



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

AKTIIVIIHIILIPILOTIN RAKENTAMINEN JA TESTAUS ORGAANISEN AINEEN POISTOON

TEKIJÄ: Jenni Heikkinen

| | |
|--|-----------|
| Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala | |
| Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma | |
| Työn tekijä(t) Jenni Heikkinen | |
| Työn nimi Aktiivihiihpilotin rakentaminen ja testaus orgaanisen aineen poistoon | |
| Päiväys | 3.12.2018 |
| Sivumäärä/Liitteet | 58/5 |
| Ohjaaja(t) tuntiopettaja Juha-Matti Aalto ja yliopettaja Pasi Pajula | |
| Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kuopion Vesi Liikelaitos, kehitysinsinööri Petri Juntunen | |
| <p>Tiivistelmä</p> <p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Kuopion Vesi Liikelaitoksen vedentuotanto-yksikölle, joka vastaa toimialueellaan hyvälaatuisen veden toimittamisesta asiakkailleen. Opinnäytetyön tavoitteena oli rakentaa hiekkasuodatuksen periaatetta mukaillen neljän aktiivihiiisuodatuskolonnin käsittävä pilot -mittakaavan koesuodatuslaitteisto ja testata sillä neljän aktiivihiiilaadun kykyä poistaa puhdistettavasta vedestä hajua ja makua aiheuttavia orgaanisia yhdisteitä. Muita tavoitteita laitteistolle olivat kustannustehokkuus, yksinkertaisuus ja helppokäyttöisyys. Tärkein tutkittava parametri oli orgaanisen kokonaishiilen poistuma aktiivihiiisuodatetusta vedestä.</p> <p>Työn teoriaosuudessa perehdyttiin yleisellä tasolla vedentuotantolaitoksilla ilmeneviin hajun ja maun mahdollisiin aiheuttajiin sekä aktiivihiiilen ominaisuuksiin sekä sen käyttöön vedenpuhdistuksessa. Aktiivihiihpilotin rakentaminen ja sen testaaminen sekä laboratorioanalyysit toteutettiin Itkonniemen vedentuotantolaitoksen tiloissa. Aktiivihiihpilotin kahden kuukauden suodatuskokeen aikana tutkittiin hiihilaatujen adsorptiokykyä TOC:n, mangaanin, raudan ja alumiinin osalta sekä havainnointiin hiihien fysikaalisia ja kemiallisia käyttäytymisiä.</p> <p>Kahden kuukauden suodatuskokeen aikana tarkkailtiin aktiivihiihilaatujen suodatusteknisiä ominaisuuksia. Huomattiin, että hienojakoisen rakeen omaavan aktiivihiiisuodatuspedin päälle muodostui korkeampi vesipatsas ja vastavirtahuuhdeltu suoritettiin kahden viikon välein, koska muutoin vesi olisi virrannut huuhdeluputken kautta viemäriin. Karkearakeisten aktiivihiiisuodatuspetien päälle muodostunut vesipatsas oli melkein puolet vähemmän ja vastavirtahuuhdellut suoritettiin 3-4 viikon välein. Näytteenottojen perusteella voidaan todeta, että kaikki hiihilaadut toimivat odotettua paremmin orgaanisen kokonaishiilen poistoon. Putki 2:en, 3:en ja 4:en TOC:n puhdistusreduktio oli 96–99 %, putki 1:en puhdistusreduktio oli noin 79 %.</p> <p>Työn tuloksena saatiin toimiva aktiivihiihpilot-laitteisto, jonka avulla työn tilaaja voi jatkaa halutessaan suodatuskoikeita ja päättää saatujen tuloksien perusteella parhaan hiihilaadun valinnasta sekä ison mittakaavan aktiivihiiisuodattimen investoinnista.</p> | |
| Avainsanat aktiivihiihi, pilotti, orgaaniset yhdisteet, TOC, aktiivihiiisuodatus | |

| | | | |
|---|-----------------|------------------|------|
| Field of Study Technology, Communication and Transport | | | |
| Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology | | | |
| Author(s) Jenni Heikkinen | | | |
| Title of Thesis Construction of an Activated Carbon Pilot and its Testing to Remove Organic Matter | | | |
| Date | 3 December 2018 | Pages/Appendices | 58/5 |
| Supervisor(s) Mr Juha-Matti Aalto, Lecturer and Mr. Pasi Pajula, Principal Lecturer | | | |
| Client Organisation /Partners Kuopion Vesi Ltd, Mr. Petri Juntunen, Development Engineer | | | |
| <p>Abstract</p> <p>This thesis was made for Kuopion Vesi Ltd, which is responsible for the supply of good quality water for its customers. The objective of this thesis was to build an activated carbon pilot which imitates the principle of sand filtration. The aim was to test the ability of four different activated carbons to remove the organic compounds that cause odour and taste in drinking water. Other requirements for the pilot were cost-effectiveness, simplicity and ease of use. The most important parameter was the loss of the total organic carbon from activated carbon filtered water.</p> <p>First, in the literature part, potential sources of odour and taste in water production plants, characteristics of activated carbon and its use in water purification were studied in general. The building and testing of the activated carbon pilot and the laboratory analysis were performed at Itkonniemi water treatment plant. During two months long period of test filtration of the activated carbon pilot, the adsorption capacity of the activated carbons for the TOC, manganese, iron, aluminium was examined. The physical and chemical behavior of the activated carbons was observed.</p> <p>During two months long period of test filtration, the filtering properties of activated carbon were monitored. It was noticed that the resistance of flow in the fine-grained column grew rapidly, so the backwashing needed to be performed every two weeks. The resistance of the flow in the rough-grained column grew slowly in which case the backwashing was performed every three to four weeks. On the account of sampling, it can be mentioned that every activated carbon quality worked better than expected to remove total organic compounds. The reduction of columns 2, 3 and 4 was 96-99 % except for column 1, the reduction was 79 %.</p> <p>As a result of this thesis, a functional activated carbon pilot was created to allow the commissioner to continue test filtrations and decide on the best carbon quality and the investment of a large scale activated carbon filtration.</p> | | | |
| Keywords activated carbon, pilot, organic compounds, TOC, activated carbon filtration | | | |
| | | | |

ESIPUHE

Haluan kiittää Kuopion Vesi Liikelaitosta mielenkiintoisesta ja haasteellisesta opinnäytetyön aiheesta. Erityiskiitos laitosasentaja Tapani Korhoselle ja Harri Rahkoselle aktiivihiihlipilot-laitteen rakentamisesta sekä kaikesta tuesta, jota olen työni aikana saanut.

Kiitokset ohjaamisesta, tukemisesta ja neuvoista kuuluu myös ohjaavalle opettajalleni Juha-Matti Aallolle.

Lopuksi haluan kiittää perhettäni ja läheisiäni opintojeni aikaisesta tuesta ja kannustuksesta.

Kuopiossa 1.12.2018

Jenni Heikkinen

SISÄLTÖ

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 7 |
| 2 | TALOUSVEDEN VALMISTUS ITKONNIEMEN VEDENTUOTANTOLAITOKSELLA | 8 |
| 2.1 | Jänneniemien biologinen pikahiekkasuodatuslaitos..... | 8 |
| 2.2 | Itkonniemen vedenpuhdistuslaitos | 9 |
| | KIRJALLISUUSOSA..... | 10 |
| 3 | ORGAANINEN AINE SEKÄ HAJUN JA MAUN AIHEUTTAJAT RAAKAVEDESSÄ..... | 10 |
| 3.1 | Orgaaninen aine | 10 |
| 3.1.1 | Orgaaninen kokonaishiili | 10 |
| 3.2 | Hajun ja maun aiheuttajat raakavedessä | 10 |
| 4 | AKTIIVIHIIILI..... | 12 |
| 4.1 | Aktiivihiiilen rakenne ja ominaisuudet..... | 13 |
| 4.2 | Aktiivihiiilen valmistus ja regenerointi | 15 |
| 5 | AKTIIVIHIIILEN KÄYTTÖ VEDENPUHDISTUKSESSA | 17 |
| 5.1 | Avosuodattimen rakenne ja toimintaperiaate | 17 |
| 5.1.1 | Aktiivihiiლისuodatin..... | 19 |
| 5.1.2 | Biologinen aktiivihiiლისuodatin (BAC) | 21 |
| 5.1.3 | Rakeinen aktiivihiiili, GAC (granular activated carbon) | 21 |
| 5.2 | Rakeisen aktiivihiiilen puhdistustehokkuuteen ja valintaan vaikuttavat tekijät avomallisessa suodatinaltaassa..... | 22 |
| 5.3 | Aktiivihiiilitoimittajat ja käytetyimmät aktiivihiiililaadut Suomessa | 23 |
| | KOKEELLINEN OSA | 25 |
| 6 | AKTIIVIHIIILIPILOTIN SUUNNITTELU JA RAKENTAMINEN | 25 |
| 6.1 | Aktiivihiiilipilotin mitoitus | 26 |
| 6.2 | Aktiivihiiilipilotin rakentaminen..... | 28 |
| 7 | AKTIIVIHIIILIPILOTIN YLÖSAJO JA SUODATUSKOKEEN ALOITTAMINEN | 35 |
| 7.1 | Aktiivihiiilikolonneihin valitut hiiililaadut ja niiden hankintakustannusarvio..... | 35 |
| 7.2 | Pilotin ylösajo | 38 |
| 7.3 | Suodatuskokeen aloitus..... | 41 |
| 7.3.1 | Vastavirtahuuhtelu | 42 |
| 7.3.2 | Biologisen aktiivihiiლისuodattimen käynnistyminen | 45 |

| | | |
|-------|--|----|
| 8 | NÄYTTEENOTTO JA TULOSTEN ANALYSOINTI | 46 |
| 8.1 | Näytteenoton suunnittelu ja toteutus | 46 |
| 8.2 | Tulosten analysointi | 47 |
| 8.2.1 | pH..... | 48 |
| 8.2.2 | UV ₂₅₄ -absorbanssi | 48 |
| 8.2.3 | Orgaaninen kokonaishiili | 49 |
| 8.2.4 | Mangaani | 50 |
| 8.2.5 | Alumiini | 51 |
| 8.2.6 | Rauta | 51 |
| 8.3 | Aistinvarainen arviointi | 52 |
| 9 | YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET | 55 |
| | LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT | 57 |
| | LIITE 1: AKTIIVIHILIPILOT-LAITTEISTON OSALUETTELO..... | 59 |
| | LIITE 2: AKTIIVIHILIPILOT-LAITTEISTON VASTAVIRTAHUUHTELUOHJE | 60 |
| | LIITE 3: NÄYTTEENOTTOSUUNNITELMA | 62 |

