda. Tsüklite käigus toodetakse orgaanilist ainet ja selle lagunemisel vabanevad omakorda toitained järgmise bakterite grupi vohamiseks. Vaata joonis 3.



Joonis 3. Mikrobioloogia dünaamika veetootlikus (Prest 2016)

Tüüpiline on mikroaerofiilsete rauabakterite vohamine veevõrgu piirkondades, kus vee hapnikusisaldus langeb alla 2 mg/l. Kui vee on piisavalt lahustunud hapnikku, on anaeroobsete ja mikroaerobsete bakterite tegevus maha surutud.

Analoogiliselt toimivad ka mitmed muud bakterite grupid, kes võivad oma paljunemiseks vajaliku energia saada muude muutuva valentsiga elementide reaktsioonidest või orgaanilisest ainet. Bakterid suudavad toitaineid kasutada ka nende väga väikeste kontsentratsioonide juures, mis võivad jääda väiksemaks laboratooriumide tavalisest määramistäpsusest.

Konkreetses veesüsteemis esinevate mikroorganismide elutegevuse ja nende toitainete biokeemiliste reaktsioonide kvantitatiivne kirjeldamine bakterite üksikliikide tasemel on väga mahukas teadusprojekt.

Tänapäeval on analüüsimeetodid arenenud ning DNA-põhiste analüüsidega (sekveneerimine) on võimalik mikroorganismide kohta rohkem infot saada, kuid need analüüsid on kallid ning vee mikrobioloogilise muutlikkuse tõttu ajas ja veesüsteemi eri osades tuleb mõtmsi teha paljudes punktides ja korduvalt. Seetõttu sobivad tavapäraseks kvaliteedi seireks endiselt ka niinimetatud klassikalised meetodid (bakterite

kasvatamisel põhinevad), sest need on palju odavamad ning tihti ka operatiivsemad. Kui klassikaliste meetoditega on probleem juba tuvastatud, siis ei anna DNA analüüsimine veesüsteemi tehniliste probleemide lahendamiseks täiendavat infot. Erandiks on juhud, kui probleemi tekitavaid mikroorganisme ei ole võimalik traditsiooniliste kasvatusmeetoditega kindlaks teha ja traditsioonilised süsteemi hooldus-meetodid (aereerimine, läbipesu, kloreerimine) õige rakendamise juures ei anna tulemust.

Seega saame tugineda eelkõige lahustunud hapnikusalduse ja rauaühendite näitajatele, osadel juhtudel ka lämmastiku- ning väevliühendite sisalduse määrangutele. Oluline on omada informatsiooni metaani olemasolu kohta põhjavees.

Käesoleva töö lahustunud hapniku ja bakterite esinemise määrangud näitasid, et veesüsteemi tupikutes või seisva veega torustiku osades elavad ja paljunevad mikroorganismid edasi ka ülejäänud süsteemis liikuva vee piisava (üle 5 mg/l) lahustunud hapnikusalduse ja isegi kloordioksiidi kasutamise korral. Hapnikusaldus langeb vees ka veetarbimise seisakute ajal.

7 VEE BIOLOOGILISE STABIILSUSE SAAVUTAMISE VÕIMALUSED

Mikroorganismide elutegevust põhjavees ja veesüsteemis ei ole võimalik lõpetada.

Teoreetiliselt oleks vee steriliseerimine võimalik veetöötusjaamas autoklaavides kuumutamise ja klooriühendite suures koguses lisamise abil, seadmed ja torustikud tuleks asendada steriilsetega, süsteemi lisatav õhk peab olema steriilne jne.

Reaalseks eesmärgiks on toorvee mikrobioloogilise stabiilsuse saavutamine veetöötusjaamas ja hoidmine kuni tarbija kraanini. Selleks tuleb vältida mikroorganismide vohamiseks soodsa keskkonna teket süsteemis liikuvast vees. Lahustunud hapniku sisalduse langus koos bakterite vohangutega Mikrorajooni veesüsteemis on seotud eelkõige:

- jugapumpade ebapiisava tõhususe, ebapiisava rõhkude vahe või rõhu kõikumisega,
- vee seisakutega süsteemis, tupikutega, hooldamata majasiseste torustike ja filtritega.

