



jamk

Talousveden hallinta Valio Oy Äänekosken tehtaalla

Opinnäytetyö

Laura Lapio

Opinnäytetyö, ylempi AMK

Toukokuu 2023

Elinkaaren hallinta YAMK

Lapio, Laura

Talousveden hallinta Valio Oy Äänekosken tehtaalla

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Toukokuu 2023**, 59 sivua + liitteet 2 sivua

Elinkaaren hallinnan YAMK tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö YAMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Talousvettä valmistettaessa pintaveden puhdistuksen kriittisin vaihe on epäpuhtauksien saostaminen ja saostetun aineksen erottaminen vedestä suodattamalla. Raakavedestä saostettavia aineksia kutsutaan lyhenteellä NOM, joka tarkoittaa luonnon orgaanisia aineita. NOM sisältää vesistöissä olevia bakteereita, leviä ja mikro-organismien aineenvaihdunnan eritteitä. Talousveden laatuvaatimuksena on, että talousvesi on tasalaatuista, mikrobiologisesti ja aistinvaraisesti moitteetonta sekä täyttää talousvesiasetuksen laatuvaatimukset. Valio Oy Äänekosken tehtaalla pintavesilaitoksen talousvettä käytetään elintarviketeollisuuden prosessissa ja veden laadun heikentyessä on suuri riski, että tämä heikentää myös valmistettavan elintarvikkeen laatua ja vaarantaa elintarviketurvallisuutta. Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää vesilaitoksen prosessia huomioimalla käytettävän veden vaikutukset elintarviketeollisuuden prosessiin. Tutkimuksessa haluttiin parantaa talousveden laatua vähentämällä veden suojakloorauksen pitoisuutta sekä määrittää vedenpuhdistusprosessin aktiivihiihluodattimen vaihtoväli kapasiteettiin perustuen.

Pintavesilaitos on otettu käyttöön vuonna 2018 ja suojakloorauksen spesifikaatorajoja ei ole muutettu käyttöönnoton jälkeen. Suojakloorausta käytetään veden desinfioinnissa. Liiallisen kloorauksen riskeihin liittyy kloorin reaktio humuspitoisuuteen veteen, koska kloori ja NOM yhdessä muodostavat syöpää aiheuttavia trihalometaaneeja. Tutkimuksessa selvitettiin nykyprosessin mukaiset suojakloorauksen raja-arvot ja osoitettiin, että suojakloorauksen tasoa voidaan laskea 0,24 mg/l tasolle vaarantamatta veden hygieenisyyttä perustuen syys- ja talvikauden kloorituloksiin.

Aktiivihiihluodattimen vaihtoväli määritettiin TOC-, COD- ja sameusmittauksilla, jotka kuvaavat veden laatua ja suodattimien puhdistustehokkuutta. Tutkimuksessa osoitettiin, että jatkuvatoimisella sameusmittauksella voidaan mitata aktiivihiihluodattimen kapasiteettia ja määrittää suodattimen vaihtoväli. Otantaan perustuvia TOC -ja COD mittauksia hyödynnettiin varmentamaan sameusmittausten tuloksia sekä saatiin tarkempaa tietoa veden ominaisuuksista. Sameusmittauksiin perustuen aktiivihiihluodattimessa todettiin olevan vielä kapasiteettia, vaikka 3 vuoden vaihtosuositus oli ylittynyt. Mittaustuloksella saavutettiin merkittäviä taloudellisia hyötyjä, kun vaihtoväli määritettiin kapasiteettiin perustuen.

Avainsanat (asiasanat)

Talousvesi, pintaveden puhdistus, pintaveden epäpuhtaudet, aktiivihiihluodatin, kloori, TOC mittaus, COD mittaus, sameusmittaus, elintarvikeala

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

Lapio, Laura

Domestic water management in Valio Oy Äänekoski plant

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, October 2023, 59 pages + attachments 2 pages

Master's Degree Programme in Lifecycle Management. Master's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Purifying domestic water, the most critical stage of surface water purification is the coagulation of impurities and the separation of the coagulated material from the water by filtration. The substances that are coagulated from raw water are multi-form natural organic matter called as NOM, which includes bacteria, algae and metabolic secretions of micro-organisms in water. The quality requirement for domestic water is that domestic water is of uniform quality, microbiologically and sensorially impeccable and meets the quality requirements of water legislation. Valio Oy Äänekoski factory's surface water plant's domestic water is used in food industry process and lack of water quality may cause risk for the food quality and endangers food safety. The aim of this thesis was to develop the water plant process and simultaneously taken count the possible effects of the water used in food industry. This thesis study was to improve the quality of domestic water by reducing the water protective chlorination concentration and to determine the interval of the activated carbon filter replacement based on purifying capacity.

The surface water plant was taken use in 2018 and the specification limits for protective chlorination have not been changed since then. Protective chlorination is used to disinfect water. Most significant risks of excessive chlorination is the reaction of chlorine with NOM, because chlorine and NOM together forms carcinogenic trihalomethanes. The study determined the limit values of protective chlorination according to the current process and based on the chlorine results of the fall and winter season, the study showed that the level of protective chlorination can be lowered to 0.24 mg/ without jeopardizing the hygiene of the water.

The replacement interval of the activated carbon filter was determined by TOC, COD, and turbidity measurements, which describe the water quality and the cleaning efficiency of the filters. In the study, it was shown that continuous turbidity measurement can be used to measure the capacity of an activated carbon filter and determine the filter replacement interval. Tests TOC and COD measurements were used to verify the results of the turbidity measurements and gave detailed information about the properties of the water. Turbidity measurements showed that, the active carbon filter still had capacity even though the 3-year replacement recommendation had been exceeded. Measurement result achieved significant financial benefit when the replacement interval was determined based on capacity.

Keywords/tags (subjects)

Domestic water, surface water purification, surface water impurities, activated carbon filter, chlorine, TOC measurement, COD measurement, turbidity measurement, food industry

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Veden orgaaniset ainekset	6
3	Pintaveden puhdistusprosessi	8
3.1	Talousveden vaatimukset	8
3.2	Pintaveden epäpuhtaudet ja riskit	9
3.2.1	Koliryhmän bakteerit	10
3.2.2	Heterotrofit.....	11
3.2.3	Homeet	11
3.2.4	Virukset	11
3.2.5	Itiölliset bakteerit.....	12
3.3	Talousveden valmistus pintavedestä	12
3.4	Pintaveden kemiallinen saostus, koagulaatio ja flokkulaatio	14
3.5	Pintaveden selkeytys, flotaatio	14
3.6	Pintaveden hiekkasuodatus	15
3.7	Pintaveden aktiivihiihisiuodatus	16
3.8	Pintaveden kalvosuodattimet	18
3.9	Pintaveden desinfiointi, hypokloriittisisäys ja UV-valo	19
4	Pintavesilaitoksen toiminta Äänekosken tehtaalla	21
4.1	Pintavesilaitoksen ympäristövaikutukset ja suodattimien kustannukset.....	21
4.2	Pintaveden valmistus Äänekosken tehtaalla	22
4.3	Pintavesilaitoksen automaatio.....	24
4.3.1	Pintaveden kemikaliointi	25
4.3.2	Pintaveden suodatus Dynasand vedenpuhdistuslaitteistolla.....	25
4.3.3	Pintaveden desinfiointi	30
5	Tutkimusmenetelmät	31
5.1	Mikrobiologiset ja kemialliset menetelmät	31
5.2	TOC ja COD mittaus	31
5.3	Sameuden mittaus	33
5.4	Jäännöskloorin mittaus	34
5.5	Tilastolliset menetelmät.....	34
6	Tulokset	36
6.1	Aktiivihiihisiuodattimen vaihtovälin määrittäminen.....	36
6.1.1	TOC ja COD määrittäykset.....	36

6.1.2	Sameusmittaukset	43
6.1.3	Aktiivihiilien vaihtovälin tutkimuksen johtopäätökset	44
6.2	Suojakloorauksen tason määrittäminen	47
7	Opinnäytetyön johtopäätökset ja pohdinta.....	53
7.1	Veden huoltovarmuus ja laatuvaatimukset	53
7.2	Raakaveden NOM -pitoisuudet	55
7.3	Aktiivihiilisuodattimen hankinta	57
7.4	Vedenpuhdistusprosessin vaihtoehtoiset menetelmät	58
7.5	Opinnäytetyön pohdinta	58
Lähteet	60
Liitteet	64
	Liite 1. TOC-tulokset	64
	Liite 2. COD-tulokset	65

Kuviot

Kuvio 1.	TOC-pitoisuudet eri vesityypeissä. (Crittenden ym. 2012a, 55)	8
Kuvio 2.	Talousveden lakivaatimukset ja asetukset. (Kaunisto ym. 2011)	9
Kuvio 3.	Tyypillinen pintaveden puhdistusprosessi. (Crittenden ym. 2012b, 140)	13
Kuvio 4.	Kalvosuodatustekniikat vedensuodatuksessa. (AFRY 2020)	19
Kuvio 5.	Pintavesilaitoksella valmistettavan käyttöveden vuokaavio. (Lapio & Mykkänen 2022b)	24
Kuvio 6.	Suodattimen toimintaperiaate. (Nordic Water Dynasand Products AB 2018, 28)	27
Kuvio 7.	Hiekankierron mittaaminen hiekkasuodattimessa (Nordic Water Dynasand Products AB 2018, 57)	29
Kuvio 8.	Suodattimen laskeutumisenopeuden laskentakaava (Nordic Water Dynasand Products AB 2018)	29
Kuvio 9.	TOC- ja COD- spektrofotometriputket sekä vesinäytteet (raakavesi, hiekkasuodatettu vesi ja aktiivihiilisuodatettu vesi).	33
Kuvio 10.	Perinteinen ja Taguchin laatuajattelu (Karjalainen 2008)	35
Kuvio 11.	TOC- tulokset ajalla 17.6 – 12.12.2022	38
Kuvio 12.	COD- tulokset ajalla 17.6 – 12.12.2022	38
Kuvio 13.	TOC pitoisuuksien todennäköisyyksien kuvaaja aktiivihiilisuodattimen jälkeen.....	39
Kuvio 14.	COD pitoisuuksien todennäköisyyksien kuvaaja aktiivihiilisuodattimen jälkeen.	40
Kuvio 15.	TOC- pitoisuuksien jakauma aktiivihiilisuodattimen jälkeen.	41

Kuvio 16. COD- pitoisuuksien jakauma aktiivihiihluodattimen jälkeen.....	41
Kuvio 17. TOC- pitoisuudet ennen ja jälkeen aktiivihiihluodattimen	42
Kuvio 18. COD- pitoisuudet ennen ja jälkeen aktiivihiihluodattimen	43
Kuvio 19. Klooripitoisuuksien ohjaukorktti 1.1.2021-21.11.2022.....	48
Kuvio 20. Klooripitoisuuksien suorituskyky ajalla 1.1.2021-21.11.2022.....	49
Kuvio 21. Klooripitoisuuksien jakauma ajalla 28.11.2022-24.3.2023	50
Kuvio 22. Klooripitoisuuksien ennen ja jälkeen trendi	51
Kuvio 23. Klooripitoisuuksien suorituskyky ajalla 28.11.2022-24.3.2023	53
Kuvio 24. Talousveden hallinnointiin vaikuttavien patoksenteon trendejä (AFRY 2020).	54

Taulukot

Taulukko 1. Klooripitoisuuden rajat tautia aiheuttavien mikrobien tuhoamiseksi. (muokattu Valvira 2022)	20
Taulukko 2. Pintavesilaitoksen tietoja. (Lapio 2022a)	22
Taulukko 3. TOC ja COD tulosten naytemaarat ja keskiarvotulokset ajalla 17.6-15.9.2022	37
Taulukko 4. TOC ja COD tulosten naytemaarat ja keskiarvotulokset 4.10-12.12.2022.....	37
Taulukko 5. TOC ja COD ylärajat kolmen keskihajonnan mukaisesti ajalta 4.10-12.12.2022	42
Taulukko 6. Sameusmittaustulokset ennen aktiivihiihluodatinta.	44
Taulukko 7. Sameusmittaustulokset aktiivihiihluodattimen jälkeen	44
Taulukko 8. Vuoden 2022 valvontaohjelman mukaisten TOC, COD ja sameustulosten naytemaarat ja keskiarvotulokset vuonna 2022.	45
Taulukko 9. Suojakloorauksen rajat jäännöskloorimittauksilla ajalla 1.1.2021-21.11.2022	49
Taulukko 10. Veden mikrobiologiset ja pH-tulokset ajalla 1.1.2022-24.4.2023.....	50
Taulukko 11. Suojakloorauksen sigmarajat jäännöskloorimittauksilla ajalla 28.11.2022-24.3.2023	52

1 Johdanto

Vesi on maailman tärkein luonnonvara niin ihmiselle kuin teollisuudelle. Useimpien teollisuuden alojen toiminnoissa tulee häiriöitä, jos talousveden saannissa on käyttökatkoja. Teollisuudenalalta etenkin elintarviketeollisuus vaatii tasalaatuista vettä valmistuksen raaka-aineeksi, prosessien puhdistuksiin tai tekniseksi vedeksi esim. lämmönsiirtimiin. (MMM 2014.) Valio Oy Äänekosken tehdas valmistaa itse talousvetensä. Valiolla on kaksi vedenottamoa, pohjavesilaitos ja pintavesilaitos. Veden varalähteenä tehtaalla on Äänekosken kaupungin vesiyhde, jos tehtaan oman talousveden käyttö on estynyt. Pintavesilaitoksen talousvettä käytetään elintarviketeollisuuden prosessissa ja veden laadun heikentyessä on suuri riski, että tämä heikentää myös valmistettavan elintarvikkeen laatua ja vaarantaa elintarviketurvallisuutta.

Äänekosken tehdas on ottanut käyttöön vuonna 2018 uuden pintavesilaitoksen. Suojakloorauksella varmistetaan pintaveden mikrobiologista laatua. Suojakloorauksen spesifikaatorajoja ei ole muutettu uuden pintavesilaitoksen käyttöönoton jälkeen ja opinnäytetyössä lasketaan uudet nykyprosessin mukaiset spesifikaatorajat suojaklooraukselle. Tehdyt muutokset prosessiin olivat hienovaraisia, koska käytössä ei ollut pilottiprosessia vaan muutoksilla oli suora vaikutus talousveden laatuun.

Talousvettä valmistettaessa pintaveden sisältämä humus halutaan erottaa vedestä, koska humus aiheuttaa terveysvaaraa kuluttajalle, värihaittaa vedessä, syövyttää putkistoja sekä aiheuttaa hajua ja makuhaittoja. Humuksen poistamiseksi vesi käsitellään erotustekniikalla eli saostamalla humus sekä erottamalla saostunut aines suodatuksella. Puhdistusprosessia valitessa tulee vedenkäsittely olla räätälöityä puhdistettavan veden ominaisuudet huomioiden. Veden laatuun voidaan vaikuttaa myös lisäämällä vedenpuhdistusprosessiin aktiivihiihluodatin, joka parantaa veden makua ja hajua poistamalla vedestä orgaanisia aineksia. (Crittenden, Trussel, Hand, Howe, Tchobanoglous 2012b, 26, 39; Saukkonen 2018)

Aktiivihiihluon vaihtamiselle ei ollut aiemmin määritetty mittaustuloksiin perustuvaa vaihtoväliä, vaan vaihtoväliksi oli määritetty laitetoimittajan suositus. Aktiivihiihluodattimen vaihtoväli määritetään opinnäytetyössä TOC-, COD- ja sameusmittauksilla, jotka kuvaavat veden laatua ja suodatti-

mien puhdistustehokkuutta. Tulosten perusteella määritetään mikä on suodattimien paras vaihtoväli, joka huomioi veden laatusuositukset ja laitetoimittajan suositukset aktiivihiihen vaihtovälille. (Talousvesiasetus 461/2000 2000; Saukkonen 2018)

2 Veden orgaaniset ainekset

Vesi on maailman tärkein luonnonvara, koska ilman sitä elämä ei voi olla olemassa ja useimmat teollisuudenalat eivät voi toimia. Ihminen voi elää monta päivää ilman ruokaa, mutta veden puuttumisella on vakavat seuraamukset. Turvallisen ja luotettavan vesilähteen olemassaolo on siis yksi olennainen edellytys jatkuvuudelle. (Tebbutt 1998, 1)

Historiassa on osoitettu monia tilanteita, joissa kehitys on estynyt vesihuollon häiriintymisen tai vesihuoltoalueella olevien konfliktien vuoksi. Tämä tarkoittaa sitä, että vedenkäyttö luonnonvarana vaatii huolellista ylläpitoa. Vaikka luonnolla on usein hienoa kyky toipua ympäristövahingoista, veden laatuvaatimusten kasvaessa vesihuoltojärjestelmän ylläpitäminen sekä kehittäminen vaatii ammattitaitoista osaamista veden laadun ja määrän varmistamiseksi. (Tebbutt 1998, 1)

Suomen vesistöt ovat yleisesti humuspitoisia. Humuksen määrään vaikuttaa vesistön käyttö ja maan käyttötavat vesistöjen läheisyydessä. Humuksen lähteitä ovat turve-, maa-, metsätalous ja luonnon valumat. Humuspitoisuus vesistöissä näkyy veden värin tummuutena sekä pH on lievästi happaman puolella. Humuspitoisuuteen vaikuttaa Suomen vesistöjen pohjoinen sijainti sekä maaperän tasaisuus. (Turveinfo 2023)

Tasaisella maaperällä tapahtuu luonnostaan orgaanisen aineen kerääntymistä vesistöön. Vesistön tumman värin muodostaa ensisijaisesti vesistöissä oleva rauta ja humuksen määrä. (Turveinfo 2023.) Humuspitoisuutta lisää vesistöissä luonnosta peräisin olevien ainesten, kuten kasvien ja puiden hajoaminen vesistöissä (Sarkkola & Nieminen 2014). Orgaanisten ainesten lisäksi vesissä on epäorgaanisia ioneja ja liukenemattomia kaasuja. (Crittenden, Trussel, Hand, Howe, Tchobanoglous 2012a, 19)

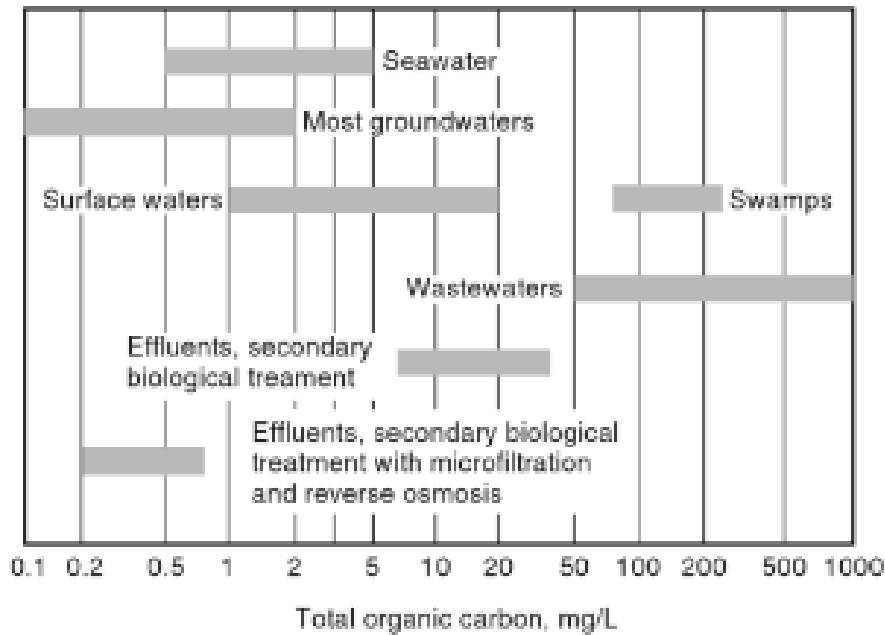
Humuksen orgaanisen aineksen koostumus vaihtelee biologisten, biokemiallisten ja fysikaalisten toimintojen seurauksena. Maatuva luonnon orgaaninen aine on lyhennettynä NOM eli Natural Organic Matter. Liuoksen ollessa liukoisessa muodossa, puhutaan liukoisesta orgaanisesta aineesta

DOM, Dissolved Organic Matter. Humuksella (osa NOM:sta) tarkoitetaan ainesta, joka aiheuttaa vedessä tummentumista. Humusaineet esiintyvät vedessä liukoisena, kolloidaalisena ja kiinteänä muotona. (Crittenden ym., 2012a.) Humusaineet koostuvat erilaisista suurista ja monimutkaisista hiiliyhdisteistä eli hajoamistuotteista (Saukkonen 2018).

Raakavedestä saostettavia aineita ovat monimuotoisia luonnon orgaanisia aineksia eli NOM:a. Luonnollinen orgaaninen aines on vesistöissä olevien biologisten hajoamistuotteita, kuten levien, alkueläinten, mikro-organismien aineenvaihdunnan eritteitä. Tällaisia mikro-organismien eritteitä ovat mm. bakteerit ja solumateriaalit, jotka ovat peräisin kaloista tai muista vesieliöistä. Luonnollinen orgaaninen aines voi huuhtoutua vesistöön myös maaperästä ja muualta ympäristöstä. (Crittenden ym. 2012a, 53)

Aiemmin NOM:n merkitys juomavedessä on liittynyt esteettiseen laatuun, koska NOM antaa vedelle kellertävän sävyn, jota monet ihmiset pitävät epämiellyttävänä. Monissa vedenpuhdistuksissa käytetään desinfioivana kemikaalina klooria, jonka käyttö on tuonut uutta tietoa NOM:n haitallisuudesta juomavedessä. Tutkimukset ovat osoittaneet, että veden sisältämällä NOM:lla on kyky reagoida kloorin kanssa, jolloin reaktiossa muodostuu kloorauksen sivutuotteita eli trihalometaaneeja. Trihalometaanit ovat usein syöpää aiheuttavia, jolloin NOM:n poisto vedestä on erityisen tärkeää. Talousvedestä NOM määritetään yleisesti kokonaisorgaanisen hiilenä eli TOC määrittämisellä.

Tyypillisiä TOC-pitoisuuksia on raportoitu eri vesityypeille kuviossa 1. Pohjaveden (most groundwaters) TOC-pitoisuudet ovat usein välillä 0,1–2 mg/l, kun vastaavasti soissa (swamps) esiintyvien TOC-pitoisuudet ovat huomattavasti korkeammat ja voivat olla 100–200 mg/l. Pintaveden (surface water) TOC-pitoisuudet ovat tyypillisesti 1–20 mg/l välillä. (Crittenden ym. 2012a, 53)



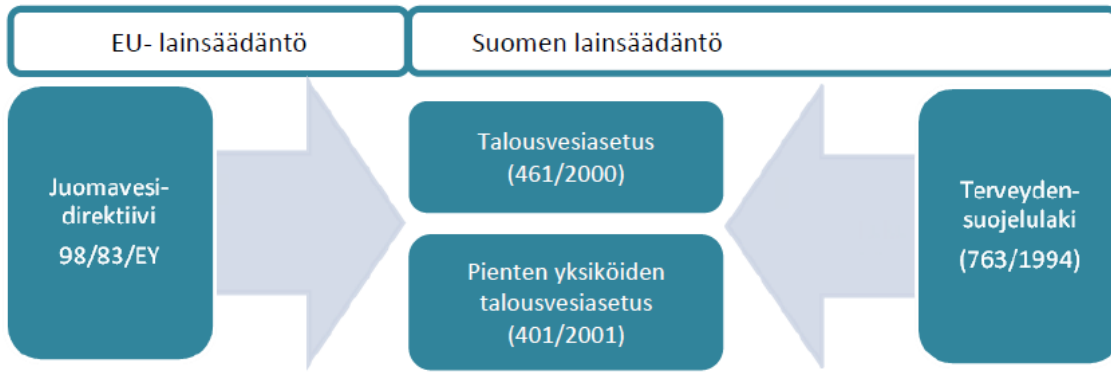
Kuvio 1. TOC-pitoisuudet eri vesityypeissä. (Crittenden ym. 2012a, 55)

3 Pintaveden puhdistusprosessi

3.1 Talousveden vaatimukset

Käyttöveden laatuvaatimuksena on, että talousvesi on tasalaatuista, mikrobiologisesti ja aistinvaraisesti moitteetonta sekä täyttää talousvesiasetuksen laatuvaatimukset ja -suositukset (Talousvesiasetus 461/2000 2000). Talousveden laatua valvoo kunnan terveydensuojeluviranomainen. Valio Oy Äänekosken tehtaan vesilaitoksen valvovana viranomaisena toimii Jyväskylän ympäristöterveyslautakunta.