1 JOHDANTO

Vesilaitoksien yleisimmät ongelmat liittyvät haju- ja makuhaittoihin, joita veteen aiheuttavat rauta, mangaani, humus ja orgaaniset aineet. Myös teollisuusvedet, jotka ovat lienneet maaperään voivat siirtää makua talousveteen. Orgaaniset aineet talousvedessä altistavat putkistoa herkemmin korroosiolle, edesauttavat saostumien syntymisessä, lisäävät mikro-organismien kasvua vedenjakelujärjestelmissä ja lisäävät desinfioidin sivutuotteiden syntymistä talousvettä klooraavilla laitoksilla (Virtanen, 2011, 11)

Pinta- ja tekopohjavesilaitoksien tärkeimmät tavoitteet ovat näin ollen orgaanisen aineen, raudan, mangaanin, humuksen ja mikrobien poisto puhdistettavasta vedestä. Merkittävä osa raakaveden epäpuhtauksista saadaan poistettua maaperässä imeytyksen aikana sekä puhdistusprosessin saostusvaiheessa. Tehokkaista puhdistusprosesseista huolimatta talousveteen jää kuitenkin orgaanisia aineita, 2-3 mg/l. Vesilaitoksien käyttämät voimakkaat hapettimet, otsoni ja kloori, pilkkovat orgaanista ainesta pienimolekyylisiksi orgaanisiksi yhdisteiksi, joita verkostossa elävien mikrobien on myöhemmin helppo käyttää ravinnokseen.

Kuopion Vesi käyttää talousveden valmistukseen Hietasalon ja Jänneniemien rantaimetyksenä suodatettua pohjavettä mutta kesäisin Hietasalon vuosihuollon aikaan vettä otetaan suoraan Kallavedestä ja sekoitetaan Itkonniemen vesilaitoksella Jänneniemestä johdettuun veteen. Kuopion Veden tuottama talousvesi täyttää kaikilla vedenottamoillaan Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen (1352/2015) mukaiset suositusravot ja laatuvaatimukset, mutta talousvedessä ilmenee hetkittäin haju- ja makuhaittoja. Aktiivihiiisuodattimien avulla pystyttäisiin vähentämään talousveteen jäävää orgaanisten ainesten määrä sekä varautumaan paremmin tulevaisuudessa myös kiristyviin talousveden laatuvaatimuksiin.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa aktiivihiiilipilot-laitteisto, joka toimii samalla periaatteella kuin hiekkasuodatusyksikkö. Aktiivihiiilipilotilla oli tarkoitus testata samanaikaisesti neljän erilaisen aktiivihiiililaadun kykyä poistaa puhdistettavasta vedestä orgaanisia aineita sekä hajua ja makua aiheuttavia yhdisteitä. Tulosten perusteella oli tarkoitus päätellä, onko suuren mittakaavan aktiivihiiisuodattimien rakentaminen aiheellista ja kuinka hyvin valitut aktiivihiiililaadut adsorboivat hajua ja makua aiheuttavia aineita.

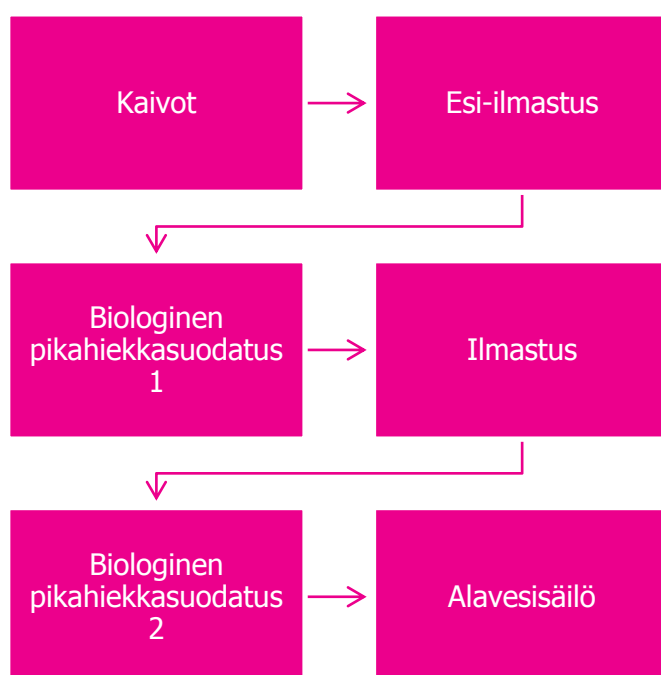
Opinnäytetyön kirjallisuusosiossa kuvataan aluksi Kuopion Veden vedentuotantolaitoksen vedenpuhdistusprosesseja yleisellä tasolla, perehdytään orgaaniseen aineeseen sekä muihin hajun ja maun aiheuttajiin raakavedessä. Tämän jälkeen keskitytään aktiivihiiilen valmistukseen, ominaisuuksiin ja sen käyttöön vedenpuhdistuksessa. Kokeellisessa osassa esitellään aktiivihiiilipilotin suunnittelu, mitoitus, rakentaminen, suodatuskokeen järjestelyt, laboratoriomääritykset ja tulosten analysointi. Lopuksi kerrotaan aistinvaraisen testin tuloksista. Kuopion Vesi Liikelaitos voi halutessaan jatkaa aktiivihiiilipilotilla tehtäviä tutkimuksia ja päättää saatujen tulosten perusteella tulevaisuuden investoinnista suuren mittakaavan aktiivihiiisuodatusyksiköstä osaksi muuta puhdistusprosessia.

2 TALOUSVEDEN VALMISTUS ITKONNIEMEN VEDENTUOTANTOLAITOKSELLA

Kuopion Veden vedentuotantolaitos sijaitsee Itkonniemellä, jonne johdetaan Jänneniemien käsitelty vesi sekä Hietasalon raakavesi. Vuoteen 1988 Kuopion Vesi tuotti talousvettä suoraan Kallavedestä mutta Hietasalon käyttöönoton jälkeen Kallavettä käytetään enää poikkeustapauksissa mm. vedenottamoiden vuosihuollon aikaan. Hietasalon ja Jänneniemien vedenottamon toiminta perustuu rantaimetykseen, jossa harjun läpi suodatetusta vedestä muodostuu tekopohjavettä vedenotto-kaivoihin. Kuopion Veden tuottamasta vedestä 2/3 tulee Jänneniemestä ja 1/3 Hietasalosta, jotka sekoitetaan puhdistuskäsittelyjen jälkeen Itkonniemien vedentuotantolaitoksella. (Tikkanen 2016, 16.)

2.1 Jänneniemien biologinen pikahiekkasuodatuslaitos

Jänneniemien vedenottamo toimii Kuopion päävedenottamona. Raakavesi suotautuu rantaimetyksenä Jännevedestä ja Juurusvedestä siiviläputkikaivoille. Viidestä siiviläputkikaivosta pumpataan vettä noin 12 000 m³/d. Raakaveden puhdistuksessa käytetään 2-vaiheista biologista pikahiekkasuodatusprosessia raudan ja mangaanin poistamiseksi raakavedestä. Kaivoista pumpattu vesi on lähes hapetonta, jonka johdosta ensimmäinen prosessivaihe on esi-ilmastus, jolla luodaan rautabakteeritoiminnalle otollinen toimintaympäristö ensimmäisessä biologisessa pikahiekkasuodatusyksikössä. Raudanpoiston jälkeen vesi ilmastetaan uudelleen pohjailmastusaltaassa happipitoisuudeltaan riittävän korkeaksi, jolloin mangaanibakteeritoiminta pystyy käynnistymään toisessa biologisessa pikahiekkasuodatusyksikössä. Tämän jälkeen vesi johdetaan alavesisäiliöön. UV-desinfiointin kautta vettä syötetään Jänneniemien läheisyydessä olevien kylien ja naapurikuntien vesiosuuskuntiin. Suoraan Itkonniemelle menevää vettä ei UV-desinfioida. (Tikkanen 2016, 17) Kuvassa 1 on esitelty Jänneniemien vedenpuhdistuksen prosessikaavio.