Põhjavee mikrobioloogilist ebastabiilsust soodustab metaani esinemine põhjavees (metaan tõenäoliselt laguneb osaliselt mikrobioloogiliselt ja see protsess kasutab veest hapnikku). Praeguse tehnoloogiaga ei ole võimalik metaani piisavalt (soovitav sisaldus 10 µg/l²³) eemaldada.

Bakterite keskkonnatingimusi saame praeguse tehnoloogiaga kontrollida eelkõige lahustunud vee hapnikusisalduse osas, mõnevõrra ka toitainete (kahevalentne raud ja mangaan, sulfiidid, ammooniumioon, orgaaniline aine) osas. Töödeldava vee hapnikusisaldust saab reguleerida jugapumpade sisend- ja väljundrõhu muutmise abil. Mida suurem on rõhkude vahe jugapumpadel, seda rohkem õhku koos hapnikuga vette pihustub. Hapnik oksüdeerib ka eelnimetatud bakterite toitaineid. Veesüsteemi bioloogilise stabiilsuse tagamiseks ei tohi lahustunud hapniku tase vees oluliselt kõikuda (peaks olema üle 5 mg/l). Juhised hapnikutarbe arvestuseks on toodud tootjafirma juhendites https://mazzei.net/technical_and_customer_support/.

Uurimistöö käigus mõõdeti perioodiliselt hapnikusisaldust veesüsteemides. Vees lahustunud hapniku sisaldus on oluline veesüsteemi biokeemilise seisundi näitaja. Hapnikusisalduse mõõtmiste tulemusi kasutati õhusseadmete seadistuse täpsustamiseks. Seadistamise abil saavutati 2019. a lõpuks olemasoleva tehnoloogiaga optimaalsele lähedane hapnikusisaldus veevõrku suunatavas vees.

Käesoleval ajal eraldub kahevalentne raud ja mangaan toorveest veepuhastusjaamas hästi. Reservuaaris ja linna minevas vees on nende sisaldus alla määramispiiri, üldraua

²³ Wessels, Peter H. 2014. A Novel Approach to Anaerobic Groundwater Treatment: Mitigating the effect of methane on the biological stability of drinking water. MSc Thesis | Faculty of Civil Engineering and Geosciences | Delft University of Technology

sisaldus on määramispiiril. Lahustunud hapniku sisaldus linna suunatavas vees on alates 2020. aasta septembrist 6,8 – 7,5 mg/l. 2019. aasta novembri ja detsembri mõõtmiste alusel on lahustunud hapniku sisaldus üle 6 mg/l mõõdetud ka Narva mnt äärses hüdrandis (Mikrorajooni veetorustiku kaugem osa). See peaks olema piisav rauabakterite vohangute mahasurumiseks liikuvus vees. Veepuhastusjaamas väheneb ka keskmiselt kaks korda ammooniumiooni sisaldus vees (jäädes linna suunatavas vees alla 0,1 mg/l).

Lahustunud metaani mõõdetud sisaldus veetöötusjaamast veevõrku suunatavas vees on 1 – 3 mg/l (novembris ja detsembris 2019). Metaani sisaldus väheneb veevõrgus. 2019. aasta detsembris tehtud mõõtmise alusel vähenes metaani sisaldus teel veepuhastusjaamast Narva mnt hüdrandini 0,89 kuni 0,32 mg/l. Võib eeldada, et metaan osaleb torustikus toimivas mikrobioloogilises ainerings, muutes selle komplitseeritumaks.

Vees lahustunud metaani ei saa välja filtreerida ega keemiliselt eemaldada. Surve all aereerimine ei anna metaani puhul häid tulemusi. Metaani tõhusa eemaldamise ainus meetod on aereerimine atmosfäärirõhu juures. See võimaldab metaanil lenduda atmosfääri. See tähendab, et veekäitlussüsteemis kaob rõhk ning vajalik on lisapumpade (ja survepaakide) paigaldamine.

Metaani aereerimise soovitusi:

- Eelfilter vältimaks pihustite ummistumist.
- Toorvee desinfitseerimine võib olla vajalik biokile tekke vältimiseks.
- Metaan tuleb ventileerida mahutist väliõhku sädemevaba puhuriga.²⁴

Erinevaid valmis aeratsiooni torne (Aeration Towers, Degasifiers) pakuvad mitmed firmad. Konkreetse lahenduse peab esitama asjatundlik insener.