Talousveden laatuvaatimuksia on Suomen lainsäädännössä terveydensuojelulaissa 763/1994 ja sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa 461/2000 talousveden laatuvaatimukset ja valvontatutkimukset. Pienten vesilaitosten toimintaa käsitellään asetuksessa 401/2001 pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimukset ja valvontatutkimukset. Talousvesiasetuksen laatuvaatimukset perustuvat terveydensuojelulain 763/1994, luvun 5 alla olevaan lakipykälään 21§. EU:n talousveden vaatimukset ovat säädetty EU-lainsäädännössä direktiivissä 98/83/EY, jonka vaatimukset ovat toimeenpantu talousvesiasetuksissa 461/2000 ja 401/2001. (Kaunisto, Lahti, Vieno 2011)



Kuvio 2. Talousveden lakivaatimukset ja asetukset. (Kaunisto ym. 2011)

Talousvettä toimittavilla laitoksilla tulee olla laadittuna valvontatutkimusohjelma, joka sisältää vesilaitoksen säännöllisesti otettavat näyteparametrit ja vesilaitoksen käyttötarkkailun (Heininen 2016). Valvontaohjelman näyteparametrit ovat vedestä tutkittavia mikrobiologisia, kemiallisia ja fyysikaalisia ominaisuuksia (Lapio & Lonka-Huotari 2022a). Erityistilanteita varten vesilaitoksilla tulee olla laadittuna suunnitelma talousveden desinfioinnista kuuden tunnin kuluessa siitä, kun tieto veden saastumisesta on saavutettu. Erityissuunnitelman laadinnasta ja poikkeavien tilanteiden johtamisesta vastaa kunnan terveysuojeluviranomainen. (Heininen 2016)

Talousvesihygieenistä osaamista koskevien säädösten 1351/2006 mukaisesti yli 10 kuutiometriä talousvettä päivässä toimittavassa laitoksessa tai yli 50 henkilön kulutukseen toimittavassa laitoksessa tulee laitoksessa työskentelevillä henkilöillä olla Sosiaali- ja terveydenhuollon lupa- ja valvontaviraston (Valvira) hyväksymä vesityökortti. Vesityökortti vaaditaan henkilöiltä, jotka voivat vaikuttaa talousveden laatuun ja vedenkäsittely vaatii näyttöä laitosteknisestä ja talousvesihygieenisestä osaamisesta. Vesityökortin todistus on voimassa 5 vuotta. (Lapio 2022a)

3.2 Pintaveden epäpuhtaudet ja riskit

Pintaveden epäpuhtaudet ovat partikkeleita, jotka ovat peräisin maaperästä tai ovat hiiliyhdisteiden hajoamistuotteita. Partikkelin määrittely on hienojakoinen kiintoaine, joka on molekyyliä suurempi ja ei ole tunnistettavissa visuaalisesti. Partikkeleilla on merkittävä vaikutus vedenpuhdistuksessa, koska partikkeleihin on sitoutunut myös tautia aiheuttavia patogeeneja. Saostamalla partikkeleita vedenpuhdistuksessa, poistetaan vedestä samanaikaisesti patogeeneja epäpuhtauksia.

Ihmisten väliset tarttuvat taudit ovat sairauksia, joissa patogeeni on tarttuneena ihmisessä ja voi elää vain hetken ajan ihmiskehon ulkopuolella epäsuotuisissa olosuhteissa. Tämän tyyppinen sairaus tarttuu suoraan kosketuksessa, pisaratartuntana tai pintojen kautta koskettaessa. Ilman kosketusta vaativia patogeeneja voi esiintyä ihmiskehon ulkopuolella ja nämä vaativat kehittyäkseen sopivat ympäristöolosuhteet. Tällaiset ympäristöolosuhteet voivat olla maaperä ja vesistö. (Tebbutt 1998, 52.) Veden kautta voi levitä vakavia tautia aiheuttavia mikrobeja, jotka voivat aiheuttaa ihmiselle sairauksia, kuten ripulia, vatsavaivoja ihottumia ja kuumetta (Ahluroos 2022). Mikrobit ovat mikrooppisen pieniä bakteereita, viruksia, sieniä eli homeita tai hiivoja sekä loisiin kuuluvia alkueläimiä, kuten heisimadot ja sukkulamadot (Heininen 2016). Levinneisyys voi olla paikallista tai aiheuttaa laajan infektioketjun vedenjakeluverkostossa. Tästä syystä talousveden epäpuhtaudet tulee olla tunnistettuja veden valvontaohjelmassa ja puhdistusprosessi suunnitella siten, että talousveden mikrobiologinen laatu täyttää vedelle asetetut vaatimukset.

Maaperän partikkeleita ovat savi ja lieteperäisiä liukenemattomat kiintoaineet. Hajoamistuotteet ovat yleensä bakteereita, viruksia ja levää. Osa partikkeleista ovat hajoamistuotteiden yhdisteitä sekä maaperästä peräisin olevia epäpuhtauksia, kuten asbestikuidut. Epäpuhtaudet voivat päätyä veteen teollisuuden tai maanmuokkauksen yhteydessä suoraan eroosion kautta, sitoutumalla maaperän kerrostumiin ja liukenemalla kerrostumista muualle ympäristöön tai ilmakehän kautta laskeutumalla ympäristöön. (Crittenden ym. 2012a, 30–31)

3.2.1 Koliryhmän bakteerit

Escherichia coli ja enterokokit ovat koliryhmän bakteereita, jota esiintyy ihmisten ja eläinten suolistossa. Koliryhmän bakteereiden esiintyminen ilmaisee vedessä mahdollisesta ulosteperäisestä kontaminaatiosta. Talousvesiasetuksessa *E. coli* ja enterokokkien enimmäistiheys on 0 pmy/ml (pesäkkeen muodostava yksikkö per millilitra). (Heininen 2016.) *Escherichia coli* bakteereiden määrittäminen tehdään siirrostamalla tutkittavaa näytettä selektiiviselle kasvatusalustalle. Näytettä inkuboidaan vuorokausi, jonka jälkeen maljoilta luetaan mahdolliset kolipesäkemäärät. Koliryhmän bakteerien määrittystä pidetään parhaimpina ja tyypillisimpänä indikaattorina veden puhtaudelle. Suomessakin esiintyvä ja huonoja olosuhteita sietävä yksi *E. coli* bakteereihin kuuluva on EHEC eli *enterohemorraginen Escherichia coli*. EHEC tuhoutuu 72°C asteen lämpökäsittelyssä, mutta poikkeuksena muista kolibakteereista se sietää happamia olosuhteita, jolloin EHEC muodostaa riskin myös happamissa elintarvikkeissa, kuten hapatetuissa maitovalmisteissa. EHEC:in kyky on aiheuttaa

sairauksia pienilläkin pitoisuuksilla, jolloin tämä luokitellaan voimakkaasti infektiiviseksi bakteeriksi. Tästä syystä pienikin määrä on aina riski, vaikka EHEC ei kykene prosessin sisällä tai tuotteessa enää lisääntymään. (Ahlroos 2022.) Vesiverkostossa koliformisten bakteerien esiintyminen voi tarkoittaa veden seisomisesta verkostosta, saostumisista putkistoissa, putkirikkoontumisista tai lämpötilan kohoamisesta verkostossa (Heininen 2016).

3.2.2 Heterotrofit

Heterotrofiset bakteerit ovat kokonaispesäkkeitä, joiden määrä kuvastaa yleistä vedenlaatua. Heterotrofisille bakteereille ei ole enimmäismäärää, mutta näiden määrää tulee valvoa ja määrässä tapahtuville muutoksille tulee olla selvitys. (Heininen 2016). Tyypillisesti bakteerien määrä nousee raakavedessä kesäaikaan, kun veden lämpötila kasvaa. Äänekosken tehtaan talousveden spesifikaattorajaksi on määritetty 100 pmy/ml (Valio Oy 2019).

3.2.3 Homeet

Homeet ovat yleisiä taudinaiheuttajia kuluttajille (Heininen 2016) ja elintarvikkeiden pilaajina (Ahlroos 2022). Homeiden lisääntyessä nämä muodostavat kasvualustaansa useasti homemyrkyä eli mykotoksiinia. Toksiinit säilyvät vedessä tai elintarvikkeessa lämpökäsittelystä huolimatta, vaikka visuaalisesti hometta ei enää havaittaisi. Eri homelajit ja kannat muodostavat toksiineja eri pitoisuuksissa ja tämän tuottoon vaikuttaa oleellisesti kasvuolosuhteet ja ravinteet. Yleisesti toksiinien tuotto vaatii paremmat olosuhteet kuin homeen kasvu. (Ahlroos 2022)

Homeet ovat sienirihmaston rinnastettavia, joiden kasvusto on aistinvaraisesti havaittavissa. Homeilla on kyky lisääntyä maassa, vedessä ja kasvustoissa. Homeet lisääntyvät homeitiöistä tai rihmastolla, jolloin homeella on erinomainen kyky siirtyä ilmavirran ja veden mukana. Homeet tarvitsevat happea ja hiilihydraatteja lisääntyäkseen. Homeita esiintyy ilmassa erityisen runsaasti keväällä ja syksyllä. (Ahlroos 2022)

3.2.4 Virukset

Vatsatauteja aiheuttavista viruksista yleisimpiä ovat rotavirusten jälkeen noro-, astro- ja adenovirukset. Nämä leviävät yleensä kosketustartunnan kautta henkilöstä toiseen, harvemmin

elintarvikkeen (Ahlroos 2022) tai veden välityksellä. Virusten määrä vedessä merkitsee riittämättömyyttä vedenpuhdistusta tai vesi on kontaminoitunut puhdistuksen jälkeen. Veden välityksellä leviävät virukset ovat yleensä johtuneet putkirikoista tai prosessivirheistä, jotka ovat aiheuttaneet kuluttajille laajoja sairastumisia ja vatsatautiepidemioita. Esimerkkinä laajoista vesiepidemioista on Nokian vesikriisi vuodelta 2007, jolloin yli 8000 henkilöä sairastui. (Heininen 2016.) Epidemian aikana koko vedenjakeluverkosto tulee hygienisoida ja kuluttajille tulee tiedottaa varautumissuunnitelman mukaisesti häiriötilanteesta ja veden käyttökiellosta (Vesihuoltolaki 119/2001 2001).

3.2.5 Itiölliset bakteerit

Voihappobakteeri-itiöt (VHBI) (*Clostridium tyrobutyrium*) eli voihappoklostridit ovat voihappobakteerin säilymismuotoja, joiden ominaisuuksiin kuuluu hyvä lämpökäsittelyn sietokyky. Klostridi-itiöt ovat maaperän organismeja, jotka voivat jopa lämpökäsittelyn jälkeenkin aktivoitua aktiivisiksi bakteereiksi. Uudelleen aktivoituminen sopivissa olosuhteissa, jolloin ne voivat aiheuttaa mm. elintarviketeollisuudessa voihappokäymistä juuston kypsymisessä ja tätä kautta laadun heikentymistä ja hävikkiä. (Kammerlehner 2000, 5–7.) Klostridi-itiöiden esiintyminen talousvedessä voi olla merkki riittämättömästä vedenkäsittelystä ja desinfiointista.

3.3 Talousveden valmistus pintavedestä

Talousvettä valmistettaessa humus erotetaan pintavedestä, koska humus aiheuttaa terveysvaaraa kuluttajalle, värihaittaa vedessä, syövyttää putkistoja sekä aiheuttaa haju- ja makuhaittoja talousvedessä. Humuksen poistamiseksi talousvedestä vesi käsitellään erotustekniikalla eli saostamalla humus sekä erottamalla saostunut aines suodatuksella. Yleisesti saostuskemikaalit ovat rauta – tai alumiinipohjaisia polymeerejä tai suoloja (Saukkonen 2018). Puhdistusprosessia valitessa tulee vedenkäsittely olla räätälöityä puhdistettavan veden ominaisuudet huomioiden. Ominaisuuksiin vaikuttaa olennaisesti veden laatu, sisältämät partikkelit, veden käyttötarkoitus ja määrä. (Crittenden ym. 2012b, 26, 39.)

Vedenpuhdistuksen prosessi perustuu veden ominaisuuksiin, jotka ovat vesimolekyylin koostumus, koko, vetysidos ja rakenne. Veden ominaisuuksista vetysidokset ovat yksi selittävä tekijä veden tiheydelle, pintajännitteelle ja kiehumispisteelle. Veden muita ainutlaatuisia ominaisuuksia

ovat mm. sen kyky liuottaa erilaisia materiaaleja ja toimia hyvänä lämmönsiirtäjäaineena. Vedenpuhdistuksessa liuotettavien aineiden ominaisuudet vaikuttavat olennaisesti veden loppulaatuun, jotka ovat veden juomakelpoisuus, syövyttävyyys putkistoissa, maku ja haju. (Crittenden ym. 2012a, 20)

Vedenpuhdistuksessa on yleisesti käytössä monta puhdistusprosessivaihetta, mutta joissakin tapauksissa haluttuun lopputulokseen päästään yhdelläkin puhdistusprosessilla. Puhdistusprosessin käyttöön ja veden loppulaatuun vaikuttaa olennaisesti raakaveden laatu. Esimerkiksi jokiveden partikkelit eivät poistu pelkästään selkeyttämällä eli flotaatiolla, jolloin puhdistukseen tarvitaan puhdistusprosessin yhdistelmiä. Yleisesti puhdistuksessa käytetään lisänä hiekkasuodatusta ja lisäämällä veteen desinfioivaa kloorikemikaalia mikrobiologisen laadun varmistamisena. (Tebbutt 1998, 120)

Kuviossa 3 on esimerkki tyypillisestä pintaveden puhdistusprosessista, jossa ennen koagulaatiota on raakaveden hygienisointi eli otsonointi. Koaguloinnin jälkeen vesi flokkaantuu ja flokki voidaan poistaa vedestä jo selkeytyksellä tai erottamalla suljetussa prosessissa. Flokkaation jälkeen veteen lisätään saostusainetta eli polymeeria ja vesi puhdistetaan suodattimella. Suodatin voi olla rae- tai jauhesuodatin, joka sisältää hiekkaa tai aktiivihiiltä. Yleisesti käytetään ensin hiekkasuodatinta, jonka jälkeen on aktiivihiilisuodatin. Viimeisenä vaiheena on desinfiointi otsonoinnilla.

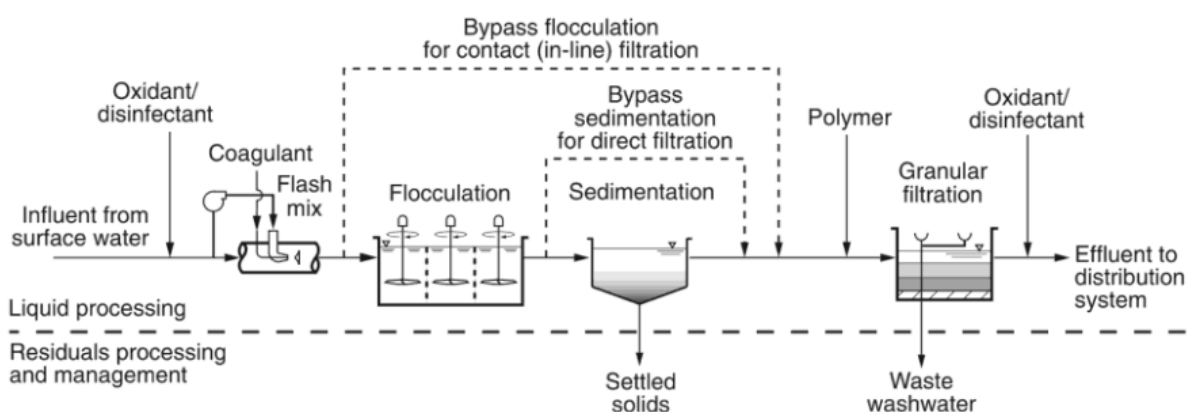


Figure 5-1

Typical water treatment process flow diagram employing coagulation (chemical mixing) with conventional treatment, direct filtration, or contact filtration.

Kuvio 3. Tyypillinen pintaveden puhdistusprosessi. (Crittenden ym. 2012b, 140)

Prosessi harvoin sisältää ainoastaan yksittäisen puhdistusvaiheen, vaan tämä sisältää monia puhdistusvaiheita. Monille puhdistusvaiheille on silloin tarvetta, kun vedestä halutaan erottaa erilaisia partikkeleita ja epäpuhtauksia. Puhdistusvaiheiden tehokkuus voi olla tehotonta yhdessä puhdistusvaiheessa, mutta prosessivaiheiden ollessa ketjutettuna puhdistusprosessi kykenee tuottamaan haluttua lopputulosta. Ketjutetun prosessin etu on myös prosessin parempi käyttövarmuus. Usean prosessivaiheen yhdistelmä kestää lyhyitä prosessikatkoja, jos yksi prosessivaihe on poissa käytöstä hetkellisesti. (Crittenden ym. 2012b, 25,32). Prosessivaiheiden katkot eivät saa kuitenkaan vaarantaa veden hygieenisyyttä.

3.4 Pintaveden kemiallinen saostus, koagulaatio ja flokkulaatio

Vedenpuhdistuksessa koagulaatiovaihe on veden esikäsitteilyä, jossa veteen lisätään koagulointikemikaalia, joka rikkoo vedessä olevien partikkeleiden pintajännitystä, jolloin partikkelit alkavat saostua eli flokkaantua. Saostamisen jälkeen epäpuhtaudet poistetaan flokkaation jälkeen eli selkeytys- ja suodatusvaiheissa. Prosessivaiheina koagulaatio ja flokkulaatio eivät eroa merkittävästi ja tyypillisesti tätä esikäsitteilyvaihetta nimitetään koagulaatioflokulaatioksi, sillä vaiheet tapahtuvat nopeasti ja näiden rajapintaa on vaikea erottaa (Crittenden ym. 2012a). Saostettavat partikkelit ovat raakaveden orgaanisia kolloidi- ja kiintoainemuotoisia epäpuhtauksia NOM:a (Crittenden ym. 2012a, 53) eli humusta (Saukkonen 2018).

Flokulaatiossa käytettävät saostuskemikaalit ovat tyypillisesti rauta- tai alumiinisuola polymeereja. Käytettävät rautasaostuskemikaalit ovat tyypillisesti Ferrikloridi (PIX) tai muu rautasuola (rauta Fe^{3+} muodossa). Alumiinisuoloista käytetään yleensä polyalumiinikloridi (PAX) tai muuta alumiinisuolaa. (Saukkonen 2018.) Saukkonen (2018) on esittänyt koulutusmateriaalissaan, että saostuskemikaalin toimivuus riippuu veden pH:sta ja saostuskemikaalin toimivuus on tehokkaimpaa, kun raakaveden pH on happamalla puolella.

3.5 Pintaveden selkeytys, flotaatio

Flotaatio eli sedimentaatio on painovoimaan perustuva veden selkeytysprosessi, jossa vesi ohjataan säiliöön tai altaaseen ja epäpuhtaudet laskeutuvat pohjalle. Flotaatiosta käytetään myös nimitystä

laskeutus, joka yleisesti sijoittuu vedenpuhdistuksessa flokkulaation ja suodatuksen väliin. Flotaatiovaihe voi olla myös yhdessä hiekkasuodatuksen kanssa, jolloin flotaatiovaihe on hiekkasuodattimen yläosassa ja suodatus on säiliön alaosassa hiekkasuodattimessa. (Crittenden ym. 2012a, 171)

Flotaation teknisenä puhdistusmenetelmänä käytetään yleisesti DAF-flotaatio (dissolved air flotation), jonka toiminta perustuu flokkaantuneiden aineiden sekä dispersoituneen veden yhdistymiseen. Dispersoitunut vesi on puhdistettua vettä, johon syötetään ilmaa korkeassa paineessa. Paine muodostaa veden sisälle ilmakuplia ja syötettäessä dispersoitunutta vettä puhdistettavaan veteen, vapautuu dispersoituneen veden ilmakuplat matalammassa ilmanpaineessa, jolloin nämä yhdistyvät veden flokkaantuneisiin aineisiin. Flokkaantunut aines ja ilma ovat yhdistyneinä vettä kevyempää, jolloin nämä jäävät kellumaan pinnalle ja näiden poistaminen pinnalta voidaan tehdä juokuttamalla ylivuotoa tai kaapimalla veden pintaa. (Ainali, Juuso, Sorsa 2001)

Ainekset, joilla ei ole hydrofobista ominaisuuksia, kiinnittyvät heikosti ilmakupliin. Kiinnittymisen edellytyksenä on myös, että ilmakuplien ja flokkien välillä tulee olla sähköinen varaus mahdollisimman pieni. Flokkaatiovaiheessa käytettävät polymeerit lisäävät flokkien pintaan hydrofobisia alueita, jolloin ilmakuplat yhdistyvät flokkeihin herkemmin. Flotaation tehokkuuteen vaikuttaa myös partikkeleiden koko. Erotusprosessin tehokkuus on parhaimmillaan silloin, kun partikkelikoko on flotaatiossa alle 100 μm . (Ainali ym. 2001)

Flotaatio voidaan jakaa kahteen eri erotustekniikkaan, mekaaniseen ja hydrauliseen. Mekaanisessa flotaatiossa yleisimmin käytetään painovoimaan perustuvia vaakatason altaita tai pystysuuntaisia säiliöitä. (Crittenden ym. 2012a, 170.) Hydraulisessa erotuksessa ei ole tyypillisiä menetelmiä ja Crittenden ym. (2012a, 170) huomauttaakin teoksessaan Principles of Water Treatment, että toisinaan suunnittelijat ovat käyttäneet turbulენტista ilmaa tai vesisuihkuja muodostaakseen nopeusgradientteja flokkaatioon, mutta näiden tehokkuus on ollut rajallista. DAF-flotaatio soveltuukin parhaiten flokkeille, jotka pystyvät sitoutumaan herkästi dispersoituneen veden kanssa.

3.6 Pintaveden hiekkasuodatus

Suodatus huokoisen väliaineen, tavallisesti hiekan, läpi on tärkeä juomaveden erotusprosessi talousvettä valmistettaessa. Pintavettä puhdistettaessa hiekkasuodatus on tyypillinen erotusprosessi

ja erityisesti hiekkasuodatus on yleisesti käytössä oleva rakeinen suodatusprosessi veden valmistuksessa. Pintavesiproessin koagulaatio- ja selkeytysvaiheissa sameudesta ja väristä poistuu 90 prosenttia, mutta pienet partikkelit voivat läpäistä nämä vaiheet ja vaativat poistoa. (Tebbutt 1998)

Hiekkasuodatusvaiheessa poistetaan vedestä flokkaantuneet partikkelit ohjaamalla vesi hiekkapatjan läpi, jolloin saostuneet partikkelit kiinnittyvät suodattimeen. Flokkaantuneen veden ohjautuessa huokoiseen hiekkasuodattimeen, kiinnittyy flokit hiekkaan fysikaaliskemiallisten ominaisuuksien ansioista. Reaktio on samankaltainen kuin koagulaatiossa. (Tebbutt 1998)

3.7 Pintaveden aktiivihiilisuodatus

Veden laatuun voidaan vaikuttaa myös lisäämällä vedenpuhdistusprosessiin aktiivihiilisuodatin, joka parantaa veden makua ja hajua poistamalla vedestä orgaanisia aineksia. Aktiivihiilen käyttö on aloitettu vedenpuhdistuksessa 1920-luvulla, jolloin veden laatua haluttiin parantaa poistamalla kloorin makua ja hajua (Cecen & Aktas 2009). Nykyisin vedenkäsittelyprosesseissa kloori lisätään veteen aktiivihiilisuodattimen jälkeen, jolloin hiilen käyttöikä saadaan pidennettyä, kun kloorijäämät eivät ole sitoutumassa hiilen huokoiseen pintaan. Aktiivihiilen käyttö ei ole vedenpuhdistuksessa välttämätön ja tätä käytetään yleisesti prosesseissa, joissa raakavedessä on lähtökohdaltaan haju ja maku virheitä. Etenkin pintaveden orgaaninen aines aiheuttaa vedessä laadullisia virheitä, josta syystä aktiivihiilisuodattimen käyttö on suositeltavaa.

Yleisimmät aktiivihiilet ovat valmistettu puu materiaaleista, kivihielestä, raakaöljyn jätteistä tai kookospähkinäkuorista. Raaka-aineen valinta riippuu vesilaitoksen prosessista sekä millaista vettä suodattimella halutaan puhdistaa. Aktiivihiilen hankinnassa on erityisesti huomioitava suodattimen partikkelikoon tehokkuus, kokonaispinta-ala ja hiilen väliin jäävä tyhjä tila. Aktiivihiilen aktiivointiasteikko ja huokosten jakauma pinnassa vaihtelee suodattimien välillä, joka vaikuttaa veden puhdistettavuuteen. Yleisesti kivihiili on suodattimista edullisin ja myös käytössä yleisin suodatin. (Hannola 2007.) Äänekosken tehtaan vesilaitoksella on käytössä kookospähkinäkuorista valmistettu aktiivihiili.

Aktiivihiihen toiminta perustuu adsorptioon, jossa hiili sitoo vedestä epäpuhtauksia ja partikkeleita. Aktiivihiieltä voidaan käyttää rakeisena suodatinpatjana tai syöttää jauhemaisena vesivirtaan. Vesivirtaan lisätessä jauhe poistetaan myöhemmissä prosessivaiheissa, kuten flotaatiossa tai sedimentaatioissa. Suodatinpatjana käytettäessä aktiivihiihi on tyypillisesti puhdistusprosessissa flokkaation jälkeen ja ennen desinfiointia. Aktiivihiihisuodattimen käyttöikään vaikuttaa olennaisesti flokkaation onnistuminen, koska hiili sitoo epäpuhtauksia ja, jos esikäsittelyvaiheessa partikkelit eivät saostu, kyllääntyy aktiivihiihisuodatin nopeammin. Aktiivihiihisuodattimen kapasiteetti heikentyessä veden laadussa TOC pitoisuudet nousevat, jolloin aktiivihiihi tulee poistaa käytöstä tai elvyttää uudelleen käyttöön. (Crittenden ym. 2012a.) Aktiivihiihisuodatin on tyypillisesti hiekkasuodattimen jälkeen ja ennen desinfiointia. Aktiivihiihen jälkeen pintavesi vaatii aina jälkikäsittelynä desinfiointin (Isomäki, Valve, Kivimäki 2006, 42).