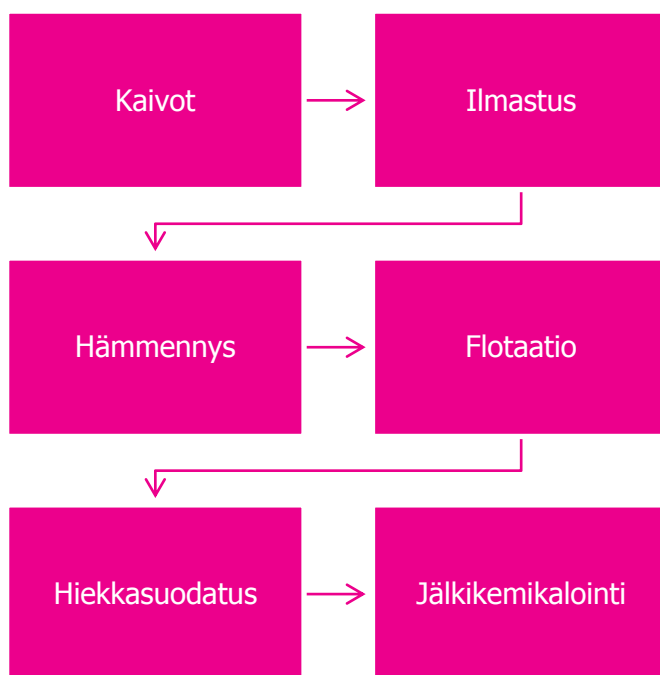


KUVA 1. Jänneniemien vedenpuhdistuksen prosessikaavio (Heikkinen 2018-10-03)

2.2 Itkonniemen vedenpuhdistuslaitos

Itkonniemen vedenpuhdistuslaitoksella puhdistetaan Hietasalosta pumpattua raakavettä kemiallisella puhdistusprosessilla pintavedenkäsittelyprosessia mukaillen. Hietasalossa on kahdeksan siiviläputki-kaivoa, joihin vesi suotautuu samalla periaatteella kuin Jänneniemessä eli rantaimetyksenä, jolloin harjun läpi suodatettu vesi on pohjavedenkaltaista. Suotautumisprosessin aikana happi kuluu kuitenkin maaperässä lähes loppuun, jolloin rauta ja mangaani pääsevät liukenemaan veteen. Vesi sisältää myös jonkin verran orgaanista ainetta. Itkonniemellä ensimmäinen käsittelyvaihe on pumpatun veden ilmastus ilmastustornissa, jotta on raudan- ja mangaaninpoiston tehostuu myöhemmässä puhdistusprosessin vaiheessa. Ilmastuksen yhteydessä tehdään alkukemikalointi, jolloin veden pH:n nostamiseksi lisätään kalkkia. Hapetusta tehostetaan lisäämällä veteen kaliumpermanganaattia ja alumiinisulfaattia saostuskemikaaliksi. Tässä vaiheessa lisätään noin 10–15 % käsiteltävän veden kokonaisvirtaamasta järvivettä (Kallavedestä) polymeerivetenä saostumista parantamaan. (Tikkanen, 2016.)

Alkukemikaloinnin jälkeen vedessä olevat epäpuhtaudet alkavat saostua flokeiksi hämmennys-flotaatioyksiköissä. Flokkien poisto tapahtuu flotaatioaltaan pinnankorkeuden nostamisella, jolloin veden pinnalle muodostunut flokkipatja vedetään laahaimilla viemäriin. Selkeytynyt vesi johdetaan hiekkasuodatukseen. Jänneniemien ja Hietasalon vesien yhdistämisen jälkeen, ennen veden johtamista alavesisäiliöön, suoritetaan veden desinfiointi natriumhypokloriitilla ja jälkikalointi kalkkivedellä. Kemiallisen puhdistusprosessin tarkoituksena on poistaa vedestä saostunut rauta ja mangaani sekä flokkaukseen käytetty alumiini ja orgaaninen aines. (Tikkanen, 2016.) Kuvassa 2 on esitelty Itkonniemen vedenpuhdistuksen prosessikaavio.



KUVA 2. Itkonniemen vedenpuhdistuksen prosessikaavio (Heikkinen 2018-10-03)

KIRJALLISUUSOSA

3 ORGAANINEN AINE SEKÄ HAJUN JA MAUN AIHEUTTAJAT RAAKAVEDESSÄ

3.1 Orgaaninen aine

Orgaanista ainesta (NOM, natural organic matter) kutsutaan luonnosta peräisin olevien eliöiden, sienten, kasvien ja mikrobien elintoimintojen tuottamaksi aineeksi, humukseksi. Se sisältää orgaanisen aineen tuottajista ja erilaisista hajoamisasteista riippuen monenlaisia yhdisteitä, ravinteita ja alkuaineita. Pintavesissä orgaaninen aine vaikuttaa veden laatuun säädellen mm. vesistöjen lämpötilaa, veden väriä, näkyvyyttä, happamuutta, ravinteita, hiilen kiertoa sekä haitallisten aineiden että metallien myrkyllisyyttä ja kulkeutumista vesistöissä. (Vesitalous 6/2014, 5.) Vedenpuhdistuksen kannalta orgaaninen aines aiheuttaa veteen hajua, makua ja väriä sekä edesauttaa biologista toimintaa. Se myös pystyy sitomaan itseensä muita molekyylejä ja muodostaa terveydelle haitallisia yhdisteitä sekä edesauttaa desinfioinnin sivutuotteiden muodostumista. (Vesitalous 6/2014, 10.)

3.1.1 Orgaaninen kokonaishiili

Orgaaninen kokonaishiili (TOC, total organic carbon) sisältää kovalenttisesti sitoutuneita orgaanisia yhdisteitä, johon kuuluu haihtuvat orgaaniset hiilet (VOC, volatile organic carbon), partikkelimuodossa olevat hiilet (POC, particulate organic carbon) sekä liuenneessa muodossa olevat orgaaniset hiilet (DOC, dissolved organic carbon) (Malinen 2008, 2).

TOC-pitoisuus ilmaisee veden sisältämän orgaanisten yhdisteiden määrää. Se kuvaa osittain humusaineiden määrää vedessä ja siihen luetaan myös organismien aineenvaihdunnasta syntyvät tuotteet, kuolleiden organismien jäänteet ja kaikki hiiltä sisältävät yhdisteet. TOC-arvon määrittäminen on nopeaa, helppoa ja tarkkaa ja siksi sitä käytetään usein veden laadun indikaattorina. (Malinen 2008, 2.)

TOC-arvo vaihtelee suuresti riippuen tutkittavasta vedestä. Merivesien ja pohjavesien TOC-pitoisuus on yleensä alle 1 mg/l, jokien ja järvien pitoisuudet vaihtelevat välillä 2-10 mg/l ja soilla TOC-pitoisuus voi kohota jopa 10 g/l. Suomessa TOC-pitoisuudelle ei ole asetettu enimmäispitoisuusrajaa mutta tavoitearvo hyvälle juomavedelle on alle 2 mg/l. (Malinen 2008, 2.)

Saastumattomissa vesissä TOC on yleensä peräisin humuksesta sekä hajonneista eläinten ja kasvien osista. Saastuneissa vesissä korkea TOC-pitoisuus on yleensä ihmisten aiheuttama, jolloin se on peräisin torjunta-aineista, lannoitteista, pesuaineissa käytetyistä tensideistä sekä huonosti puhdistetusta jätevedestä. (Malinen 2008, 2.)

3.2 Hajun ja maun aiheuttajat raakavedessä

Orgaanisen aineen lisäksi veteen hajua ja makua aiheuttavat mikro-organismit, kuten sädesienet ts. aktinobakteerit, levät sekä näiden aineenvaihdunnan tuotteet (Välilä 2002, 4). Eräät sinilevät, kulta-

levät ja piilevät tuottavat veteen maamaista, multamaista tai kalamaista hajua. Rungas leväsiintymä raakavesilähteen ympärillä hankaloittaa näin ollen vesilaitoksilla tapahtuvaa vedenkäsittelyä lisäämällä orgaanisen aineen määrää ja tukkimalla suodattimet. Maassa ja raakavedessä esiintyvät homeet ja aktinobakteerit aiheuttavat runsaina esiintyminä haju- ja makuhaittojen ohella myös terveydellistä haittaa. Verkostoon päästessään nämä voivat muodostaa biofilmejä ja aiheuttaa näin kroonisia hajuhaittoja. Suurimman osan hajuhaitoista aiheuttavat aktinobakteerit, jotka tuottavat joko geosmiinia tai 2-metyyli-isoborneolia (MIB) tai kumpaakin. Geosmiinin ominaishaju on maan haju ja MIB:lla puun tai kamferin haju. Aktinobakteerit voivat selvitä hengissä jopa desinfiointikäsittelystä. (Pääkkönen 1999, 8.)

Vesikasvillisuus, kuten lehdet, ruohot tai heinäkasvit ja niiden hajoaminen voivat aiheuttaa hajuhaittoja vedessä. Kasvillisuuden hajoamisesta seurannutta hajua on raportoitu mm. homeisen, mullan, puumaisen tai suon tyyppiseksi hajuksi. (Välilä 2002, 10.)

Teollisuuden ja yhdyskuntien jätevedet sekä maatalousalueiden valumavedet voivat olla myös osasyynä veden huonoon hajuun ja makuun. Vesistöihin johdetut jätevedet kuljettavat mukanaan orgaanisia ja epäorgaanisia yhdisteitä ja ravinteita, jotka suurina pitoisuuksina antavat veteen hajua. Vesistön happivarastot tyhjenevät jätevesien tuoman orgaanisen aineen hajotessa ja ravinteet edistävät veden biologista toimintaa, lisäten levien ja sädesienten tuottamia haju- ja makuhaittoja. Maatalouksien käyttämät kemialliset lannoitteet lisäävät veden fosfori- ja typpipitoisuutta, joka edistää veden rehevöitymistä. Monet torjunta-aineet eli pestisidit aiheuttavat voimakkaita hajuja vesissä. (Välilä 2002, 10–11.)

Orgaaninen aines aiheuttaa hetkittäin haju- ja makuhaittoja Kuopion Veden tuottamaan talousveteen. Lehtola (2018-11-20) kertoo, että varsinkin kesäisin lämmin sää ja kohonnut talousveden lämpötila vedenjakelujärjestelmässä aiheuttaa haju- ja makuhaittoja talousveteen. Kesäisin tapahtuva Hietasalon pohjavedenottamon vuosihuolto pakottaa vesilaitoksen turvautumaan osittain pintaveteen, jolloin veden laadullisia ongelmia yleisimmin ilmenee.

Lisäksi hajua ja makua voivat aiheuttaa vesilaitoksen omat puhdistusprosessit (mm. liiallinen tai vähäinen kemikaalien syöttö) ja vedenjakelujärjestelmässä mahdollisesti olevat mikrobikannat ja sakkaumat sekä veden vähäinen vaihtuvuus. Haju- ja makuhaitat tulevat yleensä ilmi talousvettä käyttävien asukkaiden ilmoitusten myötä.