Meetmed

Praeguses olukorras on mõistlik jätkata vee tootmist olemasoleva seadistatud tehnoloogiaga jälgides selle toimimist. Kui jätkuvad kontrollimatud bakterite vohangud, mis muudavad oluliselt vee kvaliteeti, peab kaaluma klooridioksiidi kasutamist (pigem pidev doseerimine). Tulevikus on soovitatav kaaluda metaani eraldamise seadme rajamist - aeratsioonitorn või kompressoriga õhk-vesi jugapump koos gaasi eraldumise mahutiga atmosfäärirõhu juures. (Viimane on seni ainult firma Mazzei teoreetiline soovitus.)

²⁴ Pure Water Products, LLC <http://www.purewaterproducts.com/water-problems/methane>

Soovitused praeguses olukorras:

- Kasutada seadmeid ja torustikke võimalikult statsionaares režiimis. Sealhulgas kaaluda samade puurkaevude võimalikult stabiilisel režiimil kasutamise võimalust.
- Seisnud veega süsteemi osade veevõrku lülitamisel need igakordselt läbi pesta kuni vee kvaliteedi stabiliseerumiseni.
- Vastavalt vajadusele jätkata veesüsteemi profülaktilist desinfitseerimist ja torustike läbipesu. Tupikud perioodiliselt saastunud veest tühjendada.
- Proovivõtu- ja seiresüsteem läbi mõelda, vajalik osa hoida töökorras.
- Katsetada võib puurkaevude desinfitseerimist kloordioksiidiga.
- Naatriumhüpokloriti (NaOCl) väikeses kontsentratsioonis perioodilisest doseerimisest veesüsteemi on võib pigem loobuda.

Esmased kontrollnäitajad:

- Vees lahustunud hapnik;
- Fe_2^+ ;
- Vee värvus ja hägusus.

8 KOKKUVÖTE

Lahenduse asjakohasus. Sillamäe Mikrorajooni veetöötusjaama valitud tehnoloogia ei ole parim anaeroobse ja metaani sisaldava toorvee käitlemiseks. Ligikaudu 50% metaanist eraldub veepuhastusjaamas, ülejäänust osa laguneb veetorustikus. See soodustab mikrobioloogilist ebastabiilsust. Probleeme veetöötlusel süvendas jugapumpade vale montaaž ning projektis soovitatud seadistamine ebapiisavale tootlikkusele (liiga väike sisend- ja väljundrõhkude vahe).

Seiresüsteem. Veepuhastusjaama on installeeritud jälgimissüsteem, mis töötab osaliselt. Soovitatav on jälgida lahustunud hapniku sisaldust enne ja pärast filtreid ja tarbijale suunatavas vees. Probleemide ilmnmisel kontrollida jugapumpade sisend- ja väljundrõhke ning õhutoodangut.

Probleemi põhjus. Kasutatava põhjavee käitlemiseks on parim lahendus toorvee esmane käitlemine aeratsioonitornis piisava õhu ja vee vahekorraga. See tagab süvaaeratsiooni ühes metaani ligi sajabrotsendilise eraldamise ja samaaegselt vees sisalduvate ainete oksüdeerumise ning vee küllastumise lahustunud hapnikuga. Olemasoleva tehnoloogiga on tõenäoliselt võimalik hoida rahuldavat joogivee kvaliteeti, kuid see nõuab rohkem igapäevast mõtte- ja hooldustööd. Välistada ei saa kolooniate arvu 22 °C juures juhusisaldusi üle 100 PMÜ/1ml.

Meetmed. Jätkata vee tootmist olemasoleva seadistatud tehnoloogiaga, jälgides selle toimimist. Vastavalt vajadusele jätkata veesüsteemi profülaktilist desinfitseerimist ja torustike läbipesu. Kui veesüsteem ei ole mikrobioloogiliselt piisavalt stabiilne, võib kaaluda kloordioksiidi kasutamist. Vastavalt tulemustele otsustada veepuhastusjaama ümberehitamise vajadus ning asuda kavandama uut toorvee süvaaeratsiooniga lahendust, milleks võib olla:

1. Rakvere eeskujul aeratsioonitorni rajamine,
2. valmis aeratsioonitorni ostmise ja paigaldamine,
3. või gaas/vesi jugapumba kasutamine atmosfäärirõhul koos metaani ja teiste gaaside eemaldamise mahutiga.