Aktiivihiihisuodattimet vaativat huuhtelua kiintoaineen poistamista varten ja adsorption toimivuuden ylläpitoon. Huuhtelun tavoitteena on poistaa aktiivihiihen pinnalta orgaanisia yhdisteitä, koska tukkeutunut suodatinpinta voi toimia tehokkaana mikrobien kasvualustana ja tukkeutunut suodatin voi päästää saostumia veteen. Aktiivihiihisuodattimien huuhtelutarve näkyy paineen nousuna, kun suodattimen huokokset tukkeutuvat. (Isomäki ym. 2006, 42)

Huuhteluväli ei saa kuitenkaan olla liian tiheä, koska tämä voi heikentää aktiivihiihen kapasiteettia ja irrottaa saostumia veteen. Veden pH-vaihtelut voivat irrottaa myös saostumia aktiivihiiheistä ja etenkin pH:n nousu aiheuttaa saostumien irtoamista. Kapasiteetin ylittyessä aktiivihiiheen sitoutuneet partikkelit ja saostumat voivat irrota lähtevään veteen, jolloin TOC-, COD-, rauta- ja sameuspitoisuudet voivat nousta lähtevässä vedessä verrattuna tulevaan veteen. Suositus on, että suodattimien haitta-ainemäärityksiä mitattaisiin säännöllisesti esimerkiksi kerran kuukaudessa, jolloin hiilen kapasiteetin täytyminen on saatu varmennettua. Uusien aktiivihiihen kapasiteettia tulee myös alussa tutkia tarkemmin, jolloin lähtöarvot ovat selvillä verrattaessa kapasiteettia hiilen käyttöään lopussa. (Isomäki ym. 2006, 42)

Aktiivihiihen käyttöikä vaihtelee käsiteltävästä raakavedestä, puhdistettavasta veden määrästä ja siitä, kuinka hyvin esikäsittelyvaiheet poistavat vedestä humusta. Aktiivihiihen käyttöikä voidaan pidentää lisäämällä suodatintilavuutta ja laskemalla virtausnopeutta. Aktiivihiihellä voidaan poistaa

myös torjunta-aineita, mutta tässä tarkoituksessa vaihtoväli on yleensä noin vuoden välein. Aktiivihiilen voi myös aktivoida uudestaan, jolloin aktiivihiilen haitta-aineet poistetaan pinnalta polttamalla. Uusittaessa aktiivihiili kokonaisuudessaan, poistetaan kyllästynyt hiili ja toimitetaan tämä hävitettäväksi. Tyypillisesti aktiivihiilijäte ei ole ongelmajätettä, vaikka tämä sisältää haitta-aineita. Hävityksessä on kuitenkin huomioitava missä tarkoituksessa aktiivihiili on ollut prosessissa. Radonin poistossa ollut aktiivihiili tulee varastoida määräajaksi jäännössäteilyn häviämiseksi, jonka jälkeen aktiivihiilen voi hävittää kaatopaikalle. (Isomäki ym. 2006, 43.) Aktiivihiilen kapasiteetti on käytetty nopeasti loppuun, jos hiilen huokoinen rakenne peittyy epäpuhtauksilla (Crittenden ym. 2012a).

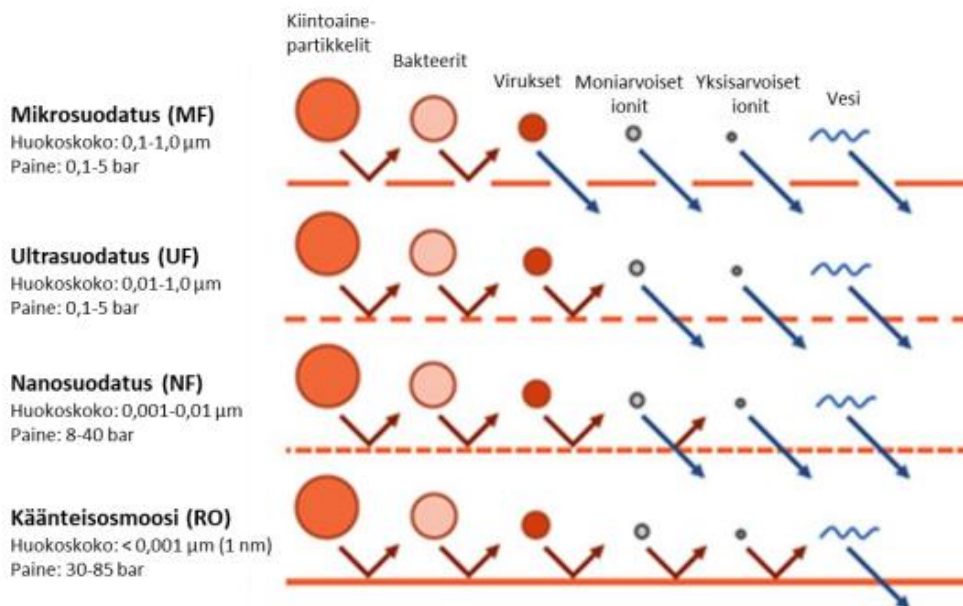
3.8 Pintaveden kalvosuodattimet

Vedenpuhdistuksen vaihtoehtoisena menetelmänä voidaan käyttää myös kalvosuodatusta, jos vedestä halutaan poistaa tiettyjä partikkelikokoja tai halutaan mahdollisimman puhdasta vettä. Kalvojen käyttö voi olla vedenpuhdistusprosessin osaprosessi tai pääsuodatin, riippuen halutusta talousvesilaadusta. Suodatinkalvot vaativat säännöllistä huoltoa ja ovat herkkiä tukkeentumaan, jos suodatettava vesi sisältää paljon partikkeleita. Tukkeentumisen estämiseksi suodatinkalvot vaativat humuspitoisilla vesillä yleensä aina saostamisen ja karkeasuodatuksen hiekalla tai aktiivihiilellä ennen kalvosuodatusta. Suodatinkalvojen etuna on, että näillä voidaan poistaa vedestä toksiineja, jotka eivät muutoin välttämättä jää hiekka- tai aktiivihiilisuodattimeen.

Suodatuskalvomenetelmä soveltuu hyvin suolanpoistoon, sekä eri partikkelikoon mukaiseen suodatukseen. Kalvosuodattimien etuna on näiden pieni fyysinen koko, jolloin saneerausten yhteydessä voi olla taloudellisin vaihtoehto. (Heininen, 2016.) Kalvosuodattimien menetelmässä erotetaan nesteestä partikkeleita kahdeksi eri virtaukseksi, permeaatiksi ja retentaatiksi. Erotus tehdään puoliläpäisevällä kalvolla hyödyntämällä paine-eroa. Suodatinkalvojen huokoskoot ja paine-ero määrittää ne partikkelit ja molekyylit, jotka halutaan läpäisevän kalvon. Käytetty paine-ero painaa huokoskokoa pienemmät partikkelit kalvon läpi permeaattiin ja muut partikkelit jäävät retentaattiin. (Bylund 2003.)

Kuviossa 4 on esitetty vedensuodatus eri huokoskoolla ja käytettävällä paine-erolla. Suodatusmenetelmiä on käänteisosmoosi RO, nanosuodatus NF, ultrasuodatus UF ja Micro Filtration MF. (AFRY 2020). Juustonvalmistuksessa käytetään yleisesti ultrasuodatuksen parametrejä (Bylund

2003), kun veden suodatuksessa käytetään huomattavasti tiheämpiä suodattimia loppulaadun mukaisesti. Suodattimista tihein on käänteisosmoosi RO, jossa käytetään tiheintä huokoskokoa. RO:lla käytännössä ainoastaan puhdas vesi läpäisee kalvon ja muut partikkelit eli bakteerit, itiöt, rasvat, proteiinit ja kivennäisaineet eivät läpäise kalvoa ja ohjautuvat retentaattiin (Alfa Laval 2023).



Kuvio 4. Kalvosuodatustekniikat vedensuodatuksessa. (AFRY 2020)

3.9 Pintaveden desinfiointi, hypokloriittilisäys ja UV-valo

Pintavesi on desinfioitava ennen käyttöönottoa. Desinfiointi tehdään tyypillisesti klooraamalla natriumhypokloriitilla ja käyttämällä prosessissa UV-valoa. (Isomäki ym. 2006, 43.) UV-valo on vedenpuhdistuksessa primäärivaihe ja klooraus jälkidesinfiointia (Crittenden ym., 2012a). Säiliöiden ja putkistojen kloorauksessa voidaan käyttää myös kalsiumhypokloriittijauhetta shokkikloorauksen yhteydessä. Hypokloriitin annostelumäärät ovat noin yhden prosentin luokkaa, jolloin kemikaali on hyvä laimentaa vesiliuokseksi tarkemman annostelun varmistamiseksi. Vesilaitoksilla kloorin syötössä käytetään kalvo- tai mäntäpumppausta. (Isomäki ym. 2006, 31.)

Jatkuvatoimisessa kloorauksessa jäännösklooripitoisuus saa olla enintään 0,5 mg/l luokkaa. Mikrobiologisissa poikkeamissa putkistot ja säiliöt voidaan joutua desinfiomaan shokkikloorauksella, jolloin jäännösklooripitoisuudet ovat huomattavasti korkeammat 5–10 mg/l. Shokkikloorauksessa talousveden käyttö on estynyt ja vedenjakelutoimittajan velvollisuus on ilmoittaa talousveden käyttökiellosta jakeluverkoston käyttäjille. (Lapio 2022a)

Kloorauksen jälkeen jäännösklooripitoisuus tulee olla käyttöpisteessä vähintään 0,05 mg/l, jotta desinfiokuvaikutus on riittävä. Taulukossa 1 on esitettyä talousvedelle jäännösklooripitoisuudet tautia aiheuttavien mikrobien tuhoamiseksi. Tyypillisesti vesilaitokselta lähtevän veden klooripitoisuus on 0,5–0,7 mg/l välillä, jolloin jäännöskloori käyttöpisteessä jää alle 0,5 mg/l. Klooripitoisuus heikkenee kloorin hajotessa vesiverkostossa ajan kuluessa sekä putkistojen sakka kuluttaa klooria. (Valvira 2022.) Ennen ensimmäistä käyttöpistettä desinfiointiaika tulisi täyttää vähintään 30 min, jotta kloorilla on riittävästi aikaa reagoida vedessä (Isomäki ym. 2006, 32). Desinfiointin tehokkuus riippuu esikäsittelyistä ja veden sameudesta. Veden esikäsittelyn ja flokkaation epäonnistuessa heikkenee myös desinfiointin vaikutus, koska epäpuhtaudet kuluttavat desinfiointikemikaalin nopeammin. Suojakloorauksen käyttö aiheuttaa vedessä makua ja hajua. Kloorauksen käyttö on kuitenkin hyvin yleistä, sillä kloorauksella saadaan kloorilla tai klooriamiinilla desinfiointia myös jakeluverkostoa. (Isomäki ym. 2006, 32–33.)

Taulukko 1. Klooripitoisuuden rajat tautia aiheuttavien mikrobien tuhoamiseksi. (muokattu Valvira 2022)

Kloorin pitoisuus talousvedessä, mg Cl ₂ /l	Vaikutus
5–10	Taudinaiheuttajamikrobien tappaminen tehokloorauksella
1–2	Taudinaiheuttajamikrobien tappaminen epidemian aikana
0,5–1,0	Indikaattorimikrobien tappaminen
0,5	Pitkäkestoinen klooraus pesäkeluvun alentamiseksi
alle 0,5	Tavallinen pitoisuus, jos laitoksella on jatkuva klooridesinfiointi

UV-desinfiointin toiminta perustuu ultraviolettivaloon. UV-laitteessa vesi ohjataan putkikammion läpi, jossa on yksi tai useampi putkensuuntainen UV-lamppu. UV-desinfiointilla saadaan paikallisesti desinfioitua vesivirtaa, mutta tämän vaikutus ei yletä koko verkostoon, kuten kloorauksella. UV-valon aallonpituus on tyypillisesti 240-280nm ja pienin vaadittava UV-säteilytysteho on 400J/m². Kuten kloorauksessakin, myös UV-valon tehokkuuteen vaikuttaa heikentäväsi veden väri ja sameus. Etenkin rauta ja kalsium saostuvat UV-valoputken pintaan, jolloin pintaa tulee säännöllisesti puhdistaa. UV-valon tehokkuus on parhaimmillaan tasaisessa virtauksessa. UV-laitteisto vaatii säännöllistä huoltoa ja yleensä noin vuoden käytön jälkeen UV-lamppujen tehokkuus on laskeutunut puoleen. Huollettavien kohteiden lisäksi UV-laitteiston toiminnasta on pidettävä ajopäiväkirjaa käyttötunneista ja tehokkuuden mittareista, kuten säteilytehot. (Isomäki ym. 2006, 34.)

4 Pintavesilaitoksen toiminta Äänekosken tehtaalla

4.1 Pintavesilaitoksen ympäristövaikutukset ja suodattimien kustannukset

Täydellinen elinkaari muodostuu materiaalin hankinnasta tämän hävitykseen. Elinkaaren muut vaiheet hankinnan jälkeen ovat prosessointi, kuljetus, tuotteen valmistus, jakelu, käyttö, uudelleenkäyttö, huolto, kierrätys ja viimeisenä vaiheena hävitys. Palvelun tai tuotteen ympäristövaikutukset ja luonnonvarojen kulutus pyritään selvittämään koko elinkaaren ajalta LCA-menetelmän avulla. (SYKE 2010)

Elinkaariarviointi eli Life Cycle Assessment (LCA) on ollut 90-luvun alusta lähtien kansainvälisen tutkijayhteisön kehityskohteena ja sitä pidetään tieteellisimpänä elinkaarimenetelmistä. Elinkaariarvioinnilla on kaksi pääasiallista lähestymistapaa, jotka ovat haitanjakoelinkaariarviointi ja seurausvaikutuselinkaari. Haitanjakoelinkaariarviointi liittyy perusvirrat ja mahdolliset ympäristövaikutukset tiettyyn tuotejärjestelmään tuotteen historian kuvauksena. Seurausvaikutuselinkaariarviointi tarkastelee mahdollisten tulevien muutosten seurauksia ympäristölle. (SYKE 2010)

Pintavesilaitoksen LCA-laskennassa on tyypillisesti otettu huomioon laitoksen suunnittelu sekä rakentamisen, prosessin käyttövaiheen ja laitoksen alasajon sekä hävityksen ympäristövaikutukset. Rakennusvaiheessa huomioidaan käytettävien rakennusmateriaalien, kuten betonin ja teräksen ympäristövaikutukset sekä elinkaaren lopussa näiden materiaalien hävitykset. On kuitenkin todettu, että pintavesilaitoksen LCA-laskennassa rakennusvaiheen ympäristövaikutus on pieni, noin

5–20 prosenttia koko elinkaarilaskennasta. Hävityksen ja alasajon osuus on tätäkin pienempi ja on noin 1 prosentin luokkaa. Pintavesilaitoksen suurin ympäristövaikutus tapahtuu käytön aikana. (Crittenden ym. 2012b, 36)

Pintavesilaitoksen kolme suurinta ympäristövaikutusta ovat energian kulutus, kemikaalien käyttö ja muiden kulutusmateriaalien käyttö sekä jäteveden tuotto. Näistä kaikista energiankulutuksella on suurin ympäristövaikutus. Käänteisosmoosi puhdistusprosessia käyttävissä vesilaitoksissa energiankulutus on 80 prosenttia koko laitoksen ympäristövaikutuksista. (Crittenden ym. 2012b, 36)

Pintavesilaitoksen elinkaariarvioinnissa merkittävin ympäristövaikutusta eli energiankulutusta voidaan pitää laitoksen yleisenä ympäristövaikutuksen indikaattorina. Tutkimuksissa on osoitettu, että yleisesti pintavesilaitoksen energiakulutus on 0,37–0,50 kWh/m³ välillä. (Crittenden ym. 2012b, 38) Äänekosken pintavesilaitoksen energiakulutus on arvioitu olevan 0,9kWh/m³. Arviointi perustuu pintavesilaitoksen merkittävimpien laitteiden energiakulutukseen. (Saastamoinen 2023.)

Kattava elinkaariarviointi on raskas ja paljon työtä vaativa prosessi. Tarpeen mukaan voi olla perusteltua tehdä kevyempi elinkaariarviointi. Tällöin tehdään yksinkertaistettu LCA, jossa pyritään etsimään oman tarpeen mukaisesti olennaisimmat ja parhaiten tunnetut parametrit. (Crittenden ym. 2012b, 36). Suurin osa elinkaariarvioinneista tehdään kuitenkin yleensä yksinkertaistetun ja kattavan LCA:n välimaastoon.

4.2 Pintaveden valmistus Äänekosken tehtaalla

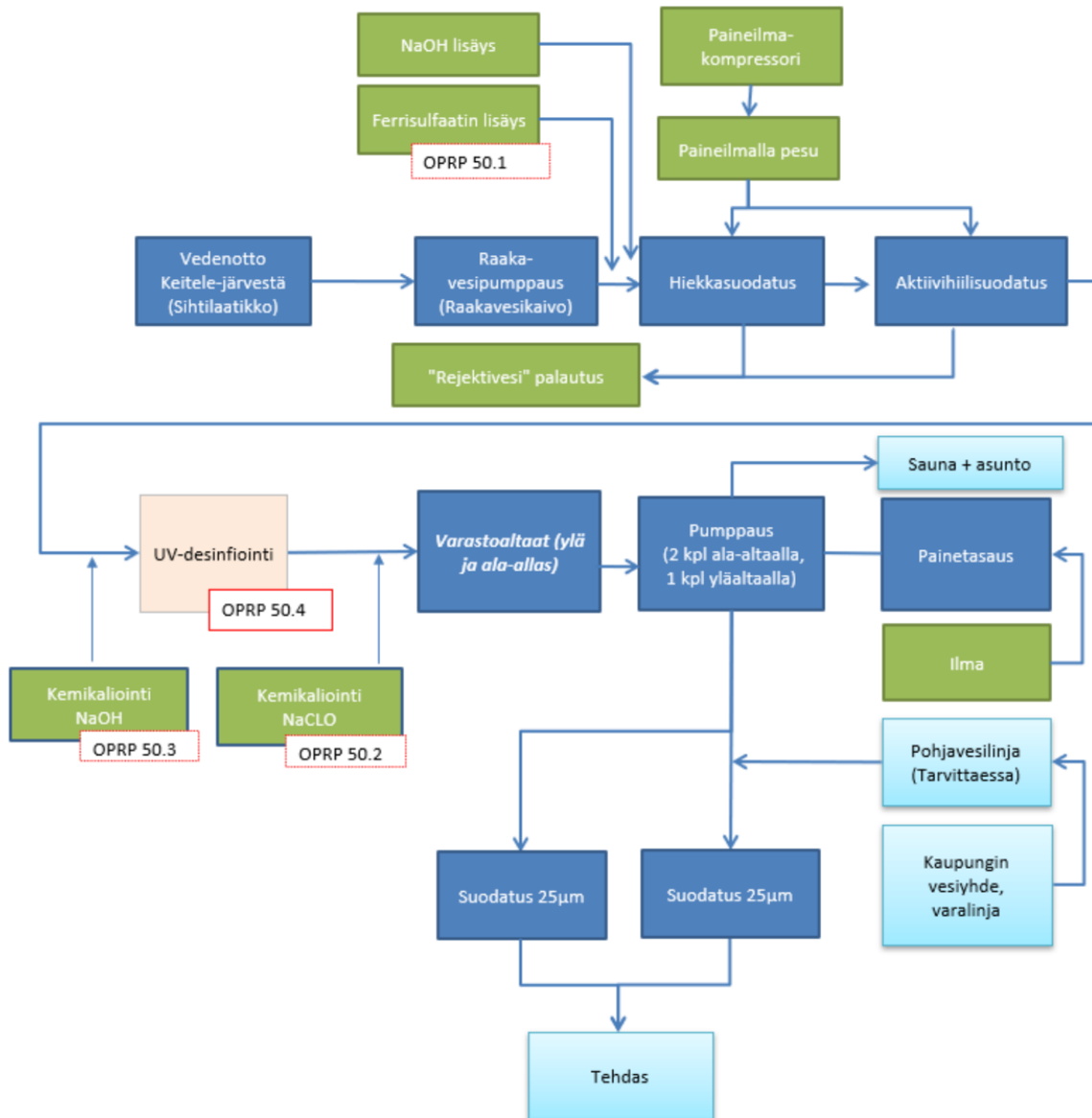
Valio Oy Äänekosken tehdas valmistaa itse talousvetensä. Valiolla on kaksi vedenottamoaa, pohjavesilaitos ja pintavesilaitos. Veden varalähteenä tehtaalla on Äänekosken kaupungin vesiyhde, jos tehtaalla oman talousveden käyttö on estynyt. Pohjavesilaitoksen toimittamaa vettä käytetään talousvetenä Valio Äänekosken tehtaalla juustonvalmistuksessa. Pintavettä käytetään lähinnä laitteiden ja pintojen pesuissa sekä tarvittaessa varavesilähteenä kaikelle talousvedelle. Valion tehtaalla lisäksi vettä toimitetaan Valion kiinteistöissä oleville vuokralaisille. (Lapio 2022a). Äänekosken tehtaalla pintavedenkulutus on 300–400 m³ / vrk. (Saastamoinen 2023)

Taulukko 2. Pintavesilaitoksen tietoja. (Lapio 2022a)

Vedenottamot	Keitele-järvi
Tyyppi	Dynasand hiekka- ja aktiivihiilisuodatus
Ylä- ja alavesisäiliöt	Ylävesiallas 100 m ³ , alavesiallas 100 m ³
Verkostoveden kulutus (2022):	300–400 m ³ / vrk
Vedenkäsittelymenetelmä:	Hiekka- ja aktiivihiilisuodatus, humus sidotaan Ferrisulfaatilla (PIX), pH tasataan NaOH:lla, UV-valo ja suojaklooraus
Jakeluverkoston pituus:	600 m

Pintavesilaitoksella puhdistettava vesi otetaan Keitele-järvestä. Vedenottoputki on noin kolmen metrin syvyydessä ja noin 400 metriä pitkä. Vedenottoputken päässä on siivilä, joka erottaa karkeasti vedestä esineet, jotka voivat häiritä jatkuvatoimista vedenpuhdistusta. Jatkuvatoimisella prosessilla tarkoitetaan prosessia ilman tuotantokatkoja.

Raakavesi pumpataan vedenottoputkea pitkin järvestä pintavesilaitoksen raakavesikaivoon. Raakavesikaivo on betonirakenteinen rengaskaivo. Raakavesikaivosta vesi pumpataan vesilaitokselle vedenpuhdistukseen. Vesilaitoksella käytettävä laitteisto on Dynasand vedenpuhdistuslaitteisto. Raakavesi syötetään hiekkasuodattimen pohjalle ja nestevirtaus tapahtuu alhaalta ylöspäin vastavirtaperiaatteella. Ennen hiekkasuodatusta veteen lisätään saostusaine PIX ferrisulfaatti ja pH:n tasausta varten natriumhydroksidi. Hiekkasuodatuksen jälkeen vesi ohjataan aktiivihiilisuodatukselle. Suodatuksissa rejektivesi ohjautuu takaisin Keitele-järveen. Suodatuksen jälkeen veteen lisätään natriumhydroksidia ja desinfioidaan UV-valolla ja natriumhypokloriitilla. Desinfioitu vesi ohjataan kahteen varastoaltaisiin, jotka ovat prosessissa ylä- ja alasäiliöitä. Altailta vesi pumpataan tehtaalle käyttöön tai tehdasalueen asukkaiden käyttöön.



Kuvio 5. Pintavesilaitoksella valmistettavan käyttöveden vuokaavio. (Lapio & Mykkänen 2022b)

4.3 Pintavesilaitoksen automaatio

Äänekosken tehtaan pintavesilaitoksella käytetään logiikkana Siemens automaatiota, joka ohjaa koko vesilaitosta sekä puhtasvesilaitoksen toimintaa. Vesilaitoksen toimintaan kuuluu instrumentit, UV-laite, taajuusmuuttajat, moottoriventtiili sekä kaksi WIN-CC valvomopäätettä. Valvomopäätteillä pystytään muuttamaan asetusarvoja, seuraamaan ja ohjaamaan vedenkäsittelyprosessia, hälytyksiä sekä analysoimaan hälytyshistoriaa ja mittaustrendejä. Vesilaitoksen ohjausta voidaan tehdä vesilaitoksella Siemens järjestelmän kautta tai etäohjauksella. Vesilaitos on kytketty Valion automaatioverkkoon, jonka yksittäisiä kohteita voidaan luvittaa Valion henkilökunnalle ja ulkopuolisille toimijoille VPN-tunnusten avulla. (Saastamoinen 2023)

4.3.1 Pintaveden kemikaliointi

Raakavesikaivolta tulevaan vesivirtaan lisätään vesilaitoksella natriumhydroksidia pH:n nostamiseksi ja rautasaostuskemikaalia järiveden humuksen sitomiseksi. Saostuskemikaaleilla on optimi pH-arvot, jossa se toimii tehokkaimmin. Useasti saostuskemikaalit ovat happamia ja nämä alentavat veden pH-arvoa. Äänekosken vesilaitoksella on käytössä rautasaostus PIX, jonka optimi-pH alue 5.