Kuopion Veden kemiallisella puhdistusprosessilla yhdistettynä hiekkasuodatukseen, pystytään rajallisesti poistamaan puhdistettavasta vedestä hajua ja makua aiheuttavat yhdisteet. Tätä perusprosessia voitaisiin kuitenkin tehostaa käyttämällä hapettimia esimerkiksi otsonia tai adsorptioaineita kuten aktiivihiiltä. Tehostemenetelmä on kuitenkin valittava aina laitos- ja tapauskohtaisesti sillä puhdistettavan veden laadulla sekä laitoksella jo olemassa olevilla puhdistusyksiköillä on merkitystä puhdistusmenetelmän tehoon.

4 AKTIIVIHIIILI

Aktiivihiiili on teollisesti valmistettua erittäin hiilipitoista hiiltä, jonka adsorptiokykyä on tehostettu aktivoinnilla. Aktivoinnilla hiilirakeen pintaan poltetaan erikokoisia huokosia, jolloin hiilen pinta-ala moninkertaistuu. Aktiivihiiilen pinta-alan kasvaessa myös sen adsorptiokyky kasvaa lähes samassa suhteessa. Ominaispinta-ala on yleensä 500–1500 m²/g aktivoinnin jälkeen. (Hyttinen 2007, 17.)

Aktiivihiiilen toiminta perustuu hiilen adsorptiokykyyn sitoa (Hyttinen 2007, 7.):

- orgaanisia yhdisteitä (hapot, alkoholit, aldehydit)
- epäorgaanisia yhdisteitä (halogeenit, rikkidioksidi ja -hapo)
- levien tuottamia myrkkijä
- lääkaineita
- hajua- ja makuaineita
- väriä
- radonia ja raskasmetalleja
- sekä orgaanisia hiilyhdisteitä.

Aktiivihiiiltä käytetään nesteiden ja kaasujen puhdistukseen, elintarvike- ja kemianteollisuudessa, värinpoistoon, värjäykseen sekä lääketeollisuudessa vaarallisten aineiden imeytykseen. Aktiivihiiili on yleisimmin käytetty adsorboiva materiaali ja pääasiassa sitä käytetään poistamaan orgaanisia aineita nesteistä ja kaasuista. Talousveden puhdistuksen kannalta aktiivihiiili on tehokkain hajun ja maun poistaja. (Välilä 2002, 15–16.)

Aktiivihiiilen valmistusvaiheeseen kuuluu pyrolyysi ja aktivointi. Pyrolyysissä poltetaan (alle 700 °C) suurin osa haihtuvista aineista hapettomassa tilassa, jolloin amorfinen hiili osittain grafitoituu. Aktivoinnin aikana (800–1100 °C) hiileen muodostuu varsinainen huokosrakenne. Kemiallisesti valmistettuun hiileen lisätään aktivointiainetta esimerkiksi sinkkikloridia, jonka jälkeen hiili poltetaan 600–700 asteen lämpötilassa. Elintarvikekäyttöön tarkoitetut hiilet aktivoidaan ainoastaan höyryllä. (Välilä 2002, 15.)

Aktiivihiiiltä voidaan käyttää joko kertakäyttöperiaatteella tai aktiivihiiili voidaan uusiokäyttää eli regeneroida/reaktvoida. Reaktivointi tehdään hiiltä kuumentamalla hapettomassa tilassa. Reaktivointia suositellaan siinä tapauksessa, jos hiilen käyttö on jatkuvaa ja käytettävät erät ovat suuria. Reaktivointia tehdään pääasiassa vain raemaisille hiililaaduille. (Välilä 2002, 15.)

Aktiivihiiiltä valmistetaan hiilipohjaisista materiaaleista; kivihiilestä, puusta, raakaöljystä ja kookoksen kuorista. Aktiivihiiiltä on saatavilla mm. jauheena, rakeisena, monoliittinä, nanoputkina, kuituna, kankaisena ja pelletteinä. Eri raaka-aineista valmistetuilla hiilillä on oma rakenteensa, jolla on vaikutusta hiilen adsorptio-ominaisuuksiin. Tämä on otettava huomioon, kun valitaan käyttötarkoitukseensa sopiva aktiivihiiilaatu. (Pulkinen 2010, 15.) Vedenpuhdistukseen aktiivihiiiltä käytetään yleensä rakeisena tai jauheena.

4.1 Aktiivihiihen rakenne ja ominaisuudet

Aktiivihiihi luokitellaan amorfiseksi aineeksi, koska sillä ei ole selvää kiderakennetta. Aktiivihiihi on karkeasti grafitoitunut. Se kuitenkin eroaa grafiitista epäsäännöllisen muotonsa, tiheiden erikokoisten huokosten takia. Huokoinen rakenne antaa hiilelle erittäin suuren ominaispinta-alan, joka mahdollistaa hiilen adsorboimaan lukemattoman määrän erilaisia yhdisteitä. (Cheremisinoff, 2001). Aktiivihiihen niin kutsutun tehokkaan pinta-alan koko vaihtelee käytetyn raaka-aineen ja aktivointiasteen mukaan. (Pulkinen 2001, 8.)

Aktiivihiihen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet vaikuttavat sen adsorptiokykyyn ja ominaisuuksiin erilaiset aktiivihiihet soveltuvat näin ollen eri tavoin eri käyttökohteisiin. Yleisimmät aktiivihiihen ominaisuudet ja sitä myöten adsorptiokykyyn vaikuttavat parametrit ovat (Binnie 2009, 184.):

- raekoko/kokojakauma
- tasaisuusluku
- huokosten määrä ja huokoskoko
- ominaispinta-ala (BET)
- jodiluku
- metyleenisiniluku
- tilavuuspaino
- tuhkapitoisuus
- tiheys.

Aktiivihiihen raekoko murskehiilillä vaihtelee 0,2-5 mm, raehiilillä 0,425–2,36 mm ja pelleteillä 0,8–5 cm. Jauhemaisen aktiivihiihen partikkelit ovat pienempiä kuin 0,045 mm. Raekooltaan pienimmät aktiivihiihet ovat tehokkaampia adsorboimaan, koska adsorptiokyky tehostuu raekoon pienentyessä ja pienirakeisen aktiivihiihen ympärille muodostuu suurempi diffuusiokerros. Pienemmillä aktiivihiihirakeilla siis saavutetaan nopeampi adsorboituminen ohuemmalla aktiivihiihipatjalla. Ongelmaksi kuitenkin muodostuu virtausvastuksen ja painehäviön kasvu, sillä hienojakoisemmat rakeet asettuvat suodattimeen tiiviimmin kuin karkeammat isot rakeet, jolloin tyhjää tilaa rakeiden väliin jää vähemmän. Valittaessa sopivaa raekokoa, on aina tehtävä kompromissi adsorptiokykyyn ja hydraulisten ominaisuuksien välillä. (Välilä 2002, 19; Pulkinen 2010, 13.)

Aktiivihiihen rakenne muodostuu kolmenlaisista erikokoisista huokosista; mikrohuokosista (< 2 nm), mesohuokosista (2-50 nm) ja makrohuokosista (> 50 nm). Aktiivihiihen adsorptio-ominaisuudet riippuvat sen huokosrakenteesta, sillä huokoskoko on suoraan verrannollinen adsorboitavien molekyylien kokoon. Aktiivihiihen huokosten pinta-ala vaikuttaa siihen, kuinka paljon adsorbaatteja aktiivihiihi pystyy sitomaan pinnalleen. Mikrohuokokset ovat aktiivihiihessä adsorptiokapasiteetiltaan suurin alue. Ne ovat tehokkaimmat adsorboitaessa pieniä partikkeleita. Makrohuokokset adsorboivat suuria partikkeleita ja mesohuokosten avulla levittävät suodatettavan aineen aktiivihiihen sisällä oleville adsorptiopinnoille. Pienimmät partikkelit sitoutuvat voimakkaimmin kiinni aktiivihiihen pintaan, koska ne kulkeutuvat aktiivihiihen syvällä oleviin huokosiin. Ongelmia muodostuu jos puhdistettava neste sisältää liian suuria partikkeleita aktiivihiihen huokoskokoon nähden. Tällöin aktiivihiihen makrohuokoinen alue

voi kokonaan tukkeutua, koska adsorboitavat partikkelit eivät pääse kulkeutumaan ja kiinnittymään aktiivihiihen sisälle meso- ja mikrohuokoisille alueille. (Hannola 2007, 17.)

Aktiivihiihen tiheys tarkoittaa hiilen huokoisen pinta-alan määrää suhteessa aktiivihiihen kokoon. Korkea tiheys merkitsee suurempaa adsorptiopinta-alaa ja näin ollen adsorptiokyky on parempi kuin tiheydeltään pienemmällä aktiivihiihällä. Tiheys vaihtelee paljon eri raaka-aineista valmistettujen aktiivihiihien välillä. Parempaan tiheyden omaavista hiilistä voidaan valmistaa pienikokoisia ja tehokkaita aktiivihiihiä. Tiheys voidaan määrittää esimerkiksi jodi- ja metyleenisiniluvun avulla. (Pulkinen 2010, 12.)

Aktiivihiihen tärkeä ominaisuus on ominaispinta-ala, joka kertoo, kuinka paljon hiilellä on pinta-alaa epäpuhtauksien adsorboimiseen. Aktivoidun hiilen ominaispinta-ala on noin 500...1500 m²/g ja adsorbointikyky kasvaa lähes samassa suhteessa. Parhaimmillaan aktiivihiihi pystyy sitomaan lähes 10 % painostaan orgaanisia aineita. Aktiivihiihen ominaispinta-alaa on kuitenkin hankala mitata, jolloin aktiivihiihen adsorptiokapasiteettia mittaavia suureita ovat myös jodiluku, metyleenisiniluku sekä BET-analysillä tehdyt mittaukset. Aktiivihiihen pinta-alasta 99 % on partikkelien sisäosissa. (RIL 192-1991, 39, RIL 124-2-2004, 405).