Kõigi variantide korral lisanduvad täiendavad pumbad vee tõstmiseks filtritele.

Võtmeküsimuseks on asjatundliku inseneri kaasamine.

9 VIIDATUD KIRJANDUSE LOETELU

Biological Activity Reaction Test BART™ User manual. Droycon Bioconcepts Inc. 2004.
<http://www.dbi.ca/BARTs/PDFs/Manual.pdf>

Karu, Jaan 2016. Veevärk. Tallinna tehnikaülikool. Keskkonnatehnika instituut

Keskkonnalahendused OÜ 2018. Rakvere linna ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2018-2030. Rakvere linnavalitsus

Keskkonnaministri käskkirj 06.04.2006 nr 409

Künnis-Beres 2015. Sillamäe veevarustussüsteemi mikrobioloogiline uuring

Lemkov A., Kaevand A., Künnis-Beres, K. 30.01.2017. AS Sillamäe Veevärk keskpumpla veeproovide hinnang. Roschier Holding OÜ

Marandi, A., Osjamets, M., Polikarpus, M., Pärn, J., Raidla, V., Tarros, S., Vallner, L., 2019. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine, koormusallikate hindamine ja hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

Mazzei 2011. Technical Bulletin No.2, Removal of Iron and Manganese by aeration.
http://mazzei.net/sites/default/files/files/Tech%20Bulletin%202_Removal%20of%20Iron%20and%20Manganese%20by%20Aeration_v01-2011.pdf

Munter Rein 2019. Eksperthinnang Rapla ja Sillamäe VPJ-de probleemide kohta. OÜ Loiteh

Prest El, Hammes F, van Loosdrecht MCM and Vrouwenvelder JS (2016) Biological Stability of Drinking Water: Controlling Factors, Methods, and Challenges. Front. Microbiol. 7:45.doi: 10.3389/fmicb.2016.00045

Pure Water Products, LLC <http://www.purewaterproducts.com/water-problems/methane>

Põhjaveekomisjon 2005. Eesti Põhjavee kasutamine ja kaitse

Raidla, V., Polikarpus, M., Pärn, J., Tarros, S., 2019. Põhjavee kloriidide sisalduse tõusu põhjuste ja päritolu uuring Sillamäel. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

Raidla, Valle & 2019. Origin and formation of methane in groundwater of glacial origin from the Cambrian-Vendian aquifer system in Estonia. Geochimica et Cosmochimica Acta 251 (2019) 247–264

Recommended Standards For Water Works 2012. MEMBER STATES AND PROVINCE
Illinois Indiana Iowa Michigan Minnesota Missouri New York Ohio Ontario
Pennsylvania Wisconsin

Savistki, Leonid 1999. Ida-Virumaa kambriumi-vendi veekompleksi põhjaveetarbevaru hinnang. Eesti Geologiakeskus

- Schutte, Erik 2006. Handbook for the operation of water treatment works. The Water Research Commission The Water Institute of Southern Africa
- Schöttli Keskkonnatehnika AS 2014. Sillamäe linna torustike ja vee filtreerimisseadmete rekonstrueerimise projekteerimis- ja ehitustööd, III etapp, veetöötuse tehnoloogia projekt
- Schöttli Keskkonnatehnika AS 2014. Sillamäe Keskpumppla ja mikrorajooni veetöötusjaama veetöötusseadmed, kasutus ja hooldusjuhend
- Sotsiaalministri 02.01.2003 määrus nr 1. Joogivee tootmiseks kasutatava või kasutada kavatsetava pinna- ja põhjavee kvaliteedi- ja kontrollinõuded (kehtetu alates 01.10.2019. Ei ole kavas uuendada)
- Sotsiaalministri määrus 24.09.2019 nr 61. Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid
- SWECO Projekt 2017. Haapsalu ühisveevärgi ja –kanalisatsiooni arengukava aastateks 2014...2025. Haapsalu Veevärk AS
- Terviseameti kiri 05.02.2020 nr 9.2-3/20/788-1 „Sillamäe linna veevõrkide joogivee kvaliteedist 2019. aastal“
- Terviseameti kiri 13.02.2019 nr 9.2-3/19/1029-1 „Sillamäe linna veevõrkide joogivee kvaliteedist 2018. aastal“
- Terviseameti kiri 30.01.2018 nr 9.2-3/778 „Sillamäe linna ühisveevärgi joogivee kvaliteedist 2017. aastal“
- Environmental Protection Agency (Ireland) 2011. Water Treatment Manual: Disinfection
- Wessels, Peter H. 2014. A Novel Approach to Anaerobic Groundwater Treatment: Mitigating the effect of methane on the biological stability of drinking water. MSc Thesis | Faculty of Civil Engineering and Geosciences | Delft University of Technology
- WHO 2003. Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety. Edited by J. Bartram, J. Cotruvo, M. Exner, C. Fricker, A. Glasmacher. World Health Organization 2003
- World Health Organization [WHO] (2006). Guidelines for Drinking Water Quality: Incorporating First Addendum. Geneva: World Health Organization