Rautasaostimen pH-arvo on 2 ja tämä on vahvasti hapan. PIX lisäys laskee raakaveden happamuutta, jonka vuoksi veden pH:ta joudutaan nostamaan saostuksen jälkeen natriumhydroksidilla (NaOH), jotta virtaavan veden pH ei aiheuttaisi putkistoissa liiallista sakan irtoamista. Natriumhydroksidi on natrium- ja hydroksidi-ioneista koostuva vahva emäs, joka muodostaa eksotermisen reaktion veteen liuetessaan. (Saukkonen 2018)

Veden pH:n säätämisessä käytettävä natriumhydroksidi on 50 %:sta liuosta, joka laimennetaan 5–10 %:n annosteluliuokseksi. Väkevä natriumhydroksidi laimennetaan, jotta liuos sekoittuu vesivirtaan tehokkaammin ja ettei tämä jähmety annosteltaessa. Väkevän natriumhydroksidin jähmettymislämpötila on + 12 °C, joka tulee ottaa huomioon etenkin talviaikaan, kun raakaveden lämpötila laskee noin +3 °C tasolle. Annostelulaimennos tehdään lisäämällä natriumhydroksidia vesisäiliöön ja sekoitetaan säiliössä säiliösekoittimella. Natriumhydroksidin annostelulaitteisto on kaksisäiliöinen ja kahdella Sera-annostelupumpulla sekä sekoittimella varustettu annostelulaitteisto (Saukkonen 2018). Vesivirtaan lisäys tehdään primäärisesti tavoite pH:n mukaisesti (Saastamoinen 2023).

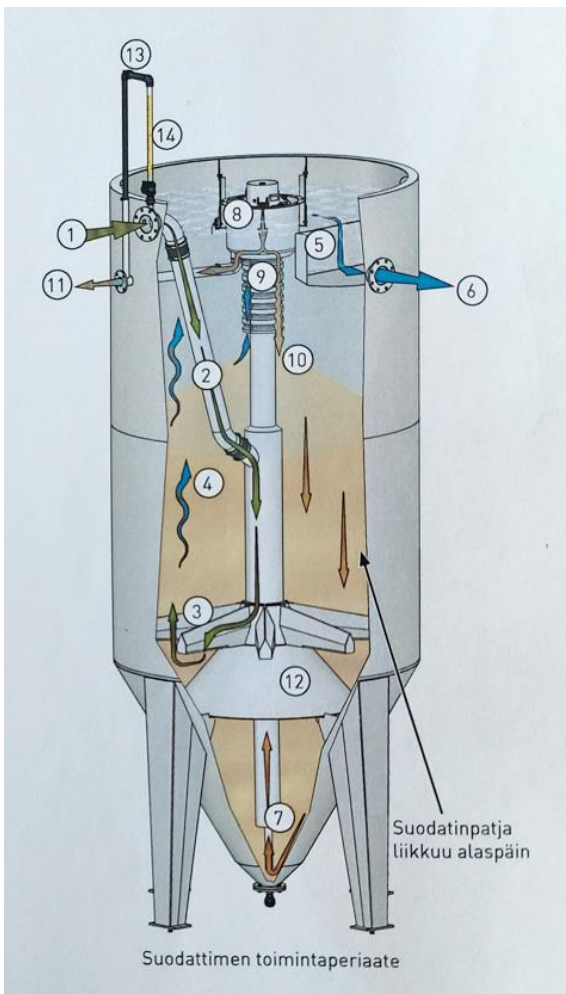
4.3.2 Pintaveden suodatus Dynasand vedenpuhdistuslaitteistolla

Dynasand on vedenpuhdistussuodatinlaitteisto, jonka toiminta perustuu jatkuvatoimisen vedenvirtaukseen. Äänekosken tehtaan hiekka- ja aktiivihiiisuodattimet toimivat samalla toimintaperiaatteella. Dynasand–hiekkasuodattimet pystyvät erottamaan vedestä suuremmat kuin 20 µm halkaisijalla olevat partikkelit. Alle 20 µm olevat partikkelit saadaan poistettua vedestä lisäämällä veteen saostuskemikaalia, jolloin epäpuhtaudet kiinnittyvät toisiinsa kiinni ja muodostavat flokin, joka on erotettavissa vedestä suodattamalla. (Nordic Water Dynasand Products AB 2018)

Äänekosken pintavesilaitoksella on kaksi hiekkasuodatinta ja kaksi aktiivihilisuodatinta. Hiekkasuodattimet ovat mallia Dynasand DS5000 2.0 EN 1.4301 PL ja aktiivihilisuodattimet mallia Dynasand PSIS502 TO DynaCarbon. Hiekkasuodattimet ja aktiivihilisuodattimet ovat silloja, joiden alaosa on kartiomainen. Kartiomaisen pohjassa on venttiilit tyhjennystä varten. Säiliöiden materiaali on ruostumatonta terästä ja näiden koko on halkaisijaltaan 2500 mm ja korkeus 6618 mm (Nordic Water Dynasand Products AB 2018).

Hiekkasuodattimen raekoko on 0,9–1,2 mm, joka on suodattimessa noin 2000 mm korkea hiekkapatja. Hiekkasuodatuksen reduktio vaihtelee virtauksen mukaan, vakio pesuvesivirtaus on n.3,5–4 m³/h/suodatin. Aktiivihilisuodattimen reduktio on korkeampi ja pesuaika n. 2 h/vrk. Dynasandin suodatinhiekkana on erikoispuhdistettua suodatushiekkaa, jonka suorituskyvyn varmistamiseksi suodatuslaitteistossa oleva hiekka tulee olla kovaa, kestäväää ja jyväsyydeltään luonnonhiekkamaisen pyöreärakeista. Koostumus tulee olla kvartssia ja maasälvää. Hiekan tulee olla silmämääräisesti saveton, pölytön eikä joukossa saa olla orgaanisia tai kiillemäisiä aineksia. (Nordic Water Dynasand Products AB 2018)

Puhdistettava vesi syötetään suodattimen alaosaan syöttöjakajaan, josta vesi nousee suodattimen läpi yläosaan. Veden noustessa suodattimen läpi epäpuhtaudet kiinnittyvät suodattimeen. Suodattimeen jäävät epäpuhtaudet puhdistetaan jatkuvatoimisesti mammuttipumpun avulla. Mammuttipumppu on veteen upotettu nousuputki, jonka alapäähän johdetaan paineilmaa. Putken alaosaan johdettavan paineilman ja veden yhdistelmä on kevyempää, kuin ympärillä oleva vesi, jonka avulla puhdistettava suodatinseos lähtee nousemaan putkea pitkin ylös pesurille. Paineilman sekoittuminen veteen aloittaa hiekanpesun jo nousuputkessa irrottamalla lietehiukkasia hiekkarakeista ja tekee hiekalle karkeapuhdistuksen. Karkeapuhdistettu hiekka nousee mammuttiputken yläosaan ja valuu ylävuotona pesuysikköön hienopesua varten. Pesuysikkössä on pieni vastavirta, joka ohjaa hienopesun epäpuhtaudet ylös pesuveden eli reduktioveden virtaan. Likainen reduktio eli prosessin rejektivesi poistuu hiekan pesurista pesuveden poistoyhteen kautta ja puhdas vesi valuu yläosassa olevan ylivuotoreunan kautta hiekkasuodattimelta aktiivihilille tai aktiivihilisuodattimen jälkeen desinfiointiin. (Nordic Water Dynasand Products AB 2018)



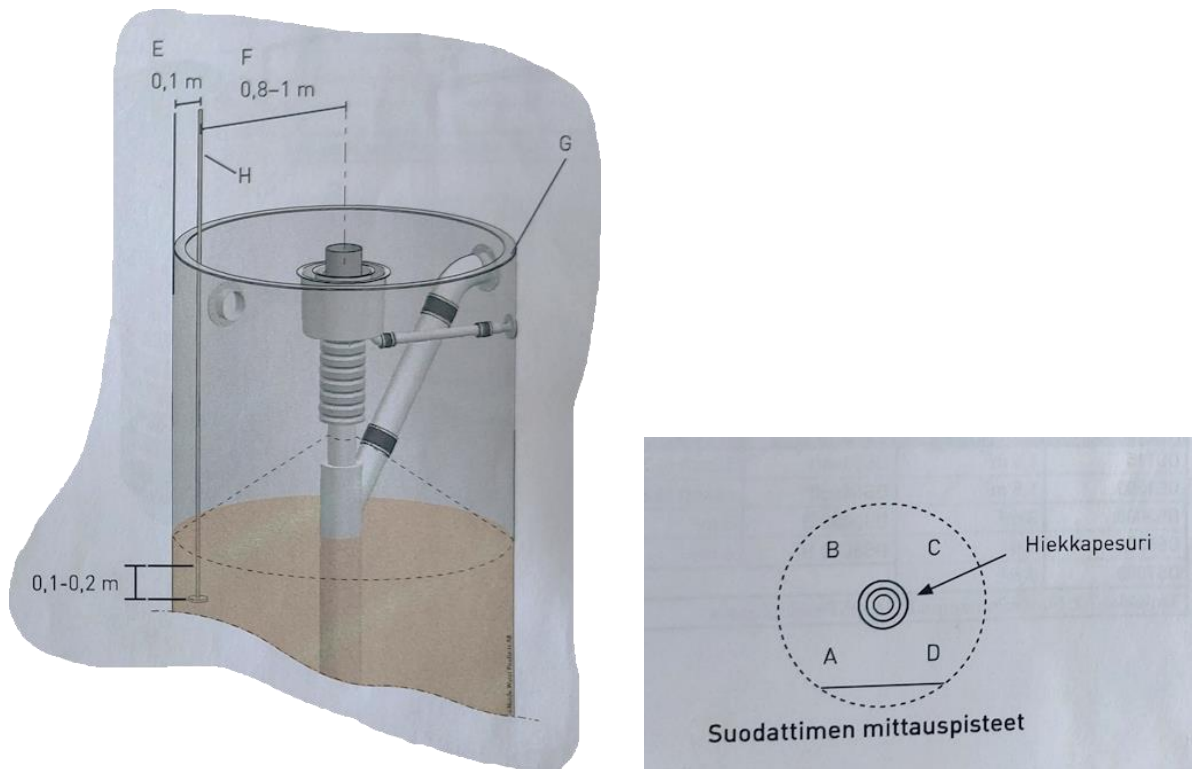
Kuvio 6. Suodattimen toimintaperiaate. (Nordic Water Dynasand Products AB 2018, 28)

Kuviossa 4 on esitetty puhdistettavan veden kulku hiekkasuodattimessa. Puhdistettava vesi ohjataan tuloventtiiliin (1) ja tuloputken (2) kautta vedenjakoharavaan (3). Vesi nousee suodatinpatjan (4) läpi ja suodos poistuu suodattimesta ylivirtausseinässä (5) olevan ulostulon (6) kautta. Mammuttipumppu (7) nostaa suodattimen pohjasta hiekkapesurin yläosaan (8) likaista hiekkaa, joka laskeutuu hiekkapesurin (9) läpi. Hiekkapesurin vastavirtahuuhtelu puhdistaa hiekkaa ja puhdistunut hiekka laskeutuu takaisin suodatinpatjan pinnalle (10). Pesuvesi eli reduktio poistuu ulostulon (11) kautta. Suodattimen alaosassa on hiekanjakaja (12), joka levittää suodattimen tasaisesti suodatuspinta-alalle. Tuloliitännän ja pesuveden ulostulon välissä sijaitsee ilmanpoistin (13), johon on liitetty painehäviömittari (14). (Nordic Water Dynasand Products AB 2018, 28)

Hienopesun läpäisseet raskaammat hiekkarakeet ohjataan laskeutumaan hiekka- tai aktiivihilipatjalle osallistuakseen uudelleen suodatusprosessiin. Ohjaus tapahtuu jakoharavoilla, jotka ohjaavat palautuvan suodattimen liikettä siten, että nopeus säilyy tasaisena koko suodatuspinnalla.

Hiekkasuodattimen virtausnopeus on DS5000 suodattimilla 35 l/min, joka on Dynasand ohjeistuksen mukainen. Hiekkankiertoa mitataan Äänekosken tehtaalla hiekkasuodattimista, mutta aktiivihilienkiertoa ei mitata. Aktiivihilien suodatin ei tukkeudu samalla tavalla, kuin hiekkasuodatin, joten tästä syystä pinnanmittausta ei tehdä. (Saastamoinen 2023) Äänekosken vesilaitoksen aktiivihilisuodattimen hiili on kookospohjainen, joka on ominaisuuksiltaan kovaa. Hiilen ominaisuuksiin kuuluu turpoaminen vedessä, jolloin tämä tulee ottaa huomioon täyttövaiheessa siten, ettei hiili karkaa suodattimelta tai ettei hiiltä päädy liikaa puhtaaseen veteen. Vesilaitoksen hiilet ovat otettu käyttöön 2018 ja hiilen turpoaminen on tapahtunut käyttövaiheessa. Pientä hiilihiukkasta voi kuitenkin päätyä veden joukkoon ja etenkin pesuvaiheessa päätyä rejektiveden joukkoon. Hiilen häviämiseen voidaan vaikuttaa hankkimalla suodattimeen hiilet, joiden tilavuuspaino on suuri. Tällä tavoin päästään tehokkaampaan vastavirtahuuheluun.

Suodatinhiekkankierron mittaus tehdään työntämällä hiekanmittaustanko suodatinpatjaan 0,1–0,2 metrin syvyyteen (Kuvio 8 Vaihe H). Mittaustangon etäisyys suodattimen ulkoreunasta tulee olla noin 0,1 m. Mittaustangon annetaan vajota hiekkaan 2 minuutin ajan, jonka jälkeen aloitetaan mittaus. Mittaus tapahtuu ottamalla aikaa, joka kuluu mittaustangon vajoamiseen 30 mm. Sama mittaus tehdään neljästä eri kohtaa säiliötä, kuvio 8 kohdat A-D. Neljästä eri kohtaa mittaus varmistaa hiekan tasaisen jakaantumisen ja kiertämisen. Tulokset tulevat olla samansuuntaisia, jos tulokset eroavat on prosessissa vikaantuminen. Vikaantuminen voi olla mm. ilmansyöttöhäiriö tai vierasesineestä tukkeentuminen. (Nordic Water Dynasand Products AB 2018)



Kuvio 7. Hiekkankierron mittaaminen hiekkasuodattimessa (Nordic Water Dynasand Products AB 2018, 57)

Palautuvan hiekan virtausnopeutta lasketaan kaavalla:

$$\frac{\text{Mittausetäisyys (mm)} \times 60 \text{ (s)}}{\text{Mittausaika (s)}} = \text{Laskeutumisnopeus (mm/min)}$$

$$\text{Laskeutumisnopeus mm/min} * \text{suodatusala m}^2 = \text{Suodatusaineen virtausnopeus (l/min)}$$

Kuvio 8. Suodattimen laskeutumisnopeuden laskentakaava (Nordic Water Dynasand Products AB 2018)

4.3.3 Pintaveden desinfiointi

UV-valolla ja natriumhypokloriitilla desinfioidaan vesi ennen varastoaltaita, jonka jälkeen vesi ohjataan tehtaalle, jossa vesi suodatetaan 25 µm pussisuodattimien läpi ennen käyttöönottoa. Ennen suojakloorausta vesi desinfioidaan UV-valolla ja tämän jälkeen vesivirtaan lisätään natriumhypokloriittia. Pintaveden desinfiointi on tärkeä käsittelyvaihe talousveden valmistuksessa, koska pintavesi sisältää tautia aiheuttavia mikrobeja ja desinfioinnilla varmistetaan, ettei vesi aiheuta mikrobiologista kontaminaatiota käyttäjälle. Vesilaitoksella käytetään 10 % emäksistä natriumhypokloriittia, joka laimennetaan ennen annostelua. Vesivirtaan annostellaan vesilaitoksella laimennettua natriumhypokloriittia, jonka pitoisuus on 0,1–0,2 mg/l. (Saastamoinen 2023)

UV-desinfiointi on veden hygienisointia elohopeahöyryä sisältävien lamppujen avulla. Mikrobeja tuhoava säteilyvaikutus saadaan 254 nm aallonpituudella ja vesilaitoksella käytössä oleva aallonpituus on tämän mukainen. UV-laitteiston annossäteily tulee olla yli 400 J/m² juomaveden desinfiointiin. Vesilaitoksen annos on noin 1000–1100 J/m² välillä. (Saastamoinen 2023; Nordic Water Dynasand Products AB 2018.) UV-laitteiston toimivuutta tarkkailee intensiteettianturi, joka havaitsee tehon laskeminen ja aiheuttaa hälytyksen Siemens automaatioon. Hälytyksessä tulee tarkastaa lamput sekä intensiteettianturin puhtaus ja näiden eheys. Prosessi ei keskeydy, vaikka UV-desinfiointi olisi hetkellisesti poissa käytöstä. Tästä syystä prosessissa käytetään myös suojakloorausta. (Saastamoinen 2023)

Kloorilisäyksen jälkeen vesi ohjataan vesilaitoksen ylä- ja alasäiliöihin, joista vesi ohjautuu meijerin käyttöön. Ylä- ja alavesisäiliöt ovat 100m³ kokoisia betonirakenteisia altaita, joiden pinta on käsitelty vedenpitäväksi. Ylä- ja alasäiliöiltä lähtevässä vedessä on jatkuvatoiminen kloorimittaus, joka säätelee vesilaitoksella vesivirtaan lisättävän hypokloriitin määrää. (Saastamoinen 2023.) Klooripitoisuus laimenee vesilaitokselta lähtiessä ja varmistaakseen, että desinfioivaa vaikutusta riittää koko jakeluverkostoon jäännöskloorin mittausta tehdään tehtaalla viikoittain sisäisellä titrausmenetelmällä.

5 Tutkimusmenetelmät

5.1 Mikrobiologiset ja kemialliset menetelmät

Valio Oy Äänekosken tehtaan pintavesilaitoksen talousvettä käytetään elintarviketeollisuuden prosessissa ja veden laadun heikentyessä on suuri riski, että tämä heikentää myös valmistettavan elintarvikkeen laatua ja vaarantaa elintarviketurvallisuutta. Tutkimuksella haluttiin kehittää vesilaitoksen prosessia huomioimalla käytettävän veden vaikutukset elintarviketeollisuuden prosessiin. Tutkimuksen tavoitteena oli parantaa talousveden laatua vähentämällä veden suojakloorauksen pitoisuutta sekä määrittää aktiivihilisuodattimen vaihtoväli kapasiteettiin perustuen.

Opinnäytetyössä veden mittauskohteet olivat mikrobiologisia ja kemiallisia arvioitavia ominaisuuksia. Vedestä tutkittiin tehtaan omassa laboratoriossa vapaa kloori, pH ja koliformiset bakteerit. Kloorinmittauksessa tutkimuksen menetelminä käytettiin jäännöskloorimittausta, joka oli tehtaalla veden laadunvalvonta-analyysina ollut jo aiemmin ja oli tehtaalla standardoitu mittausmenettely. Veden laatua ja suodattimien puhdistustehokkuutta mitattiin vesilaitoksella COD-, TOC- ja sameusmittauksilla.

Mittausaika TOC- ja COD- mittauksilla oli syksy 2022. Suojakloorauksen pitoisuuden laskeminen siirtyi syksylle 2022, koska tehdasalueen vesiverkostolle tehtiin kesän 2022 aikana runkoputkistomuutoksia ja tämän yhteydessä ei haluttu lähteä muuttamaan talousveden suojaklooraustasoja. Runkoputkiston ja suojakloorauksen yhtäaikainen muutos olisi voinut aiheuttaa verkostovedelle mikrobiologisen riskin, koska käytössä ei ollut pilottiversioita ja muutokset tehtiin suoraan prosessiarvoihin.

5.2 TOC ja COD mittaus

TOC-pitoisuus kuvaa orgaanisten ja kuolleiden humusaineiden määrää vedessä. TOC-pitoisuuteen luetaan myös kaikki hiiltä sisältävät yhdisteet, josta syystä sitä käytetään usein veden laadun indikaattorina. Suomessa TOC-pitoisuudelle ei ole asetettu enimmäispitoisuusrajaa, mutta tavoitearvo hyvälle talousvedelle on alle 4 mg/l (Talousvesiasetuksen soveltamisohje 2020). Tässä opinnäytetyössä orgaanisen hiilen pitoisuus analysoitiin raakavedestä sekä ennen ja jälkeen aktiivihilisuodattinta ennen kloorilisäystä.

Hapettavuudella COD (Chemical oxygen demand) mitataan talousveden orgaanisen aineksen määrää. Analysointi perustuu kaliumpermanganaatin KMnO_4 kykyyn hapettaa kemiallisesti orgaanista ainesta. (Talousvesiasetuksen soveltamisohje, 2020). Raakavedessä permanganaattiluku KMnO_4 kuvaa saostumisen toimivuutta ja vedessä olevan humuksen määrää. Suositus KMnO_4 -luvulle on alle 12 mg/l ja enimmäispitoisuus 20 mg/l. Muuntamalla COD arvot kertoimella 0,256 saadaan suositukseksi $\text{CODMn} = 3,0 \text{ mg O}_2/\text{l}$ ja enimmäispitoisuudeksi $5,1 \text{ mg O}_2/\text{l}$ (Oravainen 1999). Kemiallista hapenkulutusta analysoitiin raakavedestä sekä ennen ja jälkeen aktiivihiihluodattinta ennen kloorilisäystä.

TOC- ja COD-määritykset tehtiin Spectroquant[®] spektrofotometrillä. TOC- määrityksen mittausalue oli 5,0–80,0 mg/ml ja COD-määrityksen mittausalue oli 4,0–40,0 mg/ml. Mittausalueet määritettiin aikaisempien vuosien valvontaohjelman mukaisten tulosten perusteella. Molemmissa analyyseissa mitta-alueet olivat riittävät toteutettuihin määrityksiin. (Talousvesiasetuksen soveltamisohje 2020).

TOC -ja COD-määritykset suorittivat tämän opinnäytetyön tekijä ja sameusmittaukset olivat vesilaitoksen automaation WIN-CC valvomopäätteeltä. Tulosten varmentamiseksi TOC- ja COD- rinnakkaismäärityksiä teetettiin myös ulkopuolisella akkreditoidulla Eurofins Oy laboratorion. TOC-, COD- ja sameusmittauksien tuloksia verrattiin keskenään ja tehtiin päätelmiä menetelmän soveltuvuudesta aktiivihiihluodattimen vaihtovälin määrittämiseen.



Kuvio 9. TOC- ja COD- spektrofotometriputket sekä vesinäytteet (raakavesi, hiekkasuodatettu vesi ja aktiivihiilisuodatettu vesi).

5.3 Sameuden mittaus

Vedenpuhdistuksen tehokkuutta mitattiin vesilaitoksella jatkuvatoimisella sameusmittauksella. Sameusmittaus perustuu valon intensiteetin muutosmittaukseen. Vesistöissä on luonnostaan sameutta, joka voi olla peräisin maaperän saviaineksista, orgaanisista lähteistä tai levistä. Veden puhdistuksen mittausta ja partikkelien määrän arviointia varten yleisin mittari on vedensameuden mittaus. Juusela (Arola, Arvola, Huttula, Juusola, Kotamäki, Kotilainen, Lindfors, Mäkinen, Näykki, Sundberg, Tattari, Thessler 2012) on todennut jatkuvatoimisen sameusmittauksen artikkelissaan, että ”Sameus on nesteen optisen ominaisuuden suure, joka perustuu näytteen sisältämien hiukkasten aiheuttamaan valonsirontaan. Sameusarvo on riippuvainen näytteessä olevien hiukkasten eli kiintoaineen pitoisuudesta.”