Jodiluku kuvaa aktiivihiihen luonnetta adsorboida epäpuhtauksia ja kuvaa BET:n tavoin aktiivihiihen adsorptiopinta-alaa. Jodiluku tarkoittaa yhden hiiligramman adsorboimaa määrää jodia (mg/g). Vaikka korkeampi jodiluku tarkoittaa aktiivisempaa hiiltä, se ei välttämättä käytännön sovelluksessa merkitse parempaa adsorptiokykyä. Vertailtaessa eri raaka-aineista valmistettuja aktiivihiihiä keskenään, ei jodilukua voida käyttää yksinomaan valintaperusteena. On kuitenkin huomattu, että jodiluvun ja BET -pinta-alan välillä tapahtuu korrelaatiota ja tavallisesti BET:n arvo on jodilukua 50–100 yksikköä suurempi. (Välilä 2002, 19.)

Metyleenisinilukua käytetään arvioimaan kuinka paljon esimerkiksi 1 g hiiltä pystyy adsorboimaan aromaattista metyleenisiniä. Metyleenisiniluku kuvaa aktiivihiihessä olevien yli 15 nm kokoisten meso- ja mikrohuokosten määrää. Metyleenisiniluku on tärkeässä osassa tutkittaessa hiilen adsorptiokapasiteetin huononemista, sillä Suomen vesistöt luokitellaan suurimmaksi osaksi suurimolekyylisiksi humusvesiksi. (Välilä 2002, 20.)

Tilavuuspaino aktiivihiihelle vaihtelee 200–600 kg/m³. Suunniteltaessa aktiivihiihentuotantokokoa sekä laskettaessa tarvittavaa aktiivihiihimäärää, käytetään huuhdellun ja kuivatun hiilen tilavuuspainoja, jotka ovat yleensä n. 10–15 % pienempiä kuin käyttämättömän aktiivihiihen tilavuuspainot. Tilavuuspaino riippuu aktiivihiihen valmistamiseen käytetystä raaka-aineesta. Tilavuuspainoa seurataan aktiivihiihen reaktiivoinnin takia, koska tilavuuspaino pienenee aina reaktiivoinnin seurauksena. Avosuodattimissa suuren tilavuuspainon omaavasta aktiivihiihlestä on merkittävää hyötyä, sillä se mahdollistaa hiilipatjan tehokkaan huuhtelun, ilman että hiili huuhtoutuu viemäriin. (Välilä, 2002, 21).

Aktiivihiilen ominaisuuksista kertovia suureita ovat myös tasaisuusluku ja tuhkapitoisuus. Tasaisuusluku kuvaa hiilen partikkelijakauman laajuutta, tasaisuusluvulla on merkitystä adsorptiokykyyn ja mm. suodattimille tehtävän vastavirtahuuhtelun onnistumiseen. Suuri tasaisuusluku mahdollistaa hiilen uudelleenkerrostumisen huuhtelussa niin, että adsorptiotehokkuus säilyy. Aktiivihiilen suuri tuhkapitoisuus alentaa hiilen adsorptiokykyä tukkimalla pienimmät huokokset. Tuhkapitoisuus vaihtelee eri hiilen valmistukseen käytettyjen raaka-aineiden välillä jopa 1-10 % ja se nousee reaktiivoinnin myötä. (Väilä 2002, 21.)

4.2 Aktiivihiilen valmistus ja regenerointi

Aktiivihiilen valmistuksessa on kolme vaihetta; raaka-aineen valinta, pyrolyysi/hiillytys ja aktivointi. Aktiivihiiltä valmistetaan yleisimmin puusta, sahanpurusta, kookospähkinänkuorista, kivihiilestä ja jopa raakaöljyn jätteistä. Uutena raaka-aineena käytetään myös hiilimonoliittia. (Pulkinen 2010, 15.)

Aktiivihiilen lopulliseen laatuun vaikuttavat (activatedcarbon.com):

- käytettävä raaka-aine
- aktivointiin käytetty aika
- valmistukseen käytetty lämpötila
- aktivointiin käytettyjen hapettavien kaasujen tyyppi ja pitoisuus.

Raaka-aineen valinta vaikuttaa aktiivihiilen ominaisuuksiin ja siitä syystä raaka-aine valitaan aina käyttötarkoitukseensa sopivaksi. Valinnassa huomioidaan lopputuotteen eli aktiivihiilen partikkelikoko, kokonaispinta-ala, huokosten rakenne ja aineosasten välillä oleva tyhjä tila. Eri raaka-aineista valmistettujen aktiivihiilien aktivointiaste ja huokosjakauma sekä hinta vaihtelevat huomattavasti. Kivihiili on yleisin raaka-aine aktiivihiilen valmistuksessa sen edullisen hintansa vuoksi. (Pulkinen 2010, 15.)

Raaka-aineen valinnan jälkeen vuorossa on raaka-aineen hiillytys, joka tapahtuu 800–1000 °C:ssa hapettomassa uunissa. Tavoitteena on poistaa suurin osa hiilivedyistä ja hiilestä, jolloin jäljelle jäävän hiilen pinta-ala kasvaa ja muuttuu huokoiseksi. Hiillytyksen aikana hiilestä poistuu paljon epäorgaanisia yhdisteitä. (Pulkinen 2010, 16.)

Aktiivihiilen valmistuksen viimeinen vaihe on aktivointi. Se tehdään joko fysikaalisesti tai kemiallisesti. Aktivointitapaan vaikuttaa hiilen raaka-aine ja lopputuotteelle halutut ominaisuudet. Aktivoinnilla pyritään kasvattamaan hiilen huokosten kokoa ja halkaisijaa. Aktivoinnin aikana hiilen huokosista poistuu hiiltä, rikkiä, tuhkaa, aromaattisia yhdisteitä ja kosteutta, joka kasvattaa huokosten tilavuutta. Hiilen osittaisessa hapettumisessakin muodostuu myös hiilimonoksidikaasua, jonka vaikutuksesta huokoisuus kasvaa. (Pulkinen 2010, 17.)

Aktiivihiiltä valmistettaessa puupohjaisista raaka-aineista (sahanpuru, turve, puu), käytetään kemiallista aktivointia. Ennen kuumentamista 400–800 °C:een, raaka-aine käsitellään fosforihapolla, sinkki-

kloridilla tai rikkihapolla poistamaan kosteus. Näiden kemikaalien annosmäärällä on merkitystä aktiivihiihen huokoskokoon, koska mitä enemmän kemikaaleja, sitä isommat ovat aktiivihiihen huokokset. Kemiallisen aktivoinnin seurauksena aktiivihielestä tulee huokosrakenteeltaan avoin, jolloin se sopii suurien molekyylien adsorboimiseen. Kemiallisen käsittelyn ja kuumentamisen jälkeen hiili on aktivoitunut. Aktiivihiihi pestään vielä vedellä tai hapolla, jotta epäpuhtaudet poistuvat. Kemiallisesti aktivoitu hiili yleensä jauhetaan jauhemaiseksi aktiivihieheksi (PAC). (Pulkkinen 2010, 16.)

Fysikaaliseen aktivointiin voidaan käyttää kovempia raaka-aineita esimerkiksi kivihiiltä, bambua tai kookospähkinän kuorta. Hiili aktivoidaan kaasun (hiilidioksidi, vesihöyry tai höyry-hiilidioksidiseos) avulla 800–1100 °C:ssa. Höyryaktivoinnilla valmistettaessa aktiivihiihen ulkoisesta adsorptiopinta-alasta tulee suuri ja rakenteesta pienenhuokoinen. Aktivointiosuuden jälkeen aktiivihieheksi voidaan valmistaa joko jauhemaiseksi (PAC) tai rakeiseksi (GAC) aktiivihieheksi. (Pulkkinen 2010, 20.)

Aktiivihiihen tehokkuus adsorboida epäpuhtauksia laskee aina käyttöönsä myötä. Tällöin on valittava halutaanko aktiivihieheksi aktivoida uudelleen eli regeneroida tai vaihtaa kokonaan uuteen erään. Reaktiivoinnilla hiehelestä poistetaan adsorption seurauksena pinnalle pidäytyneet pääosin orgaaniset aineet, jolloin adsorptiokapasiteetti palautuu osittain. Reaktiivoinnilla ei aktiivihiihen adsorptiokykyä saada palautettua samalle tasolle kuin uudella aktiivihiehelellä, johtuen mm. tuhkapitoisuuden kasvusta, joka huonontaa aktiivisuutta. Reaktiivointia tehdään pääsääntöisesti vain raemaiselle aktiivihiehelelle. Reaktiivointi suoritetaan termisesti kuumentamalla hiehehettä hapettomassa tilassa, jolloin syntyy hiehehävaiotä noin 10 %. Hiehehen menetys korvataan tätehiiehelellä. Termisen regeneroinnin vaiheet ovat kuivaus-, poltto- ja aktivointivaihe. (Välilä 2002, 22.)

Vaihtoehtona termiselle reaktiivoinnille on kemiallinen regenerointi esim. natriumhydroksidilla tai muilla kemikaaleilla. Tämä ei kuitenkaan ole tehokas menetelmä palauttamaan adsorptiokapasiteettiä toisin kuin terminen reaktiivointi. Kemiallisen reaktiivoinnin haitat piilevät osittain käytetyissä kemikaaleissa, koska ne on hankala poistaa myöhemmin aktiivihiehelestä. Kemiallista aktivointia ei myöskään saa suorittaa elintarvikekäyttöön tarkoitettulle hiehehelle. (Välilä 2002, 23.)

Välilä kertoo opinnäytetyössään (2002, 23), että eräänlaiseksi hiehehen regeneroinniksi voidaan luokitella myös aktiivihiehehisuodattimissa tapahtuva hallittu mikrobiologinen toiminta, biologinen regenerointi. Aktiivihiehehessä elävä biofilmi käyttää ravinnokseen hiehehen adsorboituneita orgaanisia molekyyliä ja vapauttaa samalla adsorptiopaikkoja uusille molekyyleille pidentäen hiehehen adsorptiokykyä.