LISA 1 VEE-ETTEVÕTTE KIRI TERVISEAMETILE



Lp. Olga Smolina
Terviseamet
Ida talitus
Kalevi 10
30322 KOHTLA-JÄRVE

Teie: 26-01-2017 nr 12.2-1.1.78/75-10
Meie: 08. veebruar 2017 nr

Sillamäe joogivee töötlemine

Austatud Smolina,

Sillamäe linna veevärk töötab ilma veekäitluseta aastakümneid kuniks seoses Euroopa Liidu normide kasutuselevõtuga muutus vajalikuks mõningate joogivee kvaliteedinäitajate parendamine ja kontrolli all hoidmine.

Kvaliteedinäitajatest on peetud vajalikuks hoida kontrolli all raua sisaldust, kuna toorvees on selle kontsentratsioon piinormi lähedal ning võib torustikes teatud tingimustes akumuleeruda ning põhjustada mõningate klientide varustamist mittekvaliteetse veega. Teise probleemina on esinenud gaaside (olulisemad CO₂ ja H₂S) sisaldus puurkaevu vees – tarbijateni on jõudnud piimvalge imepeente mullidega segunenud vesi.

Esimest korda võeti probleemi lahendamise käsile aastatel 2007 – 2008, mil peamised linna veehaarded varustati filtersüsteemidega. Lahendiks kinnised survefiltrid kui tööprintsibi lihtsaimad. Paraku olid aga probleemid üsna kiired tulema – eksploatatsioonis filtrid kippusid kiiresti ummistuma ning vee hulk tagasipesuks kasvas ebamõistlikuks. Samuti ei lahendanud survefiltrid gaasialdusprobleemi.

Saamaks ülevaadet probleemi olemusest ning leidmaks lahendusi tellis AS Sillamäe - Veevärk aastal 2010 vastavad uuringud AS Teramet vahendusel. Uuringute käigus teostati Eesti ühe juhtivama veespetsialisti Johannes Suti abil pilootkatsed selgitamaks välja vajalik süsteemi struktuur ja kasutatavad materjalid ja töörežiimid. Pilootkatse tulemusel selgus, et parim viis vee töötlemiseks on rajada nn lahtised gravitatsioonilised filtrid ja kasutada tädistena Everzit N (antratsiit) ja Filtrasorb FMH-d. Samuti soovitati filtersüsteemi ette paigaldada gaasialdusseade GDT. Tehti ka ettepanekuid uue süsteemi projekteerimiseks ja kasutusrežiimideks.

Lähtudes uuringutulemustest tellis AS Sillamäe - Veevärk 2014 aastal nii Kesk- kui Mikrorajooni pumplatessse pilootkatse nõuetele vastavad filtersüsteemid. Veetöötlusjaamade projektid läbisid vajalikud ülevaatused erinevate spetsialistide juures, samuti saadi suuline kinnitus projekti sobivuse kohta pilootkatse läbiviijalt Johannes Sutilt. Süsteemid käivitati 2015 aasta jaanuaris. Lühikese eksploatatsiooniperioodi käigus aga hakkasid ilmema survefiltritega sarnased probleemid. Kõigepealt algasid probleemid kiire ummistumisega, lisaks ei oldud rahul gaasialdussüsteemi töö efektiivsusega. Et probleemid kerkisid esile juba enne ehitusperioodi lõppu, konsulteeriti mitme erineva spetsialistiga, sh pilootkatse osalenud bioloogiaspetsialisti Kai Künisega. Kahjuks oli veespetsialist Johannes Sutt selleks ajaks meie hulgast lahkunud. Filtrite töö peamiseks takistajaks peetakse toorvees leiduva mikrobioloogia vohamist filtersüsteemides peale kokkupuudet hapnikuga. Sellele annab kinnitust just aeratsioonijärgsete süsteemiosade täitumine limase rauahelbeid sisaldava osisega. Süsteemi selline töö oli halvaks üllatuseks kõigile projektis osalenutele.