Sameustulos ilmoitetaan lukuna ja tämä ei ole määrällinen arvo. Jatkuvatoimisissa sameusmittauksissa pyritäänkin mittaamaan laadullisia tekijöitä eli kiintoaineen ja ravinteiden muuttujia. On todettu, että kiintoaineen sekä ravinteiden välillä on korrelaatio sameuteen. (Arola ym. 2012) Partikkelien määrää vedestä ilmoitetaan sameusluvulla, jonka yksikkö on NTU (nephelometric turbidity). Talousvesisasetuksen mukaisesti talousveden sameus tulee olla alle 1 NTU, huomiona kuitenkin on, että poikkeavien tulosten syy tulee kuitenkin selvittää. (Talousvesiasetus 461/2000, 2000)

5.4 Jäännöskloorin mittaus

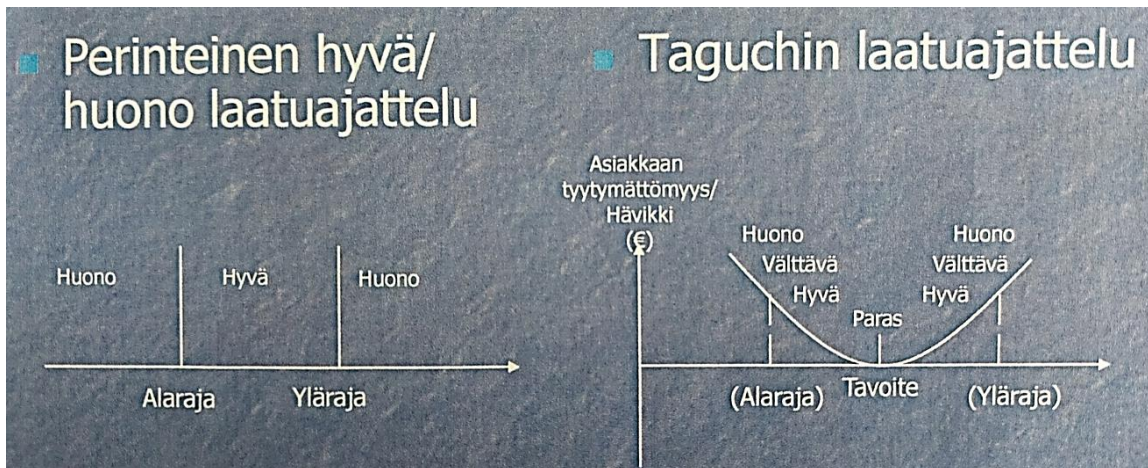
Suojaklooraustason määrittämisessä verrattiin jäännösklooripitoisuuksia ja mikrobiologisia tuloksia. Jäännöskloorin mittaukset suoritti tehtaan omavalvontalaboratorion laboratoriohenkilöstö. Suojakloorauksen muutokset tehtiin jatkuvatoimiseen prosessiin tulosten perusteella. Muutokset olivat hienovaraisia, koska käytössä ei ollut pilottiprosessia vaan muutoksilla oli suora vaikutus talousveden laatuun. Näiden tulosten perusteella opinnäytetyössä laadittiin suositukset uusille talousveden spesifikaatorajoille.

Klooripitoisuutta analysoitiin titraamalla vapaan kloorin pitoisuus talousvedestä. Talousvesiasetuksessa ei ole suosituksia jäännöskloorille, mutta ohjeistus on olemassa tautia aiheuttavien mikrobien tuhoamiseen tarvittavaan jäännösklooriin. Taulukossa 1 on esitetty, että jatkuvatoimisen vesilaitoksen suojakloorauksen suositus tautia aiheuttavien mikrobien tuhoamiseksi tulee olla alle 0,5 mg/l.

5.5 Tilastolliset menetelmät

Aktiivihilisuodattimen ja suojausklooritason määrittämisessä käytettiin Minitab -ohjelmaa ja excel laskentatyökaluja tilastollisten tulosten analysoinnissa.

Perinteisesti laatuajattelu on hyvän ja huonon välissä olevaa toleranssijattelua (kuvio 10). Loppu-tulos voi olla yhtä laadukas toleranssin molemmilla reunoilla, kunhan tulos pysyy rajojen sisällä. Perinteisen lisäksi on olemassa mm. Taguchin laatuajattelu, joka poikkeaa perinteisestä ajattelusta siten, että laatu huononee välittömästi, kun tulos poistuu toleranssialueen keskeltä (Karjalainen 2008).



Kuvio 10. Perinteinen ja Taguchin laatuajattelu (Karjalainen 2008)

Tilastolliset menetelmät opinnäytetyössä ovat normaalijakauma ja tästä johdettujen standardipoikkeamien analyysit. Standardipoikkeamasta käytetään nimitystä keskihajonta, jonka symboli on sigma (σ). Mittaustulosten ollessa normaalisti jakautuneena voidaan arvojen jakaantumista kuvata 3 sigman säännöllä keskihajonnan etäisyydellä tulosten keskiarvosta yhden, kahden ja kolmen keskihajonnan mukaisesti.

+/- 1 σ :n sisälle sijoittuu tuloksista 68,26 % kaikista mittatuloksista

+/- 2 σ :n sisälle sijoittuu tuloksista 95,46 % kaikista mittatuloksista

+/- 3 σ :n sisälle sijoittuu tuloksista 99,73 % kaikista mittatuloksista

TOC, COD ja kloorimittauksessa käytetään keskiarvolaskentaan perustuvaa valvontakorttia. Tällä laskennalla saadaan selville prosessin suorituskyky, jonka muutokseen vaikuttaa prosessin erityisyyt. Tällaista valvontakorttia voidaan soveltaa prosessin valvontakortiksi, kun erityisyyt ovat selvitetty. Näissä mittauksissa prosessirajat ovat laskettu 3 sigman säännöllä. (Kume 1989; Karjalainen 2008)

$$\text{Keskiarvo (Mean)} \pm (\sigma * \text{keskihajonta}) = \text{prosessin ylä- ja alaraja}$$

Sameusmittauksien mittausmäärä on laaja, josta syystä laskennassa on käytetty keskiarvoon ja vaihteluväliin perustuvaa laskentaa, joka ottaa huomioon myös näytelmäärän. Tämä laskentatapa antaa tarkempaa tietoa kokonaisprosessista (Kume 1989). Sameusmittauksen prosessin ylä- ja alarajat ovat laskettu alla olevalla kaavalla, jossa n on mittausten lukumäärä ja z on 2, joka tarkoittaa 95 % luottamustasoa. 95 %:in luottamustasolla saadaan lyhennettyä luottamusväliä ja tulosten arviointi tarkentuu (Broberg, Laakkonen, Tähtinen 2020).

$$\text{Keskiarvo (Mean)} \pm \left(z * \frac{\text{keskihajonta}}{\sqrt{n}} \right) = \text{prosessin ylä- ja alaraja}$$

6 Tulokset

6.1 Aktiivihiihluodattimen vaihtovälin määrittys

Aktiivihiihluen ominaisuuksien vuoksi suodatinta ei voida elvyttää ja tämä pitää vaihtaa kokonaan uuteen, kun vaihtotarve on. Aktiivihiihluodattimen vaihtoväli määrittys suodatattimen kyllääntyessä, eli kapasiteetin täyttyessä. Aktiivihiihluen kyllääntyminen mitattiin tutkimuksessa ennen aktiivihiihluodattusta sekä tämän jälkeen ja tutkittiin näiden kahden mittapisteen välistä eroavaisuutta. Tutkimuksessa tehtiin mittaukset TOC, COD ja sameusmittauksilla. Aktiivihiihluen vaihto on vesilaitokselle kallis investointi, josta syystä vaihtoväli haluttiin määrittää kapasiteettiin perustuvaksi.

Mittauksia tehtiin vesilaitoksella 17.6.2022 – 16.4.2023 ajalla. Mittausajalla tarkkailtiin raakaveden humuspitoisuuden muutoksia sekä kuinka nämä muutokset vaikuttavat suodattimien tehokkuuteen. Näytteenottotiheys oli TOC ja COD mittauksilla kerran viikossa, koska prosessissa tapahtuvat muutokset eivät tapahdu nopeasti ja tuloksia haluttiin vuodenaikavaihteluiden vuoksi erityisesti pitkältä aikaväliltä. Sameusmittaus oli vesilaitoksella jatkuvatoimisena mittauksena ennen aktiivihiihluä ja aktiivihiihluen jälkeen.

6.1.1 TOC ja COD määrittys

TOC ja COD määrittysissä mittauspisteet olivat ajalla 17.6- 12.12.2022 (taulukko 3 ja 4) pintaveden raakavesi, pintavesi aktiivihiihluen jälkeen ja harvempana näytteenottopisteinä pintavesi tehtaän talousvesihanasta (taulukossa 3 YK:n pintavesi).

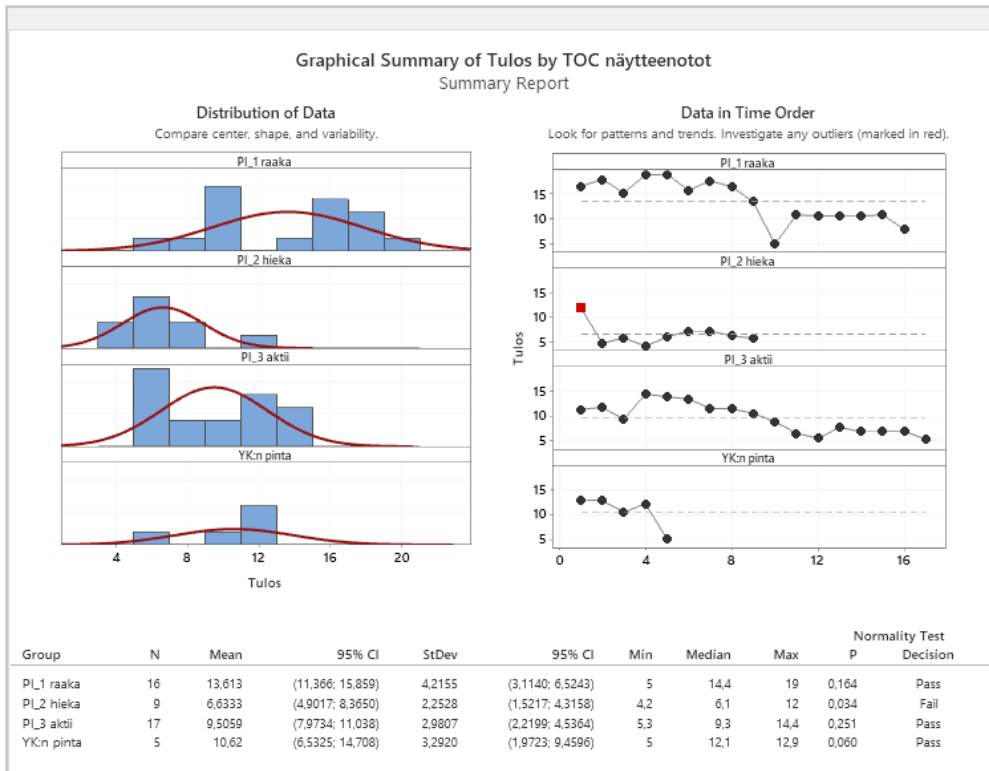
Taulukko 3. TOC ja COD tulosten näytemäärät ja keskiarvotulokset ajalla 17.6-15.9.2022

Tulokset ajalla 17.6-15.9.2022 n = näytemäärä ka = näytetulosten keskiarvo	Pintavesi raakavesi	Pintavesi aktiivihii- suodattimen jälkeen	YK:n pintavesi
COD mg/l (114560)	n=8 ka= 22,4 mg/l	n=9 ka= 8,0 mg/l	n=5 ka= 10,5 mg/l
TOC mg/l (114878)	n=8 ka= 13,6 mg/l	n=8 ka= 9,5 mg/l	n=5 ka= 10,6 mg/l

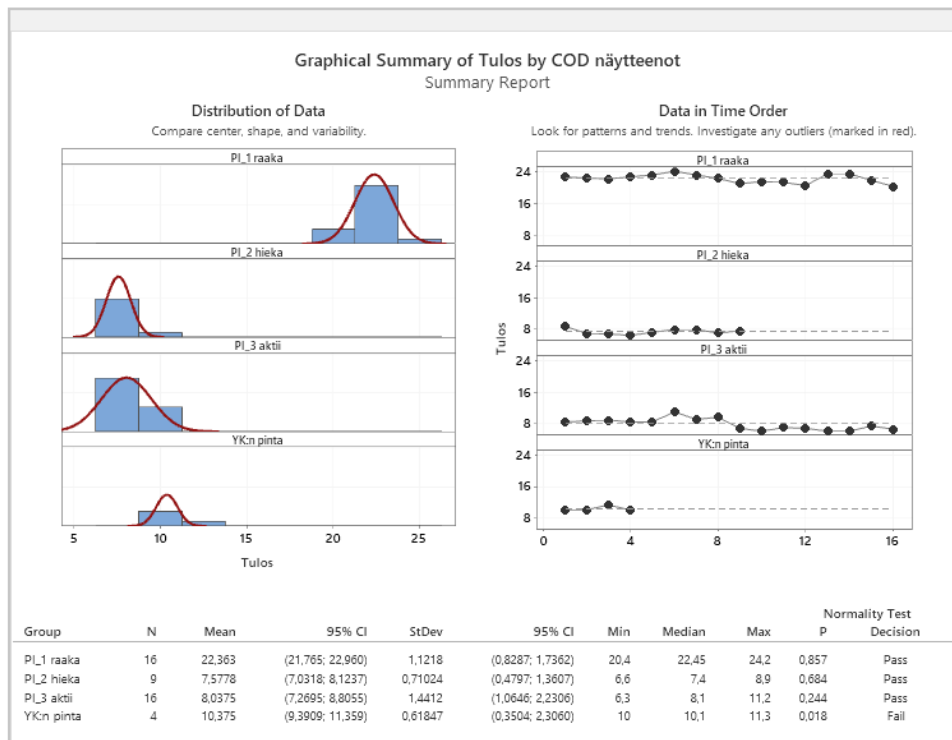
Taulukko 4. TOC ja COD tulosten näytemäärät ja keskiarvotulokset 4.10-12.12.2022

Tulokset ajalla 4.10-12.12.2022 n = näytemäärä ka = näytetulosten keskiarvo	Pintavesi raakavesi	Pintavesi hiekkasuodattimen jälkeen	Pintavesi aktiivihiiisuodattimen jälkeen
COD mg/l (114560)	n=8 ka= 21,8 mg/l	n=8 ka= 7,6 mg/l	n=8 ka= 6,8 mg/l
TOC mg/l (14878)	n=8 ka= 10,0 mg/l	n=9 ka= 6,6 mg/l	n=9 ka= 7,2 mg/l

Keitele-järven humuspitoisuus laskee talvikaudella ja tämä on nähtävissä myös kuvioissa 11 ja 12, joissa on esitetty TOC ja COD pitoisuuksien vuodenaikavaihtelut. Pintavesi 1 on raakaveden pitoisuudet, jotka ajan funktiona laskevat talvikautta kohti. Näytteenottopiste, pintavesi 2, on hiekkasuodattimen jälkeen ennen aktiivihiiisuodatinta ja pintavesi 3 aktiivihiiilen jälkeen. Molempien suodattimien kohdalla TOC ja COD pitoisuudet myötäilevät raakaveden pitoisuuksia ja trendi on laskeva ajan talvikaudella. Näytteessä pintavesi 2 on yksi TOC-tulos, joka on poikkeava. Tämän tuloksen erityisyys on todennäköisesti se, että näytteenoton aikana on ollut suodattimen pesuvaihe menossa ja näytteessä on ollut mukana isompia partikkeleita, jotka ovat vaikuttaneet spektrofotometrin tulokseen.



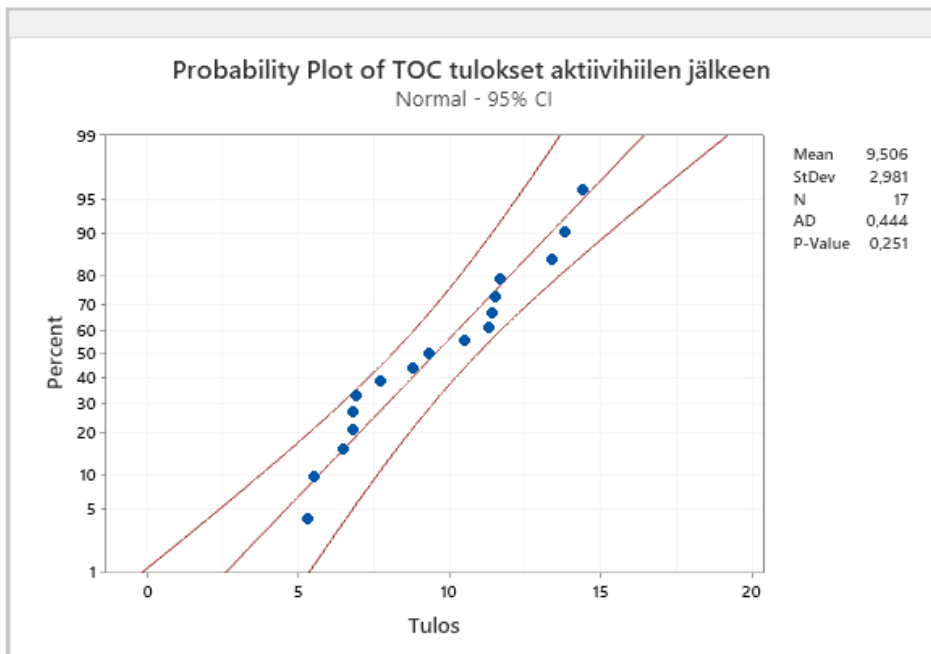
Kuvio 11. TOC- tulokset ajalla 17.6 – 12.12.2022



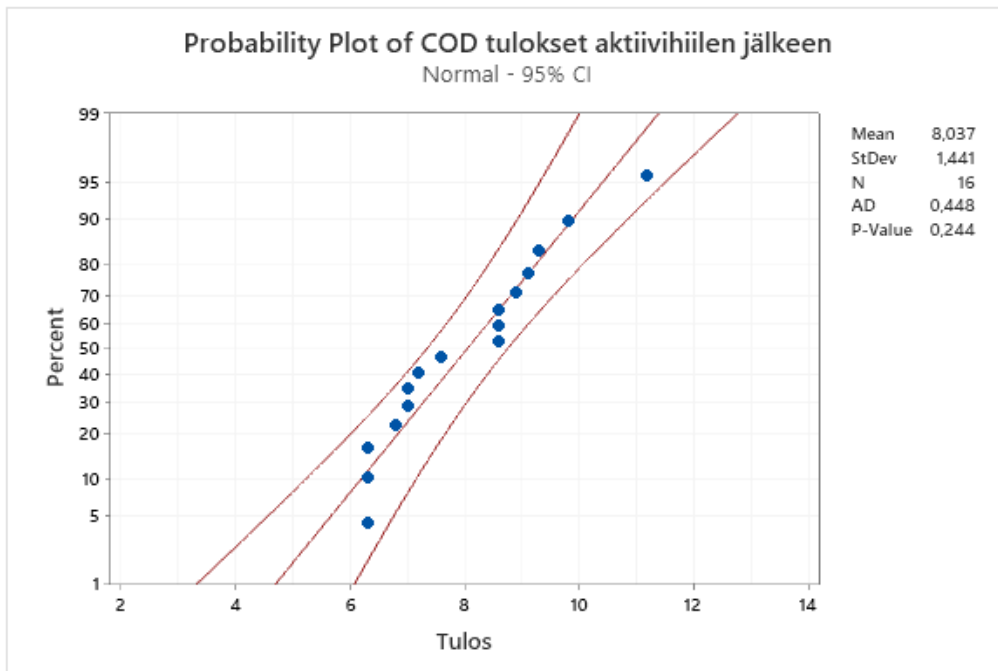
Kuvio 12. COD- tulokset ajalla 17.6 – 12.12.2022

Tarkasteltaessa aktiivihiihen kapasiteettia TOC näytetulosten minimin ja maksimin erotus vaihtelee aktiivihiihen jälkeen 5,3 – 14,4 mg/l (kuvio 11) ja COD tuloksilla 6,3-11,2 mg/l (kuvio 12) välillä. Vaihteluun vaikuttaa vuodenaika sekä näytteenoton ajankohta. Suodattimissa on säännölliset pesusekvenssit, jotka voivat aiheuttaa partikkeleiden tai hienojakoisen suodattimen päättymistä myös veteen. Kapasiteetin täyttymistä kuvaavia tuloksia on hyvä tarkastella myös näiden luonteen mukaisesti, jotta varmistetaan ovatko tulokset normaalijakautuneita. Kuviossa 13 ja 14 tulokset ovat tarkasteltu Minitabin todennäköisyys (probability plot) – kuvaajalla. Kuvaajassa tulokset ovat esitetty datapisteinä hajontansa mukaisesti. Tulokset seuraavat molemmissa määrittelyissä keskiviivaa, joten voidaan olettaa, että tulokset eivät poikkea normaalijakaumasta.

P-arvo vaihtelee 0–1 välillä ja tätä käytetään nollahypoteesin arvioinnissa. Tyypillisesti käytetään P-arvon rajana 5 % erehdysrajaa. TOC:n P-arvo 0,251 ja COD:n P-arvo 0,244 ovat suurempia, kuin 0,05. Tuloksia voidaan pitää tällöin normaalijakautuneina, tuloksissa ei ole poikkeavia erityisyyttä mukana ja tulokset ovat luotettavia.

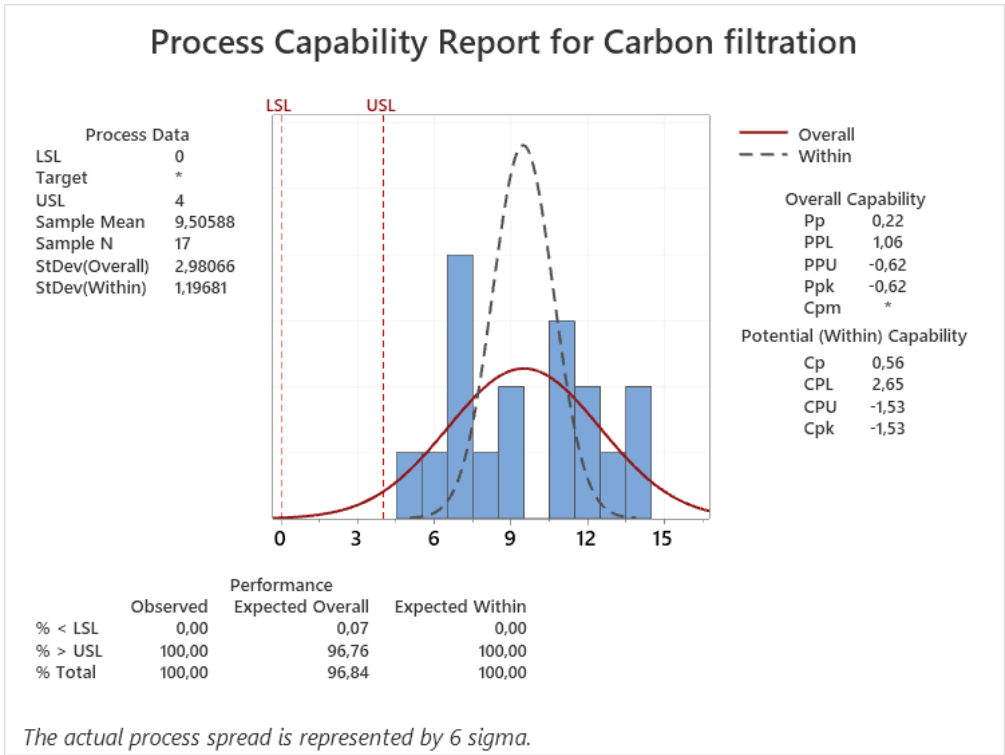


Kuvio 13. TOC pitoisuuksien todennäköisyyksien kuvaaja aktiivihiihensuodattimen jälkeen.

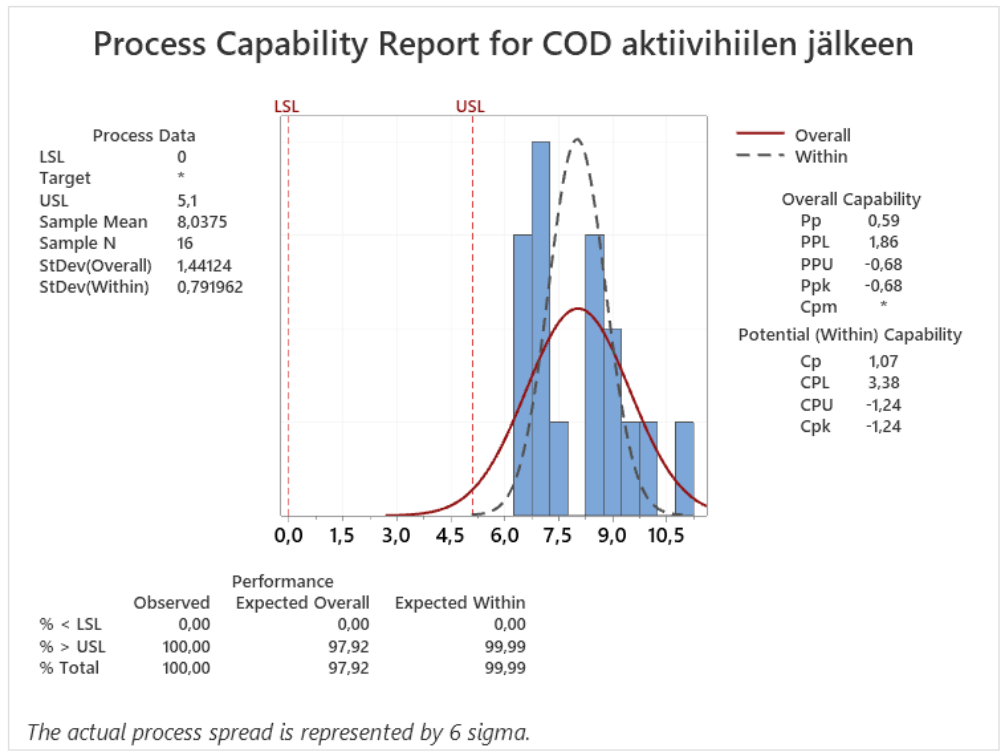


Kuvio 14. COD pitoisuuksien todennäköisyyksien kuvaaja aktiivihiilisuodattimen jälkeen.