Aktiivihiehehen vaihto kokonaan uuteen tulee kysymykseen silloin, jos reaktiivointikustannukset nousevat korkeammaksi kuin uuden aktiivihiehehen osto tai jos reaktivoitu hiehehe ei enää adsorboi haitallisia yhdisteitä tarpeeksi tehokkaasti.

5 AKTIIVIHIILEN KÄYTTÖ VEDENPUHDISTUKSESSA

Aktiivihiihliltä käytetään yleisesti vedenpuhdistuksessa, koska se on tehokkain adsorbentti poistamaan erityisesti orgaanisia aineita sekä makua ja hajua aiheuttavia yhdisteitä. Orgaanisten yhdisteiden poisto aktiivihiihellä vähentää mm. eräiden sinilevien tuottamia toksiineja sekä desinfiointissa käytetyn kloorin sivutuotteen, terveydelle haitallisten trihalometaanien muodostumista. Orgaanisen aineen vähentäminen hillitsee myös valurautaputkiston korroosiota, bakteereiden kasvua ja vähentää tarvittavaa klooriannostusta verkostoon. Aktiivihiihellä voidaan myös poistaa lääke-aineita, torjunta-aineita, liuottimia ja jopa radonia. Aktiivihiihellä ei pystytä poistamaan vedestä mikrobeja, natrium- ja nitraattia, fluoria eikä kovuutta. (Cheremisinoff 2001, 407; Väliä 2002, 25.)

Aktiivihiihliltä käytetään vedenpuhdistukseen yleensä joko jauhemaisena tai rakeisena eli granuloituna. Se kumpaa käyttää, riippuu vesilaitoksen puhdistettavasta vedestä ja sen sisältämistä/poistettavista epäpuhtauksista. Jauhemaisen aktiivihiihen etuja ovat halvempi hinta verrattuna rakeiseen hiileen sekä joustavat annostelumahdollisuudet. Jatkuvässä käytössä jauhemaisen hiilen käyttö tulee kuitenkin kalliimmaksi ja ongelmia voi muodostua jauheen vääränlaisesta annostelumäärästä, liian lyhyestä viipymästä tai liian likaisesta puhdistettavasta vedestä. (Väliä 2002, 24). Orgaanisten aineiden poistaminen edellyttää, että aktiivihiihliäsuodatusta edeltävät puhdistusprosessit toimivat tehokkaasti.

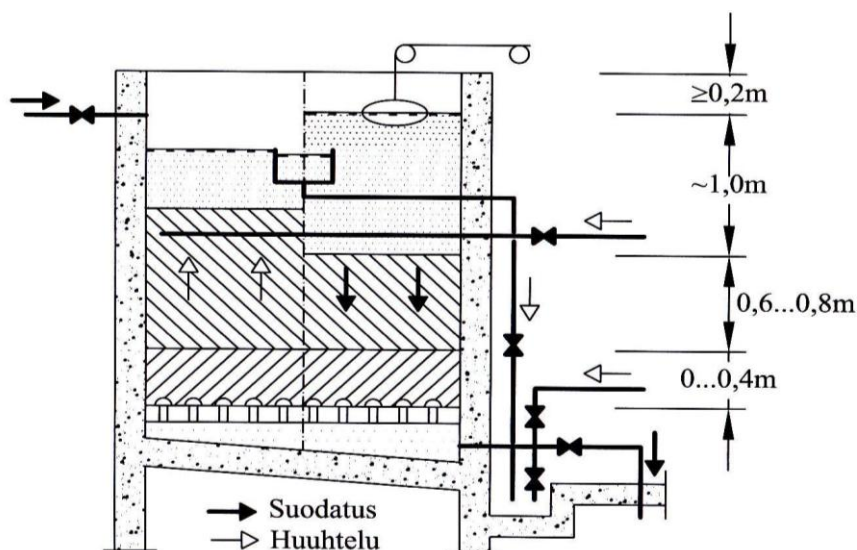
Rakeisella aktiivihiihellä suodatus tapahtuu avonaisissa suodatinaltaissa tai suljetuissa suodattimissa painovoiman tai paineellisesti tapahtuvan suodatuksen avulla. Vedenkäsittelyprosessissa aktiivihiihliäsuodatusyksikkö tulisi sijoittaa raudan- ja mangaanin- ja mahdollisen uraaninpoiston jälkeen mutta kuitenkin ennen desinfiointiyksikköä. Näin aktiivihiihlien käyttöä voidaan jopa kaksinkertaistaa. (Ympäristöopas, 44.) Aktiivihiihliäsuodatus soveltuu lähinnä jälkikäsittelymenetelmäksi kemiallisesti puhdistetulle vedelle (Väliä 2002, 24).

Aktiivihiihliäsuodattimen kykyyn poistaa haitta-aineita vedestä, vaikuttaa hiilen laatu ja sen vuoksi hiili on valittava aina tapauskohtaisesti raakaveden laadun perusteella. Raakaveden laatu saattaa vaihdella vuodenaikojen mukaan huomattavastikin ja näin ollen ennen aktiivihiihliäsuodatuksen rakentamista on hyvä suorittaa eri aktiivihiihliälaaduilla kokeellisia testauksia. (Väliä 2002, 24.)

5.1 Avosuodattimen rakenne ja toimintaperiaate

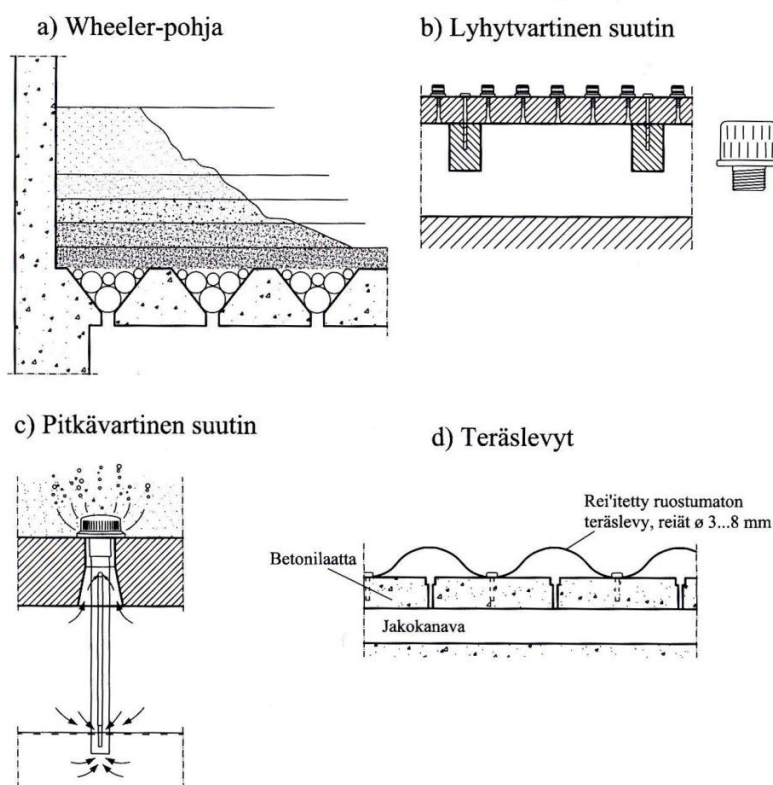
Vesien käsittelyssä suodatustekniikka on yleisesti käytetty prosessi, jota käytetään teollisuusvesien, jätevesien ja talousveden käsittelyyn, usein viimeisenä prosessinvaiheena. Suodatuksen periaatteena toimii veden suodattaminen suodatinmateriaalin läpi, jolloin kiinteät epäpuhtaudet jäävät suodatinmateriaalin pinnalle tai pidäytyvät suodatinmateriaalin sisälle. Suodattimen perusrakenne toimii paineellisesti suljetussa säiliössä tai avonaisissa suodattimissa (kuva 3) veden omalla hydrostaattisella paineella joko vuorotoimisena tai jatkuvatoimisena. Vuorotoiminen merkitsee sitä, että suodatus ja huuhtelu vuorottelevat määrättyinä jaksoina. (RIL 124-2-2004, 107, 396.) Jatkuvatoimisena huuhtelu ja suodatus tapahtuvat yhtä aikaa, tästä hyvänä esimerkkinä toimii DynaSand® vastavir-

tasuodattimet (Silvast 2013, 14). Painesuotimena toimii umpinainen säiliö, jonka sisälle suodatusmateriaali asennetaan erillisen suodatinpohjan päälle (RIL 124-2-2004, 396.).



KUVA 3. Esimerkki tasarakeisen avosuodattimen rakenteesta (RIL 124-2-2004, 396, kuva 312).

Suodatinpohja on rakenne, jonka päällä suodatinmateriaali lepää ja jonka läpi vesi pääsee virtaamaan ylhäältä alas ja huuhtelun aikana alhaalta ylös (vastavirtahuuhtelu). Suodatinpohjan ns. välitila toimii samalla suodatinsuuttimien kautta suodatetun veden keräysaltaana. Yksinkertaisuudessaan suodatinpohja voi olla rei'itetty levy mutta nykyisin käytetään teollisesti valmistettuja suuttimia (kuva 4). Suodatinrakenne (seinät ja alusta) rakennetaan yleensä betonista, teräksestä tai muovista. (RIL 124-2-2004, 396.)