Probleemi peapõhjuseks võib pidada mikrobioloogia leidumist puurkaevudes. Seda kinnitavad ka kaevude rekonstrueerimisjärgsed mikrobioloogia analüüsid. Nende tulemused on küll normidele vastavad, kuid sellest on aeratsioonil baseeruva veetöötamise korral vähe abi. Et hoida kontrolli all toorvees leiduvate bakterite hulka paigaldati ehitustööde käigus igale puurkaevule autonoomne

naatriumhüpokloritil baseeruv desinfitseerimissüsteem ning seda hoitakse pidevas töös. Veevärk planeerib koostöös EVEL`ga koostada mikrobioloogia projekt, et kindlaks teha nii põhjavee kui ka filtrites vahavate mikroorganismide taksonoomiline koosseis (molekulaargeneetiline analüüs + epifluoressentsmikroskoopiline uuring), mis võimaldaks määratleda bakterite päritolu, kasvutingimused ja läbiviidavad biokeemilised protsessid.

Käesolevaks hetkeks on saanud selgeks, et esimeseks bakterite vohamise kohaks on tavapärares rauaeraldussüsteemides vajalik kontaktmahuti – vee liikumiskiirus on seal madal ning arenguks vajalikk hapnikku leidub vees piisavalt. Neil päevil on plaanis täiendada filtrisüsteemi selliselt, et vesi enam kontaktreservuaarist läbi ei voola (eeskujuks Haapsalu ja Sillamäe PK8).

Teiseks suureks probleemiks süsteemi käivitamisel sai filtri tüüdimaterjal, mis baseerub mangaanil. Nimelt osutusid tüüdimaterjalid toorvees leiduvale bakteritele hoopis kasvukatalüsaatoriks. Seega võib hinnata, et pilootkatse tulemused ei vastanud reaalses rakenduses Tellija ootustele. Lahendamaks filtritüüdisega tekkinud probleeme asendati filtrite tüüdimaterjal spetsiaalse, mitmes fraktsioonis liivmaterjaliga.

Et saavutada vee ootuspäraast kvaliteeti on tarvis kindlasti jätkata puurkaevust võetava vee kloreerimist, et välistada bakterite sattumine filtersüsteemi. Veevärk on küll veetöötlusjaamadesse paigaldanud UV desinfitseerimisseadmed välistamaks mürgise keemia lisamist joogivette, kuid kahjuks ei oma selline lahend järelmõju torustikus. Parendamaks vee kvaliteeti viiakse läbi profülaktilisi kloreerimisi ja torustike läbipesu. 2 korda aastas desinfitseeritakse NaOCl`ga reservuaarid, linna torustikud, lasteaedade ja koolimajade sisetorustikud. Alates detsembrist 2016 teostatakse survepesu 1 kord kahe nädala jooksul veetöötlusjaamade seadmetele (GDT, injector jt) ja torustikele. Praeguseks hetkeks on süsteemi paigaldaja välja kujundanud filtrite töörežiimi, kus tagasipesu tsükli käigus viiakse läbi ka tüüdimaterjali naatriumhüpokloritiga desinfitseerimise.

Veetöötluse projekti järelvalveinseneri ettepanek on kasutada veevõrgu naatriumhüpokloritiga desinfitseerimist Tallinna ja Narva eeskujul pidevalt, või vähemalt mõne kuu vältel, et kloori mõju ulatuks ka klientideni, kes ei tarbi vett iga päev ning kui analüüside tulemused stabiliseeruvad lubatu piires, siis saab edaspidiselt kaaluda kloori doosi vähendamist.

Veebruaris esitab filtrite paigaldaja veevärgile veetöötlusjaamade oksüdatsioonimahutitest möödaviikude ehitamiseks eskiislahendused ja paypassid planeeritakse valmis ehitada märtsiks. Keskpumpas jätkuvad katsed GDT`ga kuni rahuldava tulemuse saamiseni.