Kuvioissa 15 ja 16 LSL (lower specification limit) tarkoittaa alempaa spesifikaatorajaa ja USL (upper specification limit) ylempää spesifikaatorajaa. Suorituskyvyn laskennassa on käytetty USL ja LSL rajoina talousvesiasetuksen mukaista TOC pitoisuuksien suositusta eli USL ylärajaa 4 mg/l ja COD pitoisuuksissa suositusta 5,1 mg/l. Kuvaajista on kuitenkin havaittavissa, että mittaustulokset eivät ole asetettujen raja-arvojen sisällä, koska analyysin mittaustarkkuus ottaa huomioon pienimmätkin partikkelit, jotka eivät kuitenkaan näy talousveden käyttöpäässä. Näin ollen talousvesiasetuksen raja-arvot eivät sovellu sisäiselle aktiivihiilen vaihtovälin määrittämiseen ja TOC ja COD mittauksille tulisi tällöin määrittää omat raja-arvot.



Kuvio 15. TOC- pitoisuuksien jakauma aktiivihillisuodattimen jälkeen.



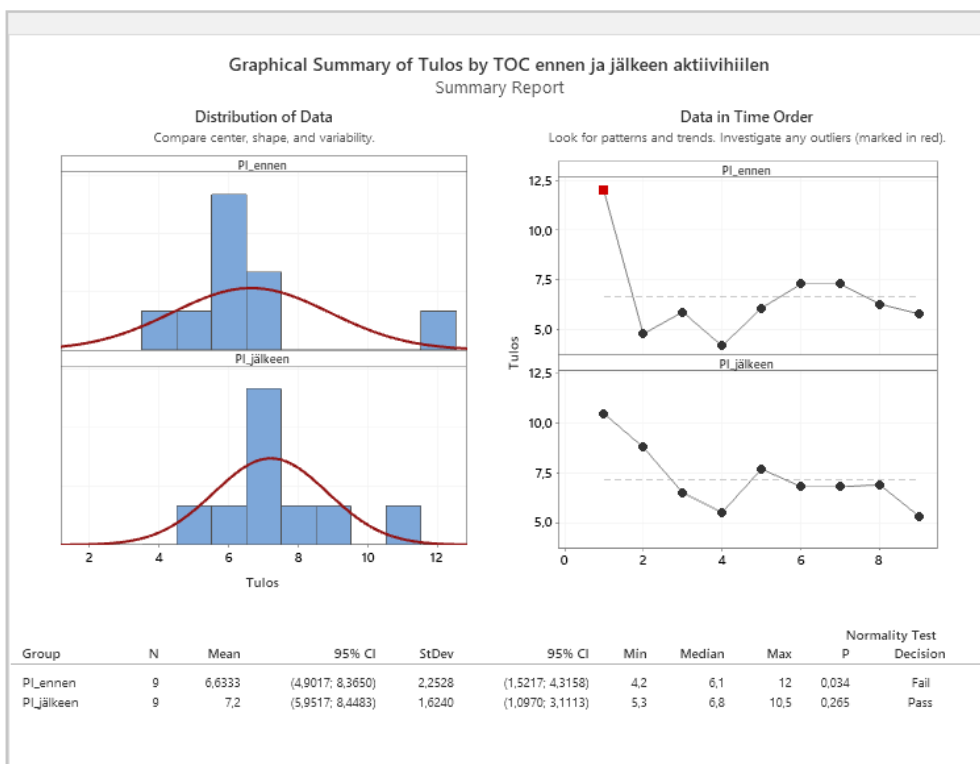
Kuvio 16. COD- pitoisuuksien jakauma aktiivihillisuodattimen jälkeen.

Taulukko 5. TOC ja COD ylärajat kolmen keskihajonnan mukaisesti ajalta 4.10-12.12.2022

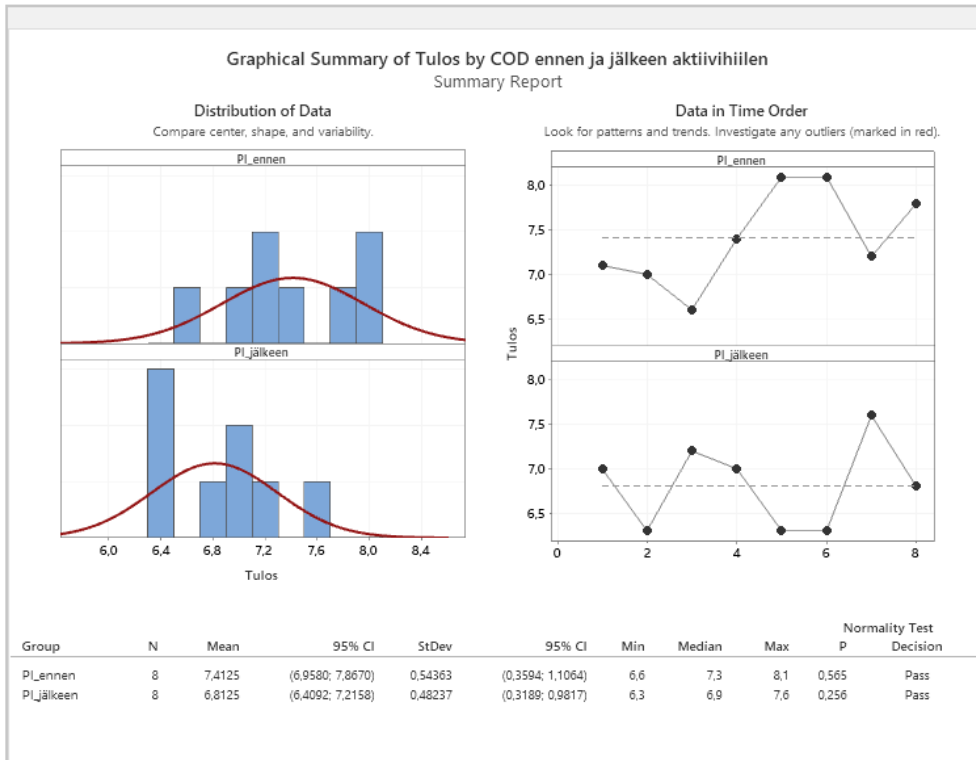
Aika 4.10-12.12.2022		N	Keskiarvo	Keskihajonta	Yläraja 1 σ	Yläraja 2 σ	Yläraja 3 σ
TOC mg/l (14878)	Ennen	9	6,63	2,25	8,89	11,14	13,39
TOC mg/l (14878)	Jälkeen	9	7,20	1,62	8,82	10,45	12,07
COD mg/l (114560)	Ennen	8	7,41	0,54	7,96	8,50	9,04
COD mg/l (114560)	Jälkeen	8	6,81	0,48	7,29	7,78	8,26

Sisäisen mittausmenettelyn raja-arvot voidaan määrittää vetailukelpoisista tuloksista, jotka ovat otettu samanaikaisesti ennen aktiivihiihtä ja tämän jälkeen (kuviot 17 ja 18, taulukko 5).

Analysoimalla ennen ja jälkeen tulosta voidaan määrittää raja-arvot aktiivihiihten vaihdolle. Raja-arvot suodattimen vaihdolle ovat määritetty kolmen sigman rajoilla. Kapasiteetin voidaan olettaa täyttyvän siinä vaiheessa, kun aktiivihiihten jälkeinen raja-arvo ylittää hiekan jälkeisen raja-arvon ja ylittää myös lasketun ylärajan. Tulokset ovat alle ylärajan, joka vahvistaa, että suodattimessa on kapasiteettia. Tutkimuksen suppean näytemäärän vuoksi on kuitenkin hyvä teettää rinnakkaisnäytteet akkreditoidussa laboratorioissa tulosten varmistamiseksi ennen suodattimen vaihtoa.



Kuvio 17. TOC- pitoisuudet ennen ja jälkeen aktiivihiihtisuodattimen



Kuvio 18. COD- pitoisuudet ennen ja jälkeen aktiivihiilisuodattimen

6.1.2 Sameusmittaukset

Tutkimuksen sameusmittaukset olivat jatkuvatoimista mittausta vesilaitoksella. Taulukossa 6 on erotettu 11–12/2022 ja 01–03/2023 ajanjaksot, koska vedenkäyttömäärät vaihtelevat erityisesti loppuvuoden aikana. Vesilaitos toimittaa vettä elintarviketeollisuuden käyttöön ja vedenkäyttömäärät kasvavat marraskuussa ja laskevat huomattavasti joulukuussa. Käyttömäärä johtuu elintarviketuotannon joulunajan sesonkivalmistuksesta. Loppuvuoden ajanjakso ei ole tällöin täysin verrannollinen tyypillisimpään veden käyttömäärään. Sameusmittaukset ennen aktiivihiiltä oli prosessiin kuuluva mittaus ja aktiivihiilen jälkeen oleva mittaus tehtiin koemittauksina tietyinä ajanjaksona. Aktiivihiilen jälkeiset mittaukset olivat lyhyemmältä ajanjaksolta, kuin ennen aktiivihiiltä, josta syystä myös tulosten keskihajonta on pienempi. Molemmissa mittauksissa mittausmäärä oli laaja, joka antaa kattavan ja luotettavan tuloksen prosessista.

Taulukko 6. Sameusmittaustulokset ennen aktiivihiilisuodatinta.

Aika	Mittausmäärä	Keskiarvo	Keskihajonta	Yläraja NTU
11/2022	2463327	0,196	0,350	0,20
12/2022	2642887	0,379	0,797	0,38
01/2023	2462879	0,231	0,347	0,23
02/2023	2462230	0,219	0,256	0,22
03/2023	2462547	0,207	0,168	0,21
Keskiarvo 11–12/2022	2553107	0,288	0,574	0,29
Keskiarvo 01–03/2023	2462552	0,219	0,257	0,22

Taulukko 7. Sameusmittaustulokset aktiivihiilisuodattimen jälkeen

Aika	Mittausmäärä	Keskiarvo	Keskihajonta	Yläraja NTU
4/2023	544667	0,131	0,035	0,13

Ennen aktiivihiiltä sameusmittausten keskiarvo on 0,288–0,219 NTU välillä (taulukko 6) ja yläraja on välillä 0,29–0,22 NTU. Aktiivihiilen jälkeisen sameusmittausten keskiarvo oli 04/2023 mittauksissa 0,13 NTU ja yläraja on 0,13 NTU. Aktiivihiilen jälkeinen sameusluvun ollessa suurempi merkitsee aktiivihiilen kapasiteetin täyttymistä. Aktiivihiilen jälkeinen tulos on pienempi, joka kuvastaa sitä, että aktiivihiilessä on edelleen puhdistuskapasiteettia. Verrattaessa suodattimien 0,13 NTU tulosta käyttöpisteen sameustulokseen 0,33 NTU (YK:n pintavesi taulukossa 8), on tulos yhteneväinen ja tämä vahvistaa, että sameusmittaus on verrannollinen akkreditoituun mittaukseen. Sameusmittauksen raja-arvo käyttöpisteessä tulee olla alle 1 NTU.

6.1.3 Aktiivihiilien vaihtovälin tutkimuksen johtopäätökset

Valvontaohjelman analyysit ovat akkreditoitun laboratorion määrittämiä, joiden tuloksia verrattiin opinnäytetyössä käytettyihin menettelyiden tuloksiin ja arvioitiin menettelyn soveltuvuutta vaihtovälin määrittämiseen. Valvontaohjelman (taulukko 8) mukaisiin näytteisiin lisättiin TOC ja COD parametrit marraskuun 2022 näytteenoton yhteyteen varmistamaan tulosten oikeellisuutta. Valvontaohjelman muita näytetuloksia arvioitiin vuoden 2022 tulosten keskiarvona.

Taulukko 8. Vuoden 2022 valvontaohjelman mukaisten TOC, COD ja sameustulosten näytemäärät ja keskiarvotulokset vuonna 2022.

Valvontaohjelman tuloksia vuonna 2022 n = näytemäärä ka = näytetulosten keskiarvo	Pintavesi raakavesi	Pintavesi hiekka-suodattimen jälkeen	Pintavesi aktiivihiihisiuodattimen jälkeen	YK:n pintavesi
Permanganaattiluku KMnO ₄	n= 4 ka= 31	-	-	-
Sameus (NTU)	n= 4 ka= 1,03	-	-	n= 1 ka= 0,33
Rauta µg/l	n= 3 ka= 101,7			n= 1 ka= 38,0
TOC mg/l	-	n= 1 ka= 2,7	n= 1 ka= 2,5	n= 1 ka= 3,20
COD mg/l	-	n= 1 ka= 1,7	n= 1 ka= 1,6	n= 2 ka= 1,45

Taulukossa 3 ja 4 raakaveden COD ja TOC tulokset ja taulukossa 8 permanganaattiluku KMnO₄ kertovat raakaveden humuspitoisuudesta. Valvontaohjelman tulosten vuoden 2022 KMnO₄ keskiarvo Keitele -järven puhtaudelle on 31 mg/l, joka näkyy vedessä värierona ja epäpuhtauksina. Raakavedelle ei ole asetettu TOC ja COD raja-arvoja, mutta permanganaattiluvun ylittäessä 12 mg/l, vedessä tapahtuu värimuutosta (Talousvesiasetus 461/2000). Raakavedelle ei ole suositusta permanganaattiluvulle, mutta puhdistetulle talousvedelle KMnO₄ suositus on alle 20 mg/l, joka on muunnettuna COD raja-arvoksi on 5,1 mg O₂/l. TOC pitoisuuden raja-arvo on alle 4 mg/ml. Tehaan talousveden (taulukko 8) TOC tulos on 3,2 mg/l (YK:n pintavesi), joka täyttää talousvesiasetuksen suositukset alle 4 mg/l.

Rautaa käytetään pintavesilaitoksella raakaveden saostuskemikaalina. Talousveden raudan laatu tavoite on enintään 200 µg/l (Talousvesiasetuksen soveltamisohje, 2020). Liika rautajäämä lyhentää aktiivihiihen käyttöikä, jos rautaa sitoutuu liiaksi hiilen pintaan. Raudan liika-annostusta voi tapahtua silloin, jos raakaveden humuspitoisuus on hyvin alhainen ja raudalla ei ole epäpuhtauksia mitä saostaa. Taulukon 7 rautapitoisuus on 0,38 µg/l, joka on selvästi alle talousvesisuosituksen.

Akkreditoidussa laboratorioissa määritetyt suodattimien jälkeiset TOC ja COD analyysit vahvistavat, että tutkimuksessa tehdyt sisäiset TOC ja COD analyysit tunnistavat näytteistä hyvin pienetkin partikkelit ja analyysin tulokset ovat korkeammat suhteessa akkreditoituihin tuloksiin. Korkeampien

tulosten taustalla on hyvin todennäköisesti pienten suodatinainesten ja -partikkeleiden päätyminen veden joukkoon. Pienet partikkelit eivät kuitenkaan näy loppulaadussa, koska suodatinten jälkeen on vielä puhdasvesiallas sekä pussisuodatus ennen tehtaalla käyttöönottoa.

Veden hygieenisen laadun varmistamiseksi vedessä käytetään suojakloorausta, joka tappaa orgaanisia mikrobeja. Riippuen vedenpuhdistusprosessista, kuolleet mikrobit poistetaan vedestä mekaanisesti tai nämä jäävät käyttöveteen partikkeleiksi. Äänekosken tehtaalla suojaklooraus kattaa koko käyttöverkoston ja jos putkistoissa on orgaanisia aineksia, suojaklooraus tuhoaa näiden proteiinirakenteen ja veteen jää näiden mikrobien partikkeleita. Humuksen määrästä ja kuolleiden orgaanisten määrästä indikoi TOC-tulos. TOC-tulosten nousu suodattimien jälkeen YK:n pintavedessä (3,2 mg/ml taulukossa 7), viittaa putkistoista irtoaviin partikkeleihin tai kuolleisiin orgaanisiin partikkeleihin, vaikka sameustulokset ovat olleet raja-arvoissa (alle 1 NTU). Putkistojen partikkelit voivat irrota putkistoista veden mukana painevaihteluiden tai paineiskujen myötä (Kukka, Pelto-Huikko, Pursiainen, Siponen, Ikonen, Kusnetsov, Miettinen 2015). Tehtaalla painevaihteluita tulee käyttövesiverkostoon silloin, kun vesiverkostoon tehdään huoltotöitä tai verkostoon vaihdetaan pintavesi tai pohjavesi käyttöön.

Tehtaan käyttövesiverkostoa on osittain uusittu, mutta YK:n näytteenottopisteessä on käytössä myös vanhempaa putkistoa, joka selittäisi korkeamman TOC-tuloksen (3,20 mg/l) verrattuna aktiivihiihluodattimien jälkeisiin TOC-tulokseen 2,5 mg/l. Opinnäytetyön tavoitteena ei ollut tarkastella käyttöverkoston kuntoa, mutta TOC-tulos tukee jakotoimenpide ehdotusta, että käyttövesiverkoston kuntoa tulisi tarkastaa etenkin niiltä osin, missä vettä käytetään elintarvikkeiden valmistuksessa tai juomavetenä. TOC-pitoisuuksien määrä kuluttaa suojakloorausta enemmän ja voi aiheuttaa vedessä laadullisia heikentymisiä, kuten veden maun ja hajun muutoksia. Tutkimus vahvistaa, että TOC- mittauksia tulee seurata jatkossakin valvontaohjelman analyysseissa, jotta varmistetaan ettei talousvesiasetuksen TOC suositus 4 mg/ml ylity käyttöpisteessä.

Suodattimien jälkeiset TOC-, COD-, sameus- ja rautatulokset vahvistavat, että suodattimissa on kapasiteettia tuottamaan talousvesiasetuksen mukaista talousvettä. Vuodenaikavaihteluiden epäpuhtauksien määrä ja vedenmäärän käyttöaste vaikuttavat oleellisesti aktiivihiihluodattimen kapasiteettiin. Tutkimuksessa käytetyt partikkeleiden määrään perustuvat mittausmenettelyt TOC ja

COD määrytykset havaittiin olevan liian tarkkoja aktiivihiilen vaihtovälin määrittämiseen ja eivätkä otannan vuoksi huomioi riittävän kattavasti vuodenaikojen vaihteluita.

Suodattimien sameustulokset vahvistavat, että aktiivihiilessä on kapasiteettia puhdistamaan hiekan jälkeistä vettä ja hiilen vaihtoväli ei ole vielä ajankohtainen. Tutkimuksessa osoitettiin, että aktiivihiilen vaihtoväliksi ja sameusmittauksen ohjausrajaksi ennen aktiivihiilisuodatinta 0,22 NTU ja aktiivihiilisuodattimen jälkeen 0,13 NTU. Ylärajan ylittyessä aktiivihiilen kapasiteetti on täyttynyt ja tämä tulee vaihtaa uuteen. Jatkuvatoiminen sameusmittaus ennen aktiivihiiltä ja tämän jälkeen mittaa kapasiteetin täyttymistä tarkemmin sekä toimii ohjaavampana mittarina saostusaineen lisäykselle vuodenaikojen ja tuotannossa käytettävän vedenmäärän mukaisesti. Sameusmittauksen etuna on myös se, että tämä tunnistaa orgaanisen aineen pitoisuuksien lisäksi myös vedestä rautapitoisuudet, jolloin sameusmittaus toimii myös saostusaineen annostelun ohjaavana mittauksena. Asettamalla ohjausrajojen mukaiset hälytykset Siemens automaatioon, saadaan suodattimen vaihtoväli määritettyä aktiivihiilen kapasiteetin mukaisesti.

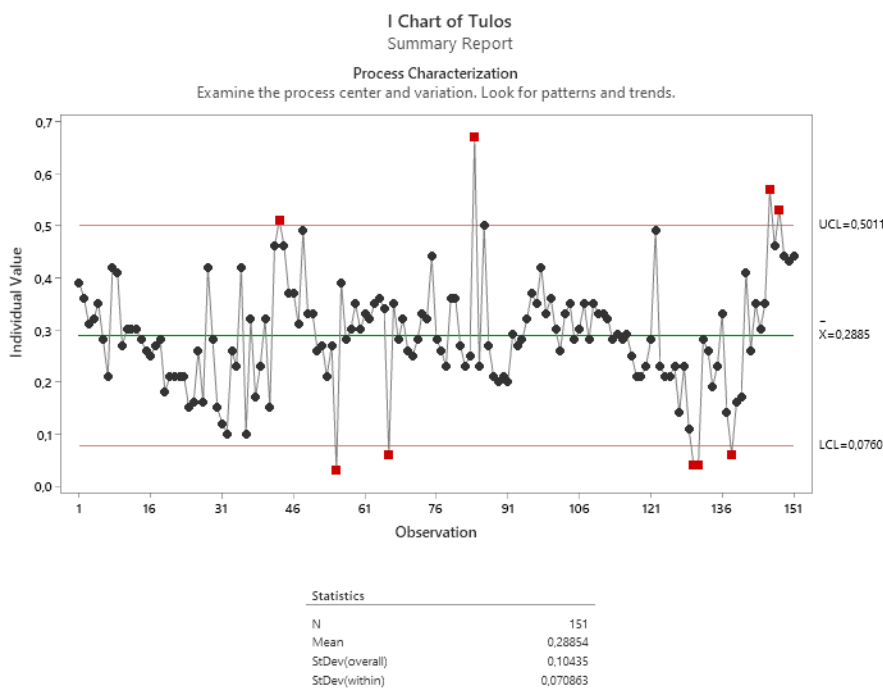
6.2 Suojakloorauksen tason määrittäminen

Klooripitoisuuksien spesifikaatorajat määritettiin jäännöskloorimittauksilla tehtaalla käytettävästä pintavedestä. Tutkimuksen tavoitteena oli vähentää jäännösklooripitoisuutta talousvedestä sekä laskea jäännöskloorille uudet spesifikaatorajat toteumaan perustuen. Liiallisen kloorin käytöllä on elintarvikelaatua heikentäviä vaikutuksia sekä aiheuttaa yhdessä humuksen kanssa trihalomeitaaneja. Klooripitoisuuden laskemisen yhteydessä seurattiin mikrobiologisten määrytysten tuloksia, ettei klooripitoisuuden laskeminen vaaranna talousveden hygieenisyyttä.

Näytteenottopiste määrytyksissä oli YK:n pintavesi PI7. Talousveden jäännösklooripitoisuuden tavoitteeksi oli määritetty 0,36 mg/l, alaspesifikaatorajaksi (lower spesification limit, LSL) 0,12 mg/l ja yläspesifikaatorajaksi (upper spesification limit, USL) 0,6 mg/l. Uusi pintavesilaitos on otettu käyttöön vuonna 2018 ja tämän jälkeen tehtaalle on tehty putkistomuutoksia, jotka ovat parantaneet talousveden laatua sekä vähentäneet suojakloorauksen tarvetta. Muutosten vaikutuksia ei ole kuitenkaan päivitetty laatusuunnitelman raja-arvoihin.

Kloorimittaukset laskettiin tilastollisesti ennen kloorinannostelun muutosta ja muutoksen jälkeen. Ennen muutosta oleva tilastollinen analysointi tehtiin ajalta 1.1.2021 – 21.11.2022. Näytemäärä

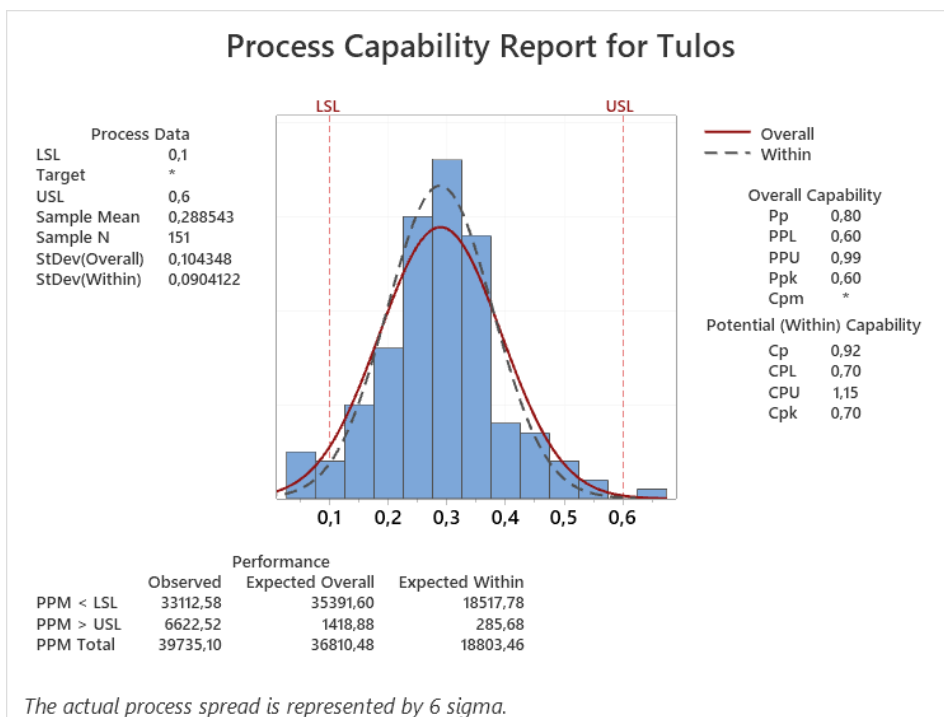
tällä ajalla oli 151 kpl. Ohjauskortilla (kuvio 19) on punaisilla pisteillä erityissyitä, jotka ovat spesifikaation alittavia tuloksia. Tulokset ovat tehtaalla tehtyjä runkoputkistomuutoksen yhteydessä tehtyjä prosessisäätöjä ennen veden käyttöä tehtaalla ja näitä ei ole huomioitu tilastollisessa laskennassa. Tilastollisesti laskettuna jäännöskloorin keskiarvo ennen muutosta (kuvio 19) oli 0,2885 mg/l, UCL 0,5011 mg/l ja LCL 0,0760 mg/l. Tulokset ovat pienemmät kuin laatusuunnitelmaan asetetut ala- ja ylälaaturajat 0,12 mg/l ja 0,6 mg/l. Toteutuneilla tuloksilla ei ole kuitenkaan ole ollut vaikutusta veden hygieenisyyteen ja tilastollinen analysointi vahvistaa, että laaturajojen laskemisessa on potentiaalia.