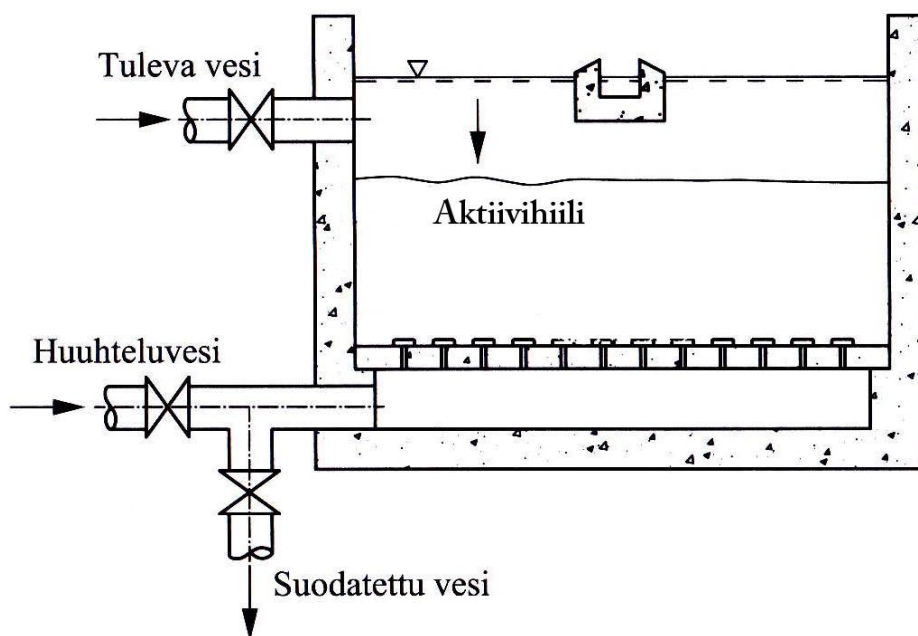


KUVA 4. Esimerkkejä suodatinpohjaratkaisuista (RIL-124-2-2004, 397, kuva 313).

Suodatinmateriaalin yläpuolelle rakennetaan huuhtelukourut, joiden kautta huuhteluvesi johdetaan viemäriin. Suodatinmateriaalin ja huuhtelukourujen välinen etäisyys on oltava riittävän suuri, jotta vältetään suodatinmateriaalin karkaamiselta huuhtelun aikana. Vastavirtahuuhtelu tarkoittaa huuhtelupumppujen avulla tapahtuvaa vesi tai vesi-ilma huuhtelua, jossa vesi virtaa suodatinpohjan kautta ja suodatinmateriaalin läpi alhaalta ylös. Vastavirtahuuhtelun tavoitteena on saada suodatinmateriaali leijumaan, jolloin suodatusmateriaaliin kiinnittyneet epäpuhtaudet irtoavat ja huuhtoutuvat huuhtelukourujen kautta pois. Pelkkä vesihuuhdelu kestää tilanteesta riippuen noin 10...15 minuuttia, ilmaa käyttäen saadaan aikaan tehokkaampi rakeiden puhdistus sekä päästään lyhyempään huuhteluedentarpeeseen. Huuhteluvesiventtiileiden ja huuhteluputkien lisäksi suodatinyksikköön tarvitaan suodattimelle tulevat että lähtevät vesiputket venttiileineen. (RIL 124-2-2004, 396, 298.)

5.1.1 Aktiivihiilisuodatin

Kuvassa 5 on havainnollistettu aktiivihiilisuodattimen rakenne. Sen käyttö ja huuhtelu tapahtuvat samalla tavalla kuin edellisessä kappaleessa kuvatun avosuodattimen. Epäpuhtauksien adsorptiota tapahtuu koko aktiivihiilipatjan matkalta mutta aktiivihiilien kyllästyminen alkaa aktiivihiilipatjan yläpäästä. Suodatus voidaan toteuttaa joko korvaamalla hiekkasuodattimet tai rakentamalla aktiivihiilisuodattimet heti hiekkasuodattimien perään. On olemassa myös hiekkasuodattimia, joihin on lisätty rakeinen aktiivihiilikerros (GAC) kahden hiekkapatjan väliin. GAC ei huononna hiekkasuodattimien suodatustehoa mutta GAC:n regeneroimistarve nostaa suodattimien käyttökustannuksia. (RIL 192-1991, 41.)



KUVA 5. Aktiivihiilisuodattimen rakenne (RIL 124-2-2004, 399 muok. kuvasta 315).

Jos aktiivihiilisuodattimia päätetään käyttää hiekkasuodatuksen korvaajana, on otettava huomioon tiettyjä rajoituksia (RIL 192-1991, 41.):

- tehokkaamman hienorakeisen aktiivihiilen käyttöä ei suositella, jos aktiivihiili toimii samalla mekaanisena suotimena
- vanhoja hiekkasuodatinaltaita käytettäessä ei voida vapaasti vaikuttaa kontaktiaikaan

- usein suoritettava vastavirtahuuhtelu voi rikkoa ja irrottaa hiiltä sen verran, että sitä joutuu pesuveden mukana viemäriin
- aktiivihiihen adsorptio ei ole niin hyvä kuin erillisillä hiekka- ja aktiivihiihisuodattimilla.

Jos päätetään rakentaa kokonaan uudet aktiivihiihisuodattimet, on huomioitava seuraavia seikkoja:

- Altaan pohjalle sijoitettavien suuttimien raot tulee mitoittaa pienemmiksi kuin aktiivihiihiraakkeen koko, jolloin estetään suutinten tukkeutuminen.
- Mahdollisen viallisen tai rikkoutuneen suuttimen kautta suodinpohjan alle päässeet aktiivihiihirakeet voivat tukkia suuttimen huuhtelun aikana, jolloin huuhteluveden mukana hiiliraakkeet kulkeutuu ylös takaisin suuttimeen. Suodinpohjan rikkoutumisen välttämiseksi tulee liallinen ylipaineen nousu suodatinpohjan alle estettävä.
- Tarvittava huuhteluvesi määräytyy voimakkaasti mm. hiililaadusta ja veden lämpötilasta. Tällöin huuhteluveden määrä tulee olla helposti säädettävissä. Jotkin hiililaadut tarvitsevat jopa 40 m/h huuhteluvettä puhdistuakseen.
- Eri hiililaadut asennetaan suodatinaltaaseen eri tavoin ja hiilen vaihtamiseen tarvitaan laitteet. Maahantuojalta on selvitettävä ko. hiilen asennustapa.
- Kun suodatus joudutaan pysäyttämään, aktiivihiihessä tapahtuvan biologisen toiminnan seurauksena saattaa happi loppua ja suodattimeen syntyä hapeton tila, joka voi käynnistyksen yhteydessä aiheuttaa satunnaisia haju- ja makuhäiriöitä.
- Aktiivihiihi aiheuttaa korroosiota metallipinnoissa, jolloin pintojen suojaus on otettava huomioon ennen aktiivihiihen käyttöön siirtymistä. Myös betonipinnat kannattaa pinnoittaa. (RIL 192-1991, 41-42.)

Aktiivihiihisuodattimia täytyy huuhdella tasaisin väliajoin kiintoaineen poistamiseksi, aktiivihiihen adsorption toimivuuden takaamiseksi sekä mahdollisten mikrobikasvustojen hallitsemiseksi. Huuhtelutarve huomataan yleensä paineen nousuna suodattimen huokosten tukkeutuessa. Huuhtelua ei kuitenkaan saa tehdä liian usein, sillä se voi heikentää aktiivihiihen kapasiteettia. Vaikka aktiivihiihen biologisen toiminnan avulla tehostetaan orgaanisten yhdisteiden poistumista aktiivihiihen pinnalta, huuhtelematon suodatin taas voi muuttua mikrobien täysin hallitsemaksi kasvualustaksi ja tukkeutunut suodatin voi päästää saostumia veteen. Huuhtelutarve ja huuhteluvälit riippuvat raakaveden ja aktiivihiihen laadusta ja vedelle tehdystä esikäsittelystä. Huuhteluväliä pystytään esimerkiksi pitkittämään raudan ja mangaanin saostamisella ja hiekkasuodattamalla käsiteltävä vesi ennen aktiivihiihisuodattimeen johdattamista. (Ympäristöopas, 42.)

Aktiivihiihen suodatuksen toimivuutta on jatkuvasti tarkkailtava, jotta aktiivihiihen adsorptiokapasiteetti ei ylittyisi. Kapasiteetin ylittyessä, suodattimen lähtevän veden TOC -pitoisuus voi nousta jopa raakaveden pitoisuutta korkeammaksi, koska hiilen huokosiin rikastuneet yhdisteet voivat irrota hiilestä adsorption huonontuessa. Myös poikkeukselliset veden laadun muutokset voi vaikuttaa aktiivihiihen kapasiteettiin, esimerkiksi veden pH:n yllättävä nousu voi irrottaa haitta-aineita suodattimesta. (Ympäristöopas, 43.)

Aktiivihiiisuodatusta ensimmäisiä kertoja asennettaessa ja uuteen hiililaatuun vaihdettaessa olisi hyvä teettää haitta-ainemääryksiä esimerkiksi kuukausittain, kunnes hiilen kapasiteetti on saatu varmennettua. Näin saadaan selville aktiivihiihen vaihtoväli. (Ympäristöopas, 43.)

5.1.2 Biologinen aktiivihiiisuodatin (BAC)

Joonas Vätilä (2002, 25–27) kertoo opinnäytetyössään aktiivihiiisuodattimen uusien aktiivihiihen poistavan orgaanisia yhdisteitä aluksi pelkästään mekaanisesti ja kemiallisesti, kunnes aktiivihiihen huokosiin ja rakenteisiin alkaa muodostumaan useita eri mikrobeja käsittävä mikrobikanta, joka käyttää ravinnokseen hiilen adsorboimia orgaanisia aineita. Mikrobikannan muodostumisen seurauksena aktiivihiiisuodatus muuttuu myös biologiseksi aktiivihiiisuodatuksiksi (BAC). Biologisella hajotustoiminnalla voidaan pidentää aktiivihiiisuodattimien käyttöikää sekä vähentää biologisesti hajoavan orgaanisen hiilen (BDOC) määrää suodatetussa vedessä. Biologinen suodatus poistaa mm. metyyli-isoborneolia (MIB), geosmiinia, ammoniakkia ja fenolia.