AS Sillamäe-Veevärk juhindub veesüsteemide opereerimisel lisades äratoodud juhenditest ja dokumentatsioonist. Samuti jälgivad ööpäevaringselt Keskpumpas töötavad operaatorid veetöötlusjaamade tööd ja teostavad vastavaid registreeringuid, mis on abiks täiendavate tööde teostamisel. Kuna filtersüsteemide paigaldajal on veevärgi ees garantiiaja kohustused, siis on optimistlik lootus, et rakendatavate abinõude ühise koostöö tulemusena paraneb joogivee kvaliteet.

Seletuse juurdekuuluvad lisad esitatakse suurte mahtude tõttu mälu pulgal pr. Jelena Dmitrijevale.

Lugupidamisega,
/allkirjastatud digitaalselt/
Viktor Rodkin
Juhatuse liige

Lisad:

1. Veevärgi skeem
2. Veetöötluse tehnoloogia
3. Seadmete dokumentatsioon
4. Desinfitseerimis- ja hooldusjuhend
5. Ekspertarvamus
6. Veesüsteemi opereerimise juhend

LISA 2 REIN MUNTERI ARVAMUS VEEKÄITLUSEST, KOKKUVÕTE

Hinnang olukorrale (juuli – november, 2019) ja soovitused

Nagu Raplas, nii võib ka Sillamäel hinnata üldist olukorda joogivee kvaliteediga suhteliselt heaks, kuid siiski ebakindlaks ja isegi kriitiliseks, kuna ei ole välistatud bakterioloogilise kasvu ootamatu puhang süsteemi suvalises osas, sest seda pole kunagi tugeva desinfitseerija ClO₂-ga puhastatud. Samuti ei ole välistatud lahustunud hapniku sisalduse langus veesüsteemi osades alla 2 mg/l.

Et sellist ootamatut sündmust vältida, tuleks meie arvates uuesti läbi viia **kõigi kasutusel olevate puurkaevude bakterioloogiline kontroll kolooniate arvu järgi**. Seal, kus vaja, töödelda puurkaevu **mitte NaOCl lahusega, vaid ClO₂ lahusega**. Kaevu tuleks lisada Dutrion klooridioksiidi tablette arvestusega, et 1 m³ vee kohta tuleb 3-5 tabletti (20-grammilist). Pärast 24 tunnist reaktsiooniga tuleks vesi kaevust välja pumbata /www.dutrion.ee/.

Sama lugu on ka veetrassiga. **Trassi, seadmete, reservuaaride, sisetorustiku jm regulaarseks läbipesuks kaks korda aastas oleks samuti õigem kasutada mitte NaOCl, vaid ClO₂ lahust (doosiga 0,5 mg/l)**. Sel juhul poleks Sillamäel vaja ClO₂ pidevalt vette doseerida.

Ennetava meetmena võiks kaaluda perioodiliselt (vähemalt 1-2 korda kuus) doseerida VPJ-st tarbija trassi minevasse vette 0,4-0,5 mg/l NaOCl. See väldiks uue bakteriaalse saastuse tekke eelnevalt ClO₂-ga läbipeetud trassis ja elumajade torustikus.

Mis puutub Mikrorajooni ja Keskpumpla GDT-de ebastabiilsesse töösse, siis soovitaks seal, kus GDT korralikult ei tööta, tõsta injektori sisendrõhku, vahetades vajadusel välja puurkaevupumba. **GDT ebastabiilse töö oluliseks põhjuseks oli meie arvates filtri perioodiline „kinnikasvamine“, mis tingis rõhkude vahe kõikumise ning ka veest eralduv metaan**. Olukorra stabiliseerimiseks tuleks filtrid korralikult läbi pesta ClO₂ lahusega (doos 0,5 mg/l).

Gaaside separaatori parema töö tagamiseks reguleerida separaatoris rõhku tema taga oleva ventiiliga ca 0,35 baari peale.

Mikrorajooni pumplast linna antavas vees oli viimastel andmetel (12.06.2019) O₂ piisavalt (5,2-5,5 mg/l). Keskpumplast saadud vees aga < 5 mg/l (ca 3,4 mg/l). Aeroobse keskkonna tagamiseks Keskpumplast lähtuvas trassis tuleb tagada mõlema GDT nõuetekohane töö Keskpumplas.