Kuvio 19. Klooripitoisuuksien ohjauskortti 1.1.2021-21.11.2022

Kuviossa 20 on esitetty pitkän aikavälin "Overall Capability" ja lyhyen aikavälin "Within Capability" suorituskky indeksit, jotka kertovat tulosten etäisyyksistä asetettuihin LSL ja USL arvoihin. Ppk (Process Performance Index) arvo on pitkän aikavälin prosessin kokonaiskyvyn indeksi, jolla voidaan arvioida prosessin kokonaiskapasiteettia sekä mennyttä prosessisuoritusta. Yleensä korkeammat Ppk-arvot osoittavat tehokkaamman prosessin, kun taas pienemmät Ppk-arvot osoittavat, että prosessi saattaa tarvita parannusta. Yleisesti prosessin tavoitteeksi asetetaan arvo 1,67, mutta myös arvoa 1,33 pidetään yleisesti hyväksyttävänä. Prosessin Cpk:n ollessa 2, prosessin vaihtelevuus on tällöin 6 sigman mukainen. (Minitab® 20 Support 2021; Karjalainen 2008)

Cpk (Process Capability Index) näyttää lyhyellä aikavälillä prosessin suorituskkyä tulevaisuudessa, joka huomioi prosessin vaihtelevuuden suhteessa asetettuihin spesifikaatorajoihin. Cpk ilmaisee prosessin potentiaalin, jos prosessia parannetaan. (Minitab® 20 Support 2021; Karjalainen 2008.) Mittaustulosten Ppk oli 0,60, joka on pienempi kuin yleisesti oleva vertailuarvo 1,33. Vertailtaessa Ppk:n 0,6 ja Cpk:n 0,7 arvoja, ero on pieni, mutta osoittaa, että Cpk:n ollessa suurempi, prosessissa on potentiaalia parantaa. Ennen muutosta olevat tilastolliset tulokset vahvistavat, että talousvedelle asetetut laaturajat LSL 0,12 mg/l ja USL 0,6 mg/l olivat nykyprosessille liian leveät ja prosessissa oli potentiaalia parantaa.



Kuvio 20. Klooripitoisuuksien suorituskky ajalla 1.1.2021-21.11.2022

Taulukko 9. Suojakloorauksen rajat jäännöskloorimittauksilla ajalla 1.1.2021-21.11.2022

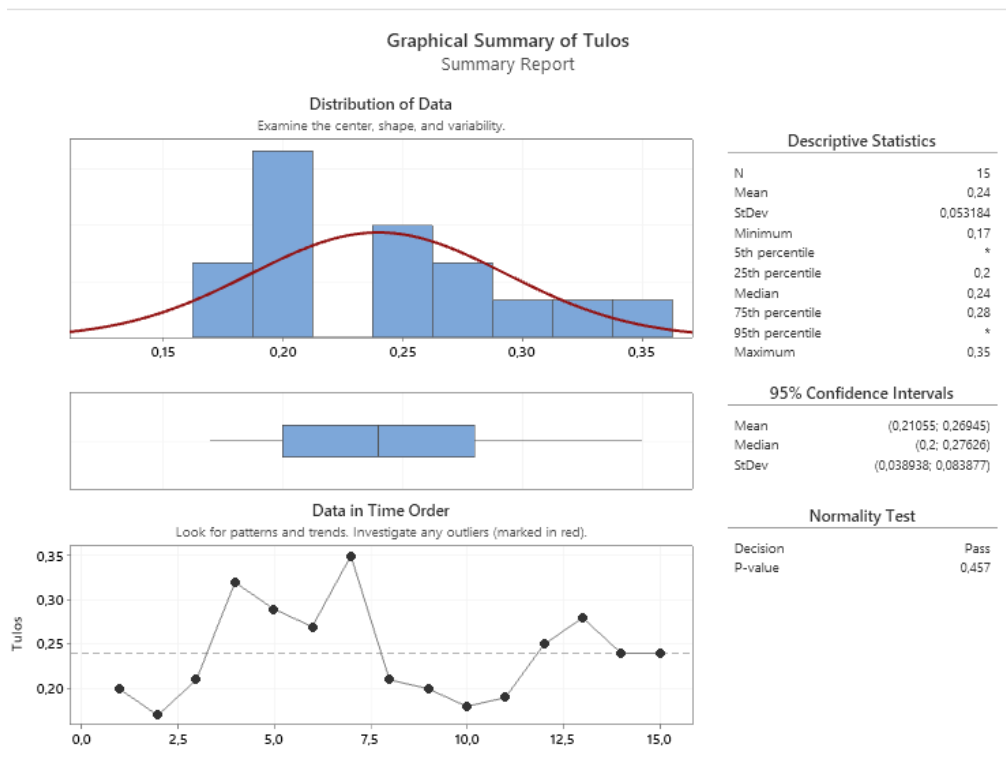
Keskiarvo	σ	Keskihajonta	Yläraja mg/ml	Alaraja mg/ml
0,28854	1	0,10435	0,39	0,18
0,28854	2	0,10435	0,50	0,08
0,28854	3	0,10435	0,60	-0,02

Ennen muutosta olevista tuloksista laskettiin vertailun vuoksi laaturajat 3 sigman säännöllä (taulukko 9). Jäännöskloorin yläspesifikaatoraja, 0,6 mg/ml, oli ennen muutosta 3 sigman mukainen,

mutta alaraja ei voi kuitenkaan olla negatiivinen, koska pintavesi vaatii suojakloorausta. Suojakloorauksen pitoisuutta laskettiin 28.11.2022 alkaen. Tavoitteena oli, että jäännöskloori käyttöpis- teessä olisi 0,2 mg/ml. Talousveden hygieenisyyden varmistamiseksi alaspesifikaatoraja pidettiin ennallaan 0,12 mg/ml. Veden talousvesilaatua valvottiin vedestä määritettävillä analyyseilla, jotka olivat heterotrofiset pesäkemäärät, koliformiset bakteerit ja veden pH (taulukko 10). Vedessä ei ollut mikrobiologisia poikkeamia ennen muutosta tai muutoksen jälkeen ja tulokset olivat puhtaat.

Taulukko 10. Veden mikrobiologiset ja pH-tulokset ajalla 1.1.2022-24.4.2023

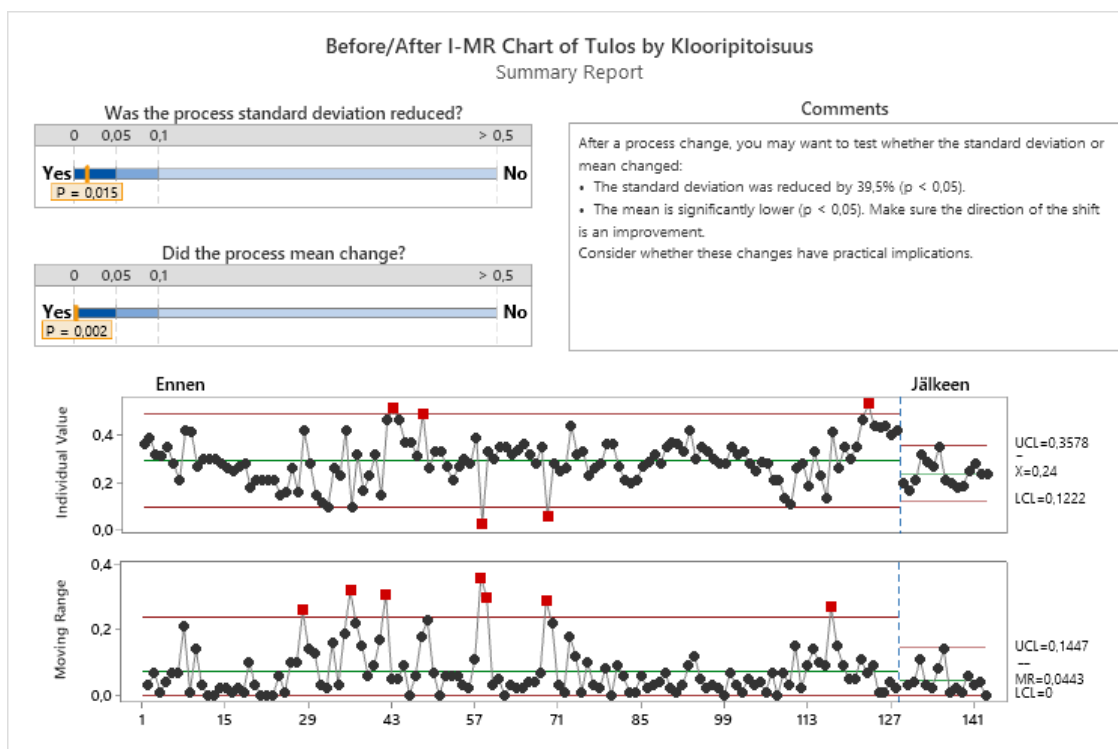
YK:n pintavesi Tulokset ajalla 1.1.2022 – 24.4.2023	Näytemäärä	Minimi	Maksimi	Keskiarvo
Heterotrofinen pesäkemäärä vedessä 22°C	71 kpl	0 pmy/ml	1 pmy/ml	0 pmy/ml
Koliformiset 37°C	72 kpl	0 pmy/ml	0 pmy/ml	0 pmy/ml
pH	46 kpl	6,70	7,74	7,15



Kuvio 21. Klooripitoisuuksien jakauma ajalla 28.11.2022-24.3.2023

Kloorinäytteitä otettiin viikoittain samasta näytteenottopisteestä ajalla 28.11.2022-24.3.2023. Näytemäärä ajanjaksolla oli 15 kpl (kuvio 21). Tuloksissa ei ollut erityisyyttä mukana, joten tulokset ovat näin ollen vertailukelpoisia ja luotettavia, vaikka näytemäärä oli ajanjaksolla suppea.

P-arvo vaihtelee 0–1 välillä ja tätä käytetään nollahypoteesin arvioinnissa. Tyypillisesti käytetään P-arvon rajana 5 % ”erehdysrajaa”. Tulos 0,457 on suurempi kuin 0,05, jolloin voidaan arvioida, että tulokset ovat normaalijakautuneita ja mukana ei ole erityisyyttä, jotka vääristäisivät tulosten luotettavuutta. Täysin varmoja ei voida kuitenkaan olla P-arvon oikeellisuudesta, koska näytemäärä oli pieni. Pienen näytemäärän luotettavuutta lisää kuitenkin pitkä näytteenottojakso, jolloin tuloksissa on otettu huomioon myös vuodenaikavaihtelua.



Kuvio 22. Klooripitoisuuksien ennen ja jälkeen trendi

Sopivaa raja-arvoa arvioitaessa tulee ottaa huomioon vuodenaikavaihtelut. Kesäaikaan humusmäärien pitoisuudet nousevat, jolloin vedenpuhdistusprosessin suodatukselta ja desinfioinnilta vaaditaan enemmän ja talvikausina suojakloorauksen tarve vähenee. Humuspitoisina vuodenaikoina kloorauksen tarve korostuu, jolloin spesifikaatorajoissa tulee olla väljyyttä nostaa tarvitta-

essa rajaa sekä talvella tarvittaessa laskea. Klooritulosten hajonta oli 0,17–0,35 mg/l (kuvio 21) välillä ja keskiarvo 0,24 mg/l (kuvio 22). Keskihajonta tuloksilla oli 0,053184, jolloin tulosten perusteella voidaan laskea jäännöskloorille kolmen sigman säännöllä spesifikaatorajat (taulukko 11). Yhden ja kahden sigman rajoilla alaraja ei laske nykyisestä 0,12 mg/l rajasta ja ylärajassa ei ole riittävästi prosessisäätövaraa. Kolmen sigman laaturajalla jäännösklooria voidaan laskea 0,08 mg/l tasolle sekä humuspitoisina kausina raja-arvoa voidaan nostaa tarvittaessa 0,40 mg/l tasolle.

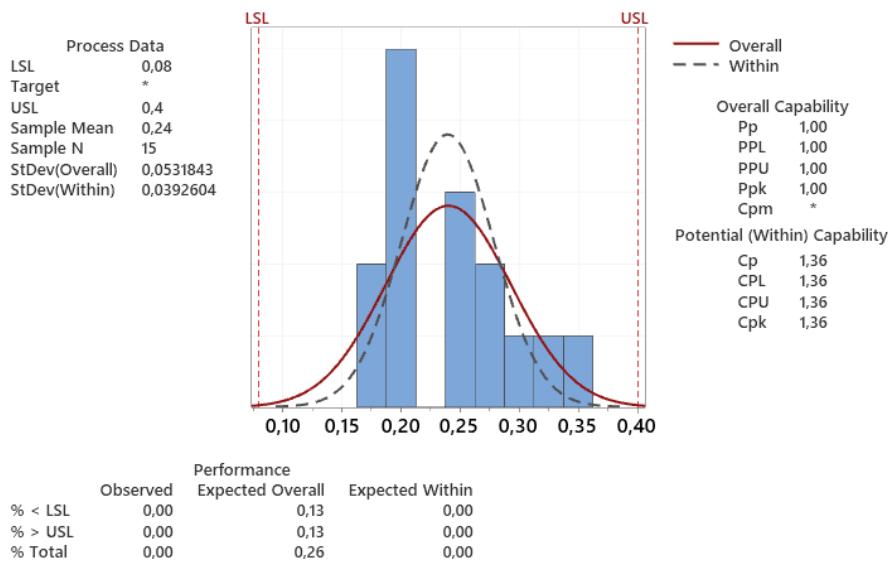
Taulukko 11. Suojakloorauksen sigmarajat jäännöskloorimittauksilla ajalla 28.11.2022-24.3.2023

Keskiarvo	σ	Keskihajonta	Yläraja mg/l	Alaraja mg/l
0,24000	1	0,05318	0,29	0,19
0,24000	2	0,05318	0,35	0,13
0,24000	3	0,05318	0,40	0,08

Tulosten perusteella voidaan todeta, että vedenpuhdistusprosessi kykenee tuottamaan mikrobiologisesti puhdasta vettä jäännöskloorin tavoitetasolla 0,24 mg/l syksy- ja talviaikaan. Jäännöskloorin uudet laaturajat ovat USL 0,4 mg/l ja LSL 0,08 mg/l. Laatusuunnitelman aiemmat laaturajat olivat USL 0,6 mg/l ja LSL 0,12 mg/l.

Vertailtaessa ennen ja jälkeen suorituskykyä, voidaan havaita, että Ppk on kasvanut arvoon 1,0 ja Cpk arvoon 1,36 (kuvio 23). Suppean näytämäärän (N=15) perusteella ei voida kuitenkaan hyvin tarkkaa analyysia tehdä suorituskyvystä, mutta voidaan kuitenkin arvioida, että prosessin suorituskyky on parantunut sekä potentiaalia on edelleen prosessissa. Prosessin parantamista tulisi tehdä humuspitoisen vuodenaikaan, koska tämän opinnäytetyön tutkimus tehtiin syksy- ja talviaikaan. On suositeltavaa, että humuspitoiselle vuodenaikalle tehtäisiin erillinen seurantajakso, jolla voidaan varmistaa sekä mahdollisesti vähentää kloorausta edelleen työssä esitetyistä raja-arvoista. Menetely on toistettavissa opinnäytetyössä tehdyn tutkimuksen mukaisesti.

Process Capability Report for Tulos



The actual process spread is represented by 6 sigma.

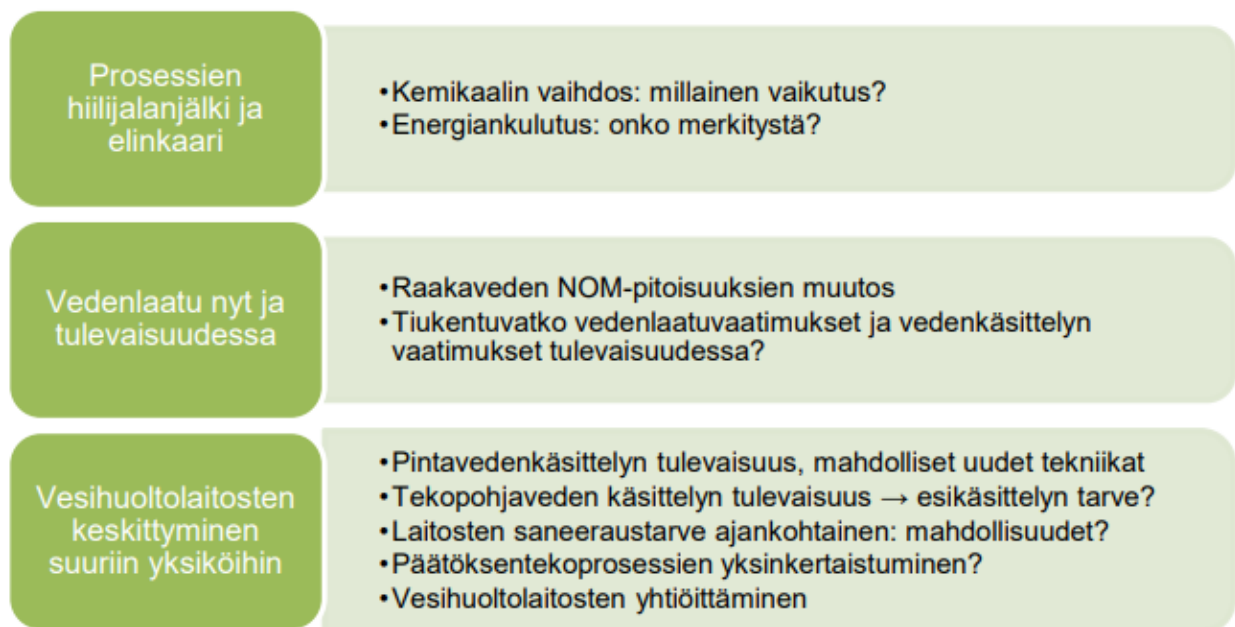
Kuvio 23. Klooripitoisuuksien suorituskyky ajalla 28.11.2022-24.3.2023

7 Opinnäytetyön johtopäätökset ja pohdinta

7.1 Veden huoltovarmuus ja laatuvaatimukset

Vesihuolto kuuluu huoltovarmuuden piiriin, joka tarkoittaa mahdollisten kriisien ja häiriötilanteisiin elintärkeiden ja elinkeinoelämän turvaamista. Äänekosken vesilaitos toimittaa vettä elintarviketeollisuuden maidonjalostuslaitokselle, joka myös kuuluu huoltovarmuuden piiriin. Vesilaitoksen toiminnan turvaaminen on näin ollen edellytys myös elintarviketeollisuuden toiminnalle sekä elinkeinoelämän toteuttamiselle. (AFRY 2020; Florkowski, Jiang, Meng 2022, 7.; MMM 2014) Huoltovarmuuden toteuttaminen vaatii kilpailukykyisen talouden, joka ylläpitää yhteiskunnan teknisiä perustoimintoja. Talous ei kuitenkaan riitä ylläpitämään poikkeustilanteista johtuvia häiriötilanteita. Tästä syystä tarvitaan kriittisille toimintoille ennakoivaa huoltovarmuustyötä, jolla pyritään pitämään toiminnot käyttökuntoisina poikkeustilanteista huolimatta. Huoltovarmuusorganisaation julkaisemassa selvityksessä (AFRY, 2020) on esitetty vesihuoltovarmuuden trendejä mihin myös epätodennäköisiltä vaikuttaviin riskeihin vesihuoltolaitosten on tarpeellista varautua jatkuvan vesihuollon turvaamiseksi.

Trendeissä on esitetty (kuvio 24), että vanhojen laitosten saneerauksissa tai vaihtoehtoisten ja uusien vedenpuhdistustekniikoiden valintaan vaikuttavissa päätöksissä on huomioitava mm. mahdollisuudet prosessin kemikaalienkäytön muunneltavuuteen. Vedenpuhdistusprosessit ovat yleisesti suunniteltu tietyn saostuskemikaalin käytön mukaisesti ja kemikaalien saatavuushaasteissa vesilaitoksen prosessinohjaus kohtaa haasteen, kun prosessi tulee uudelleen määrittää vaihtoehtoisen saostuskemikaalin mukaisesti (AFRY, 2020). Äänekosken vesilaitoksella on kokemusta alumiinisaostuksesta vanhan vesilaitoksen ajalta sekä nykyiseltä vesilaitokselta rautasaostuksesta, mutta prosesseja ei ole suunniteltu siten, että saostuskemikaalia pystyttäisiin vaihtamaan jatkuvatoimisen prosessin käynnissä ollessa.



Kuvio 24. Talousveden hallintaan vaikuttavien päätöksenteon trendejä (AFRY 2020).

Äänekosken tehdas on jatkuvatoiminen vesilaitos, joka puhdistaa vettä käyttövesialtaisiin ja altaiden täytyessä vesi ohjautuu takaisin Keitele-järveen. Vesilaitos kuluttaa energiaa tällöin jatkuvana ja prosessia ei ole suunniteltu katkeamaan, koska tämä sekoittaisi prosessivirtoja liikaa sekä tukkeuttaisi suodattimet lyhyessä ajassa. Vesilaitos kuuluu varavoiman piiriin, jolloin vesilaitos saadaan toimimaan sähkökatkoista huolimatta. Sähkökulutuksen kasvaessa vaihtoehtoisten energialähteiden hankinta on ajankohtaista, koska pintavesilaitoksen suurin ympäristövaikutus on energiakulutus (Crittenden ym. 2012b, 36).

Talousveden laatu määräytyy vesiasetuksien ja -lakien minimivaatimusten mukaisesti. Veden laatuvaatimukset ja -suositukset ovat tehty nykyisten tiedossa olevien riskien mukaisesti ja näiden vaatimusten on arvioitu tiukentuvan tulevaisuudessa, joka korostaa entisestään vedenpuhdistuksen tarkempaa tarkkailua (AFRY, 2020). Raja-arvojen heikkoutena on näiden minimivaatimukset sekä sovellettavuus eri käyttötarkoituksiin. Samoja raja-arvoja käytetään suovedestä puhdistettavaan talousveteen ja pohjaveden käyttöön, josta syystä raja-arvot sallivat mm. loppuveden saameudelle korkeitakin partikkelipitoisuuksia. Leveät lakiin ja suosituksiin perustuvat raja-arvot eivät tällöin sovellu vedenpuhdistuslaitoksen ohjaavina raja-arvoina, vaan vesilaitos määrittää itse halutut ohjausarvot vedenpuhdistusprosessille.

7.2 Raakaveden NOM -pitoisuudet

NOM pitoisuuksien lisääntyminen ilmastonmuutoksen myötä vesistöissä sekä talouden energiahintojen kasvu asettavat paineita vesilaitosten vedenkäsittelytekniikoille. Humuksen poistaminen on puhdistusprosessin kriittisen vaihe, jolla voidaan vaikuttaa myös energiankäyttöön, kemikaalien kulutukseen ja suodattimien käyttöikään. Saostustekniikat poistavat tyypillisesti suurimman osan humuksesta, mutta ainekset, joilla ei ole hydrofobisia ominaisuuksia (Ainali ym. 2001) vaativat tehostetumpaa puhdistusprosessia (Vesitalous 2014). Tällaisia partikkeleita ovat hydrofiiliset partikkelit, jotka ovat veteen liukenemattomia partikkeleita ja joiden poistamista vedestä ei saada saostamalla (Vesitalous 2014). Raakavesien hydrofiilisten partikkelipitoisuuksien kasvaessa johtaa tämä talousveden korkeampiin NOM-pitoisuuksiin sekä lisää prosessissa vastavirtahuuhtelun tarvetta, koska näiden poistamista ei saada vedestä saostamalla.

Vesien lähteiden NOM-pitoisuudet vaihtelevat laajasti (Crittenden ym. 2012a, 55; Finér, Lepistö, Räike, Sallataus 2021), jolloin prosessin oikeiden ohjausarvojen asettaminen on vedenpuhdistamon määritettävissä sen mukaisesti, missä tarkoituksessa puhdistettua vettä käytetään. Äänekosken tehtaan vesilaitos toimittaa vettä elintarviketeollisuuden käyttöön, jolloin puhdistusprosessin parametrit määritetään talousveden vaatimusten lisäksi myös elintarviketeollisuuden vaatimusten mukaisesti. Elintarviketeollisuudessa vesi on yksi raaka-aine tuotteessa tai prosessiaines pesuissa. Veden hygieeninen laatu tulee täyttää elintarviketurvallisuuden vaatimukset sekä veden kemialliset ominaisuudet tulevat olla pesukemikaalien kanssa optimoituja. Veden epäpuhtaudet kuluttavat kemikaalin tehokkuutta sekä aiheuttavat elintarviketurvallisuusriskiä tuotteelle. Epäpuhtaudet vedessä ovat elintarviketurvallisuusriski, joka aiheuttaa useasti myös taloudellista hävikkiä. Tästä

syystä epäpuhtauksien poisto on erityisen tärkeää sekä raakaveden ominaisuuksia tulee tutkia jatkuvasti, jotta voidaan varmistaa, että vesilaitoksen puhdistusprosessi täyttää hygieeniset vaatimukset vuodenaikavaihteluista ja ilmastonmuutoksesta huolimatta.