Jooksvad analüüsid VPJ-s ja trassis võiksid kindlasti olla: kolooniate arv 22°C juures, lahustunud O₂, pH ja temperatuur.

Kokkuvõte

Võrreldes omavahel kahte peamiselt mikrobioloogiliste probleemidega veetöötusjaama, Rapla VPJ ja Sillamäe VPJ, saab tuua välja ka olulisi erinevusi nende probleemide iseloomus ja lahendusteedes. Rapla VPJ-s on olnud kasutusel tugev desinfitseerija ClO₂, millega on puhastatud torustik ning seadmed varasema orgaanikarikka põhjavee kasutamise tingitud rauasettest ning bakterite kolooniatest. Peamiseks ülesandeks

Raplas on tagada põhjavee intensiivne aeratsioon/degaseerimine, mis tagaks aeroobse keskkonna ($O_2 > 5 \text{ mg/l}$) kuni tarbija kraanini.

Mazzei GDT protsess on optimeeritud eeskätt gaaside vette viimise eesmärgil. Vees lahustunud gaaside eraldumine on sellega kaasnev protsess, mis ei toimu optimaalsetes tingimustes.

Sillamäel, kus puurkaeve, trassi ega seadmeid pole kunagi läbi pestud ClO_2 lahusega ning seega ootamatu bakterioloogilise puhangu risk palju kõrgem. Süsteemi ClO_2 -ga desinfitseerimine oleks Sillamäel tegevuse üheks prioriteediks.

Esimeseks prioriteediks on püsivalt aeroobse keskkonna hoidmine veesüsteemis, lahustunud hapniku sisaldus ei tohi langeda alla 5 mg/l (torustiku lõpus alla 2 mg/l). Pärast kõike seda võiks tagasi pöörduda seni kasutatud tehnoloogilise protsessi juurde.

Omaette probleemiks on Sillamäel metaani sisaldus toorvees (kuni 5 mg/l) Firma Mazzei Corporation on uurinud erinevate gaaside (sh ka metaani) eraldamist GDT protsessis nii olenevalt gaas/vee (G/L) mahulisest suhtest, kui ka vee tsirkulatsioonide arvust läbi GDT seadme. Selgus, et kui $G/L = 1 \text{ m}^3/\text{m}^3$, siis oli CH_4 eraldusaste ca 95%, $G/L = 2 \text{ m}^3/\text{m}^3$ puhul ca 98% ja $G/L = 4,5 \text{ m}^3/\text{m}^3$ korral ca 100%.

20.11.2019 Sillamäel tehtud metaani analüüsid puurkaevus ja veepuhastusjaama järel tarbijale suunatavas veest näitasid ainult 40%-list eraldusastet. Metaani eraldusastme tõstmiseks on järgmised võimalused.

Metaani eraldub seda paremini, mida suurem on G/L suhe (see peaks olema vähemalt $2 \text{ m}^3/\text{m}^3$). Seda suhet on tavapärasel GDT süsteemis põhjavee töötlemisel raske saavutada. Injektori õhutorusse tuleks anda kompressoriga õhku juurde. Sama või veel olulisem on GDT süsteemi vasturõhk, mis peaks degaseerimisel ideaalina olema õhurõhk (1at). Et seda saavutada, tuleks installeerida atmosfääri rõhul olev vahepaak koos pumbaga, mis suunab degaseeritud vett edasi filtritele. Injektor tuleks installeerida vertikaalselt selle paagi peale, väljuv vee/õhu segu voolab paaki veepinnale, kust gaasid rõhuvabalt eralduvad. Enne, kui seadmeid ümber ehitada, oleks mõistlik määrata, kui palju paraneb metaani eraldusaste, kui anda injektori õhutorusse kompressoriga õhku juurde.

Alternatiivne protsess vee rikastamiseks hapnikuga ning lahustunud gaaside eraldamiseks oleks aeratsioonitorn (nõrgkolonn) mingi täidise või vahepõhjadega (*Enn Tõnisbergi tehnoloogia*). Sel juhul oleks $V_G/V_L = 20...60 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (gaas on pidev faas ja vesi dispergeeritud faas) ning loodud ideaalsed tingimused just lahustunud gaaside eraldumiseks veest. Seega metaani paremaks eraldamiseks põhjaveest tuleks kasutada aeratsioonitorni.

Rein Munter
OÜ LOITEH
Juhatuse liige
12.12.2019