NOM pitoisuuksien vaikutuksista vedenkäsittelyjärjestelmiin on tiedossa laajasti, mutta tulevaisuuden ilmastonmuutoksia ja kuinka tämä vaikuttaa NOM:n ominaisuuksiin ei vielä kattavasti tiedetä (Finér ym. 2021). Vedenkäsittelyprosessit puhdistavat tiedossa olevia epäpuhtauksia, mutta ajan kuluessa epäpuhtauksien ominaisuudet voivat muuttua siten, ettei nykyiset suodattimet tai kemikaalit kykene poistamaan kaikkia veden epäpuhtauksia (Vesitalous 2014). Jatkuvatoimisten mittausten käyttö vesilaitoksilla kertoo trendiä prosessiparametreista, joiden seurannan kulmakivi on nimenomaan raakaveden muutosten seuranta sekä puhdistusprosessin kapasiteetin täyttyminen. Kapasiteetin täyttyminen on riski veden laadulle ja aiheuttaa huoltovarmuuden heikkenemistä.

Bjørnar Eikebrokkin luennosta kertovassa artikkelissa Eikebrokk tiivistää vedenlaadun analysoinnista seuraavasti;

”NOM:n karakterisointiin on useita tekniikoita. Toiset menetelmät ovat työläitä ja vaativat kehittyneitä analyysivälineitä ja ovat tärkeitä tieteellisessä tutkimuksessa, jossa yritetään ymmärtää paremmin NOM:n ominaisuuksia ja käyttäytymistä vedenkäsittelyn ja -jakelun aikana. Vesilaitosten käyttötarkkailuun soveltuvat sen sijaan paremmin käytännössä helposti sovellettavat analyysimenetelmät, jotka voivat nekin tuottaa arvokasta tietoa vedenkäsittelyn ja -jakelun kannalta oleellisista NOM:n ominaisuuksista” (Vesitalous 2014)

Eikebrokkin tiivistys NOM:n ominaisuuksien ymmärtämisestä vahvistaa opinnäytetyön tutkimustulosta siten, että Äänekosken tehtaan vesilaitoksen jatkuvatoimisella mittauksella saadaan paremmin prosessinohjaukseen tarvittavaa tietoa sekä varmuutta vesilaitoksen prosessinkyvykkyydestä tuottaa puhdasta vettä. Valvontaohjelman mukaiset analyysit, jotka perustuvat otantaan taas kertovat ensiarvoista tietoa raakaveden ominaisuuksien muutoksista. Valvontaohjelman mukaisten analyysien tulosten arviointia tuleekin tehdä jatkuvana trendinä pitkältä aikaväliltä, jotta mahdolliset muutokset raakavedessä ovat nähtävissä.

7.3 Aktiivihiihisuodattimen hankinta

Nykyisten aktiivihiihisuodattimen pinnankorkeutta ei mitata tällä hetkellä ja säiliöissä olevien suodatinaineen varsinaista määrää ei tarkalleen tiedetä. Käyttöönottovaiheessa aktiivihiihisuodatinta on huuhtoutunut vastavirtahuuhtelun yhteydessä rejektiveden mukana ja sopiva pinnankorkeus on säädetty prosessille sopivaksi vesivirtauksen mukaisesti. Aktiivihiihien huuhtoutumiseen määrään on vaikuttanut myös aktiivihiihien turpoaminen, joka nostaa pinnankorkeutta säiliössä. Aktiivihiihien tukkeutuminen säiliössä on epätodennäköisempää, kuin hiekkasuodattimessa, mutta uusien aktiivihiihien hankinnan yhteydessä pinnankorkeus tulisi mitata, jotta aktiivihiihien turpoamisvara olisi tarkemmin määritettynä ja, ettei vastavirtahuuhtelun mukana poistuisi hiiltä liikaa.

Uusien aktiivihiihien vaihdon yhteydessä TOC-, COD- ja sameusmittauksia on hyvä tehdä vähintään käyttöönoton yhteydessä vähintään kaksi kertaa viikossa, jotta lähtöarvot ovat selvillä ja hiilelle voidaan laskea todellinen käyttöikä. Nykyisten aktiivihiihien lähtökapasiteettia ei ole mitattu, joten teoreettista käyttöikää ei ole arvioitu, vaan uusien aktiivihiihien vaihtoväli määräytyy kapasiteetin kylläntymisen mukaisesti. Haitta-ainemääritysten lisäksi suodatinaineen kulutusta voidaan määrittää mikroskopoinnilla, jossa analysoidaan suodatinaineen eroosiota. Vesi kuluttaa suodatinaineita ja muokkaa suodattimen ominaisuuksia pyöristämällä hiekan tai aktiivihiihien pintaa. Pyöristyminen heikentää suodattimen tehokkuutta, kun epäpuhtaudet pääsevät läpäisemään suodatinaineen helpommin väistelemättä suodatinaineen kulmia. (Heininen 2023.) Mikroskopoinnilla ja pinnankorkeuden mittauksella voidaan tutkia tarkemmin suodattimen osittaista tai kokonaan vaihtamista. Osittaisella vaihtamisella saadaan pienemmät käyttökustannukset.

Pintavesilaitos Äänekoskella on jatkuvatoiminen laitos, jonka vedenkulutusta ohjaa tuotannossa käytettävä vesimäärä. Ohi juoksuttaminen kuluttaa energiaa ja kemikaaleja samassa suhteessa, kuin vesi olisi ohjattuna käyttöön. Aktiivihiihien vaihto on iso kustannus vesilaitokselle ja hiilen ostohinta vuonna 2022 on ollut noin 5 €/kg ja suodattimiin tarvittava hiilimäärä on noin 12 000 kg. Käyttöiän pidentämisellä on näin ollen merkittäviä taloudellisia vaikutuksia.

7.4 Vedenpuhdistusprosessin vaihtoehtoiset menetelmät

Kalvotekniikan käyttö vedenpuhdistuksessa on osoittanut hyviä puhdistustehokkuutta. Kalvotekniikan etuna on, että tämä vie vähän fyysistä tilaa ja eri tiheyksillä olevia kalvotekniikan suodattimia voidaan asentaa moduuleittain vaiheisiin, jolloin suodatustehokkuus saadaan kasvatettua 50 prosentista 90 prosenttiin. (Vesitalous 2014.) Kalvotekniikan saantoon vaikuttaa puhdistettavan veden NOM-pitoisuus, koska korkeat pitoisuudet tukkivat kalvot herkemmin ja lisää huuhtelun tarvetta. Suodatinkalvojen tukkeentuminen heikentää saantoa ja voi rikkoa kalvonpinnan. Klooripitoisten kemikaalien käyttö heikentää kalvojen käyttöikää, jolloin desinfiointi on tehtävä suodatuksen jälkeen. Vedenpuhdistuksessa käytettäviä kalvotekniikoita on käytössä käänteisosmoosi, nanosuodatus ja ultrasuodatus. Ruotsissa tehdyn tutkimuksen mukaan, pelkkä suodatus ei kuitenkaan poista raakavedestä NOM:a, vaan prosessi vaatii myös saostamista (Vesitalous 2014). Kalvotekniikoiden käyttö on potentiaalinen vaihtoehto, jos raakaveden ominaisuudet muuttuvat ja nykyinen prosessi ei kykene poistamaan hydrofobisia partikkeleita. Hydrofobisista partikkeleista raakaveden leväpitoisuuksien kasvu on yksi riskitekijä, jota tulee aktiivisesti seurata (Ainali ym., 2001).

7.5 Opinnäytetyön pohdinta

Äänekosken tehtaalla on ollut vesilaitostointia jo 1970-luvulta lähtien, mutta tämän opinnäytetyön aiheena oli uusi vesilaitos, joka on aloittanut toiminnan vuonna 2018. Opinnäytetyö oli ensimmäinen laaja tutkimus Äänekosken tehtaan pintavesilaitoksen toiminnasta. Opinnäytetyö eteni aikataulun mukaisesti ja työllä saatiin ratkaisut opinnäytetyön tavoitteisiin. Työn toteutus oli itsenäinen projekti, johon sain tukea vesilaitoksen sekä tehtaan henkilöstöltä. Aihe tuntui aluksi hyvin marginaaliselta, koska vesiverkoston loppukäyttäjät ovat pääasiassa tehtaan henkilöstöä eli alle 100 henkilöä. Tutkimuksessa tuli kuitenkin vahvasti esille vesilaitoksen toiminnan vaikutukset myös toisen huoltovarmuusyksikön eli elintarviketeollisuuden toimintaan. Opinnäytetyön vaikutus olikin elintarviketeollisuuden toiminnan näkökulmasta paljon laajempi ja veden toissijaisia loppukäyttäjämäärä laajeni 100 henkilöstä 8,6 miljoonaan kuluttajaan vuositasolla (Valio Oy 2022).

Opinnäytetyön aihe oli laaja ja työn tavoitteista olisi saanut tehtyä kaksi erillistä opinnäytetyötä. Toisaalta aiheen laajuus antoi myös uusia näkökulmia vedenpuhdistuksesta ja tarkempaa tietoa prosessiin liittyvistä riskeistä sekä mittausmenettelyistä. Opinnäytetyön tavoitteet olivat selkeitä,

mutta haasteen muodosti jatkuvatoimiseen prosessiin tehtävät muutokset. Prosessin raja-arvoihin tehdyt muutokset tapahtuivat primaarisesti, koska pilottijärjestelmää ei ollut käytettävissä ja tulosten vaikuttavuus tuli kuitenkin saada esille koko käyttöverkoston alueelta. Suojakloorauksen pitoisuuksien muutokset tehtiin tästä syystä hyvin hienovaraisesti, ettei veden hygieenisuus heikkenisi. Aikataulusyistä työn ulkopuolelle jäi kevät- ja kesäkauden suojakloorauksen määrittäminen ja tason mahdollinen laskeminen. Huomioitavana asiana on, että kyseinen vuodenaika on kriittinen vuodenaika, jolloin muutokset vaativat erityistä tarkkailua. Muutos on kuitenkin toistettavissa opinnäytetyön mittausmenettelyiden mukaisesti.

Opinnäytetyö kokonaisuudessaan oli hyödyllinen sekä tarpeellinen tutkimus, jota pystyy käyttämään jatkossa esiselvitystyönä niin vesilaitoksen toiminnan, kuin elintarviketeollisuuden prosessien tutkimuksissa ja kehitystöissä. Mahdollisissa jatkotutkimuksissa on hyvä huomioida mm. klooratun talousveden käyttö elintarviketeollisuudessa. Tällaiset tutkimukset voivat olla esim. klooripitoisen veden vaikutus juuston happanemisprosessissa tai klooripitoisen veden vaikutukset ultrasuodatuslaitteistokalvojen käyttöikään.

Lähteet

AFRY, 2020. Kemiallisen saostuksen huoltovarmuuden parantaminen Suomen vesihuollossa. Kansallinen selvitys lyhyen ja pitkän aikavälin vaihtoehtoista. Huoltovarmuusorganisaatio, vesihuoltopooli. Helsinki.

Ahluos T., 2022. 8834 MUU Riskimikrobien kuvaus. Valio Oy, sisäinen menettelyohje. Viitattu 30.3.2023.

Ainali I., Juuso E., Sorsa A., 2001. Vesikemikaalien annostelutyökalun kehittäminen: Flotaation perusteet, koejaksot ja mallinnus. Raportti B No 35. Sääätötekniikan laboratorio. Oulun yliopisto.

Alfa Laval, 2023. Mitä on kalvosuodatus? Viitattu 30.3.2023. <https://www.alfalaval.fi/tuotteet-ja-jarjestelmat/erotustekniikka/kalvot/what-is-membrane-filtration/>.

Arola H., Arvola L., Huttula T., Juusela V., Kotamäki N., Kotilainen H., Lindfors A., Linjama J., Mäkinen R., Näykki T., Sundberg L., Tattari S., Thessler S., 2012. Jatkuvatoinen sameusmittaus, hyvät mittauskäytännöt ja aineistonkäsittely. Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2012. Suomen ympäristökeskus.

Broberg M., Laakkonen E., Tähtinen J. 2020. Tilastollisen aineiston käsittelyn ja tulkinnan perusteita. Turun yliopiston kasvatustieteiden tiedekunnan julkaisuja C:22. Turun yliopiston kasvatustieteiden laitos.

Bylund G., 2003. Dairy processing handbook. Tetra Pak Processing Systems AB. Lund, Sweden.

Cecen F., Akta Ö., 2009. Activated carbon for water and wastewater treatment. Wiley.

Crittenden J., Hand D., Howe K., Tchobanoglous G., Trussell R., 2012a. MWH's Water Treatment, Principles and Design. 3. painos. Wiley.

Crittenden J., Hand D., Howe K., Tchobanoglous G., Trussell R., 2012b. Principles of water treatment. 3. painos. Wiley.

Finér L., Lepistö A., Räike A., Sallataus T., 2021. Increases in organic carbon and nitrogen concentrations in boreal forested catchments — Changes driven by climate and deposition. Suomen ympäristökeskus SYKE ja luonnonvarakeskus LUKE.

Florkowski W., Jiang Q., Meng T., 2022. Pre- and post-production water treatment in the food processing industry: managerial perceptions of environmental pressure increase adoption of voluntary environmental management. National Natural Science Foundation of China.

Hannola T., 2007. Aktiivihiilessä etenevän adsorptiorintaman etenemisen mittaaminen puolijohdekaasuanturien avulla. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Heininen S., 2016. Opas vesityökortin suorittajalle. Talousvesi, 3. painos. Suomen vesikoulutus.

Heininen S., 2023. Henkilökohtainen tiedonanto. Suomen puhdasvesi yhtiöt oy.

Isomäki E., Valve M., Kivimäki A-L., Lahti K., 2006. Pienten pohjavesilaitosten ylläpito ja valvonta. Ympäristöopas 42. Suomen ympäristökeskus. Vammalan Kirjapaino Oy.

Kammerlehner J., 2009. Cheese technology, käännös kirjasta Käsetechnologie 2003. Käännös Axel Mia 2009. Yhdysvallat.

Karjalainen E., 2008. Green Belt koulutusmateriaali, 2008. Quality Knowhow Karjalainen Oy. Lahti.

Kaunisto T., Lahti H. ja Vieno N. 2011. Talousveden käsittelykemikaalit ja standardisointi. Vesi-Instituutti WANDER.

Kukka M., Pelto-Huikko A., Pursiainen A., Siponen S., Ikonen J., Kusnetsov J., Miettinen I., 2015. Paineiskujen vaikutus käyttövesiverkostoon. Vesi ja terveys -yksikkö.

Kume H., 1989. Statistical methods for quality improvement. Taylor & Francis.

Lapio L., Lonka-Huotari P., 2022a. Käyttöveden valvontaohjelma 2023–2027. Sisäinen menettelyohje Valio Oy:n intranetissä. Valio oy Äänekoski. Viitattu 11.12.2022.

Lapio L., Mykkänen P., 2022b. HACCP Käyttöveden valmistus pintavedestä. Sisäinen menettelyohje Valio Oy:n intranetissä. Valio oy Äänekoski. Viitattu 11.12.2022.

Minitab® 20 Support, 2021. Minitab ohjelman tuki. Viitattu 24.4.2023.

MMM, 2014. Elintarviketeollisuus vesihuoltolaitoksen asiakkaana. Opas yhteistyön järjestämiseen, 7/2014. Maa- ja metsätalousministeriö. Suomen Yliopistopaino Oy.

Niiranen O., 2012. Ramboll Oy esiselvitys, Valio Oy pintavesilaitoksen saneeraus. Valio Oy Äänekoski. Viitattu 24.1.2023.

Nordic Water Dynasand Products AB, 2018. Dynasand Operation Manual FI 16.31. Projekti A24229. Viitattu 14.3.2023.

Oravainen R., 1999. Vesistötulosten tulkinta -opasvihkonen. KVVY, Kokemäen vesiensuojeluyhdistys ry. Tampere.

Saastamoinen M., 2023. Henkilökohtainen tiedonanto. Valio Oy Äänekoski.

Sarkkola S., Nieminen M., 2014. Vesistöjen orgaanisen aineksen lisääntymisen syitä. Vesitalous 6/2014.

Saukkonen T., 2018. Valio Äänekoski teoriakoulutus vedenkäsittelyjärjestelmä. Hyxo Oy koulutusmateriaali.

SYKE, Suomen ympäristökeskuksen raportteja, 2010. Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. Viitattu 19.11.2022. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39822/SYKEra_7_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Talousvesiasetus 461/2000, 2000. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista.

Talousvesiasetuksen soveltamisohe, 2020. Talousvettä koskevia säädöksiä osa 1. Dnro V/33102/2020. Valvira. Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto.

Tebbutt T. 1998. Principles of water quality control, fifth edition. Butterworth-Heinemann.

Toimintatavat talousveden laadun turvaamiseksi. Tautia aiheuttavat mikrobit Dnro 1712/06.10.01/2016

Turveinfo. Humus on luonnollinen osa vesiekosysteemiä. Bioenergia ry. Viitattu 24.1.2023. <http://turveinfo.fi/ymparisto/humus/humus-on-luonnollinen-osa-vesiekosysteemia/>.

Valio Oy, 2022. Äänekosken tehtaan valmistusluvut. Sisäinen tilastointi. Viitattu 17.4.2023.

Valio Oy, 2019. Pinta- ja pohjaveden laatusuunnitelma, versio 3. Laadittu 30.4.2019. Viitattu 24.4.2023.

Valvira, 2022. Toimintatavat talousveden laadun turvaamiseksi, tautia aiheuttavat mikrobit Dnro V/23227/2022. Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto.

Vesihuoltolaki 119/2001, 2001. Sosiaali- ja terveysministeriön laki.

Vesitalous, 2014. Vesitalous lehti 6/2014. Ympäristöviestintä YVT Oy.

Liitteet

Liite 1. TOC-tulokset

PINTAVESILAITOKSEN NÄYTTEENOTTO			
Pvm	Analyysi	Tulos	Näytteenottopiste
8.6.2022	TOC mg/l (14878)	16,6	Pintavesi raakavesi
8.6.2022	TOC mg/l (14878)	11,3	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
17.6.2022	TOC mg/l (14878)	11,7	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
22.6.2022	TOC mg/l (14878)	18	Pintavesi raakavesi
28.6.2022	TOC mg/l (14878)	15,3	Pintavesi raakavesi
28.6.2022	TOC mg/l (14878)	9,3	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
28.6.2022	TOC mg/l (14878)	12,9	YK:n pintavesi
12.7.2022	TOC mg/l (14878)	18,9	Pintavesi raakavesi
12.7.2022	TOC mg/l (14878)	14,4	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
28.7.2022	TOC mg/l (14878)	19	Pintavesi raakavesi
28.7.2022	TOC mg/l (14878)	13,8	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
28.7.2022	TOC mg/l (14878)	12,7	YK:n pintavesi
11.8.2022	TOC mg/l (14878)	15,8	Pintavesi raakavesi
11.8.2022	TOC mg/l (14878)	13,4	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
25.8.2022	TOC mg/l (14878)	17,7	Pintavesi raakavesi
25.8.2022	TOC mg/l (14878)	11,5	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
25.8.2022	TOC mg/l (14878)	10,4	YK:n pintavesi
15.9.2022	TOC mg/l (14878)	16,5	Pintavesi raakavesi
15.9.2022	TOC mg/l (14878)	11,4	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
15.9.2022	TOC mg/l (14878)	12,1	YK:n pintavesi
4.10.2022	TOC mg/l (14878)	12	Pintavesi hiekkasuodattimen jälkeen
4.10.2022	TOC mg/l (14878)	10,5	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
13.10.2022	TOC mg/l (14878)	13,5	Pintavesi raakavesi
13.10.2022	TOC mg/l (14878)	4,8	Pintavesi hiekkasuodattimen jälkeen
13.10.2022	TOC mg/l (14878)	8,8	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
27.10.2022	TOC mg/l (14878)	5	Pintavesi raakavesi
27.10.2022	TOC mg/l (14878)	5,9	Pintavesi hiekkasuodattimen jälkeen
27.10.2022	TOC mg/l (14878)	6,5	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
4.11.2022	TOC mg/l (14878)	10,8	Pintavesi raakavesi
4.11.2022	TOC mg/l (14878)	4,2	Pintavesi hiekkasuodattimen jälkeen
4.11.2022	TOC mg/l (14878)	5,5	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
10.11.2022	TOC mg/l (14878)	10,7	Pintavesi raakavesi
10.11.2022	TOC mg/l (14878)	6,1	Pintavesi hiekkasuodattimen jälkeen
10.11.2022	TOC mg/l (14878)	7,7	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
15.11.2022	TOC mg/l (14878)	10,6	Pintavesi raakavesi
15.11.2022	TOC mg/l (14878)	7,3	Pintavesi hiekkasuodattimen jälkeen
15.11.2022	TOC mg/l (14878)	6,8	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
23.11.2022	TOC mg/l (14878)	10,6	Pintavesi raakavesi
23.11.2022	TOC mg/l (14878)	7,3	Pintavesi hiekkasuodattimen jälkeen
23.11.2022	TOC mg/l (14878)	6,8	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
2.12.2022	TOC mg/l (14878)	10,9	Pintavesi raakavesi
2.12.2022	TOC mg/l (14878)	6,3	Pintavesi hiekkasuodattimen jälkeen
2.12.2022	TOC mg/l (14878)	6,9	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
12.12.2022	TOC mg/l (14878)	7,9	Pintavesi raakavesi
12.12.2022	TOC mg/l (14878)	5,8	Pintavesi hiekkasuodattimen jälkeen
12.12.2022	TOC mg/l (14878)	5,3	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
12.12.2022	TOC mg/l (14878)	5	YK:n pintavesi

Liite 2. COD-tulokset

PINTAVESILAITOKSEN NÄYTTEENOTTO			
Pvm	Analyysi	Tulos	Näytteenottopiste
31.5.2022	COD mg/l	22,8	Pintavesi raakavesi
31.5.2022	COD mg/l	8,6	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
22.6.2022	COD mg/l	22,5	Pintavesi raakavesi
22.6.2022	COD mg/l	8,9	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
22.6.2022	COD mg/l	10,1	YK:n pintavesi
4.7.2022	COD mg/l	22,3	Pintavesi raakavesi
4.7.2022	COD mg/l	9,1	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
4.7.2022	COD mg/l	10,1	YK:n pintavesi
20.7.2022	COD mg/l	22,8	Pintavesi raakavesi
20.7.2022	COD mg/l	8,6	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
5.8.2022	COD mg/l	23,3	Pintavesi raakavesi
5.8.2022	COD mg/l	8,6	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
5.8.2022	COD mg/l	11,3	YK:n pintavesi
16.8.2022	COD mg/l	24,2	Pintavesi raakavesi
16.8.2022	COD mg/l	11,2	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
2.9.2022	COD mg/l	23,3	Pintavesi raakavesi
2.9.2022	COD mg/l	9,3	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
2.9.2022	COD mg/l	10	YK:n pintavesi
23.9.2022	COD mg/l	22,4	Pintavesi raakavesi
23.9.2022	COD mg/l	8,9	Pintavesi hiekkasuodattimen jälkeen
23.9.2022	COD mg/l	9,8	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
13.10.2022	COD mg/l	21,1	Pintavesi raakavesi
13.10.2022	COD mg/l	7,1	Pintavesi hiekkasuodattimen jälkeen
13.10.2022	COD mg/l	7	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
27.10.2022	COD mg/l	21,6	Pintavesi raakavesi
27.10.2022	COD mg/l	7	Pintavesi hiekkasuodattimen jälkeen
27.10.2022	COD mg/l	6,3	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
4.11.2022	COD mg/l	21,4	Pintavesi raakavesi
4.11.2022	COD mg/l	6,6	Pintavesi hiekkasuodattimen jälkeen
4.11.2022	COD mg/l	7,2	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
10.11.2022	COD mg/l	20,6	Pintavesi raakavesi
10.11.2022	COD mg/l	7,4	Pintavesi hiekkasuodattimen jälkeen
10.11.2022	COD mg/l	7	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
15.11.2022	COD mg/l	23,6	Pintavesi raakavesi
15.11.2022	COD mg/l	8,1	Pintavesi hiekkasuodattimen jälkeen
15.11.2022	COD mg/l	6,3	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
23.11.2022	COD mg/l	23,6	Pintavesi raakavesi
23.11.2022	COD mg/l	8,1	Pintavesi hiekkasuodattimen jälkeen
23.11.2022	COD mg/l	6,3	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
2.12.2022	COD mg/l	21,9	Pintavesi raakavesi
2.12.2022	COD mg/l	7,2	Pintavesi hiekkasuodattimen jälkeen
2.12.2022	COD mg/l	7,6	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
12.12.2022	COD mg/l	20,4	Pintavesi raakavesi
12.12.2022	COD mg/l	7,8	Pintavesi hiekkasuodattimen jälkeen
12.12.2022	COD mg/l	6,8	Pintavesi aktiivihiihisuodattimen jälkeen ennen UV-valoa
12.12.2022	COD mg/l	11,1	Ruokala pintavesi