Biologisen aktiivihiiisuodattimen toimintaa säätelevä merkittävä tekijä on systeemin happipitoisuus. Happipitoisessa ja aerobisessa ympäristössä orgaanisten aineiden hajotus on tehokkaampaa, nopeampaa ja täydellisempää kuin hapettomassa, anaerobisessa ympäristössä. Hapettomassa tilassa orgaanisten aineiden hajotustoiminnan seurauksena vapautuu pelkistyneitä yhdisteitä kuten rikkivetyä, metaania ja ammoniakkia. Biologisen toiminnan tehokkuus suodattimessa riippuu myös viipymästä ja suodatettavan veden lämpötilasta. Matalammassa lämpötilassa tarvitaan pidempi viipymä saman bioaktiivisuuden ylläpitämiseksi. (Vätilä 2012, 26–27.)

Biologisen aktiivihiiisuodatuksen taloudellisuus perustuu biologisesti hajoavan orgaanisen aineen poistamiseen, sillä mitä suurempi osa saadaan poistettua, sitä vakaampaa vedestä tulee ja bakteerien kasvua verkostossa saadaan vähennettyä. Vaikka bakteerimäärä on yleensä suurempi suodattimilta lähtevässä vedessä kuin suodattimille tulevassa, silti bakteerien desinfioimiseen tarvittava klooriannos on pienempi, koska biologisesti hajoavan orgaanisen aineen hapettamiseen kuluu vähemmän klooria. Biologinen aktiivihiiisuodatus myös vähentää klooridesinfioinnin sivutuotteiden (trihalometaani) muodostumista. (Vätilä 2012, 26–27.)

5.1.3 Rakeinen aktiivihiihi, GAC (granular activated carbon)

Rakeinen eli granuloitu aktiivihiihi on yleisimmin käytetty suodatusmateriaali haitallisten hajujen ja makujen poistossa. Se toimii samaan tapaan kuin hiekkasuodatus ja aktiivihiiisuodattimet voidaan sijoittaa esimerkiksi vesilaitoksella olevien entisten hiekkasuodatusaltaiden paikalle tai lisätä olemassa olevan hiekkasuodattimen yhteyteen osaksi puhdistusprosessia. (RIL 124-2-2004, 407.)

GAC:n tiheys on yleensä 220...500 g/dm³ ja rakeiden koko vaihtelee 0,425...2,36 mm välillä. Vesilaitoksissa käytettävien rakeiden koko on yleensä 1,2 mm ja 1,6 mm välillä. Aktiivihiiisuodatinyksikköjen sijoittaminen vedenkäsittelyprosessiin on vapaampi kuin esimerkiksi jauhemaista aktiivihiihiltä (PAC) käytettäessä. GAC-yksikön sijoittaminen ennen flokkausta/laskeutusta, vaikuttaa aktiivihiihen

käyttöikään ratkaisevasti, sillä aktiivihiili ”tukkeutuu” nopeammin puhdistettavan veden sisältämistä epäpuhtauksista. Optimaalisin sijoituspaikka käyttöikää ja aktiivihiilen puhdistustehokkuutta ajatellen, on sijoittaa GAC heti hiekkasuodattimien jälkeen, jolloin vältytään aktiivihiilien ennenaikaiselta regeneroinnilta. (RIL 124-2-2004, 407–408.)

Granuloidun aktiivihiilisuodattimen pintakuorma vaihtelee välillä 2-25 m/h, tarpeesta riippuen. Suodattimet huuhdellaan samaan tapaan kuin hiekkasuodattimet eli vastavirta huuhtelulla joko pelkällä vedellä tai vesi-ilma seoksella mutta huuhtelussa on otettava huomioon aktiivihiilen pienempi tiheys hiekkaan verrattuna, jolloin vähemmällä huuhteluvesivirtaamalla saadaan aktiivihiilipeti ns. ”leijumaan”. (Peltokangas J, 1991, 164). Rakeiset aktiivihiilisuodattimet ovat taloudellisin ratkaisu, jos vesilaitos kärsii maku- ja hajuhaitoista toistuvasti.

5.2 Rakeisen aktiivihiilen puhdistustehokkuuteen ja valintaan vaikuttavat tekijät avomallisessa suodatinaltaassa

Markkinoilla on lukematon määrä aktiivihiilen valmistajia ja maahantuojia. Jo pelkästään vedenpuhdistukseen on jokaisella valmistajalla rajattomasti eri aktiivihiililaatuja. Valittaessa soveltuvin ja parhaan puhdistustehokkuuden omaavaa aktiivihiiltä, valinta on aina vesilaitoskohtainen. Puhdistustehokkuuteen vaikuttavat niin aktiivihiilen raaka-aine, aktivointitapa, huokosrakenne kuin myös puhdistettavan veden sisältämät epäpuhtaudet, viipymä sekä haluttu puhdistuslopputulokset. Aktiivihiilen valinnassa kompromisseja joudutaan tekemään eri ominaisuuksien sekä hydraulikan välillä. Alle on listattu puhdistustehokkuuteen ja hiilen valintaan vaikuttavia tekijöitä (watertreatmentguide.com):

- aktiivihiilen ominaisuudet (raaka-aine, huokoskoko, raekoko, ominaispinta-ala)
- adsorbaattien liukoisuus
- veden pH
- puhdistettavan veden lämpötila
- puhdistettavan veden sisältämät epäpuhtaudet ja molekyylien koko
- viipymä
- veden virtaama
- polaarisuus
- tuhkapitoisuus
- kovuus.

Vesilaitoksien yleisimmin käytetyt aktiivihiilet on valmistettu yleensä kivihiilestä sen kulutuskestävyyden perusteella. Vesilaitoksissa käytettävien rakeiden koko vaihtelee 0,5 mm jopa 2,5 mm:n. Pienemmillä aktiivihiilirakeilla saavutetaan nopeampi adsorboituminen ohuemmalla aktiivihiilipatjalla mutta ongelmia muodostuu virtausvastuksen ja painehäviön nousulla. Tämä täytyy huomioida aktiivihiilisuodattimen rakentamisvaiheessa vesipatjalle jätettävällä riittävällä korkeudella. Suuri tasaisuusluku mahdollistaa taas aktiivihiilien uudelleenkerrostumisen huuhtelun kannalta niin, että adsorptiotehokkuus säilyy. (Välilä 2002, 19; Pulkkinen 2010, 13.)

Adsorptiokapasiteetti kuvaa aktiivihiihen kykyä adsorboida epäpuhtauksia. Adsorptiokapasiteettiin vaikuttaa adsorbenttin ja adsorbaatin luonne sekä puhdistettavan veden ominaisuudet. Hyvin adsorboituvan aineen tyypillinen ominaisuus on heikko liukenevaisuus veteen. Adsorptiokapasiteettiin vaikuttavat myös poistettavien molekyylien koko sekä rakenne aktiivihiihen huokoskokoon nähden. (Välilä, 2002, 19). Pienimmät partikkelit sitoutuvat voimakkaimmin kiinni aktiivihiihen pintaan, koska ne kulkeutuvat aktiivihiihen syvällä oleviin huokosiin. Ongelmia muodostuu silloin, jos puhdistettava vesi sisältää liian suuria partikkeleita aktiivihiihen huokoskokoon nähden. Tällöin aktiivihiihen makrohuokoinen alue voi kokonaan tukkeutua, koska adsorboitavat partikkelit eivät pääse kulkeutumaan ja kiinnittymään aktiivihiihen sisälle meso- ja mikrohuukoille alueille. (Hannola 2007, 17.) Aktiivihiihen korkea huokoisuus siis mahdollistaa pienten partikkelien sitoutumisen aktiivihiihen rakenteisiin (Välilä, 2002, 19).

Puhdistettavan veden ominaisuuksista aktiivihiihen adsorptiokykyyn vaikuttavat eniten veden pH, lämpötila ja orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet. Veden lämpötilan ja pH:n lasku parantaa adsorptiota. Puhdistettavan veden orgaanisten yhdisteiden korkea pitoisuus mahdollistaa tehokkaamman adsorption hiileen mutta voi vaatia pitemmän viipymän. (watertreatmentguide.com; Välilä, 2002, 22.)

Aktiivihiihen korkea tuhkapitoisuus vähentää hiilen adsorptiokykyyn tukkimalla pienimmät huokokset. Tuhkapitoisuus nousee joka kerta regeneroinnin seurauksena, ja tämä on otettava huomioon kun päätetään hiilten regeneroimisesta tai niiden vaihtamisesta uusiin. Kovuus eli mekaaninen lujuus on tärkeä ominaisuus valittaessa soveltuvinta aktiivihiihtä vedenpuhdistukseen. Rakeisen hiilen häviöt käytössä, regeneroinnissa, varastoinnissa ja kuljetuksessa riippuvat kovuudesta. Kovista raaka-aineista tehdyillä aktiivihiihillä painohäviö on noin 5 % regenerointikierrossa, kun pehmeistä raaka-aineista valmistetuilla se voi olla yli 10 %. (Välilä, 2002, 20-21).

Aktiivihiihisuodattimen läpi virtaavan veden nopeudella sekä viipymällä pystytään myös vaikuttamaan aktiivihiihen puhdistustehokkuuteen. Pitemmällä viipymällä tai pienemmällä veden virtaamalla saadaan kasvatettua hiilien ja puhdistettavan veden välistä kontaktiaikaa, jolloin aktiivihiihet kerkeävät tehokkaammin adsorboida poistettavia aineita pinnalleen. (activatedcarbon.com)

Aktiivihiihtä valittaessa ei kuitenkaan voida täysin luottaa ennakkotietoihin siitä, kuinka hiili adsorboi haluttuja kemikaaleja tai yhdisteitä. Ennen aktiivihiihen valintaa osaksi vesilaitoksen kokonaispuhdistusprosessia, on ensin tehtävä suodatuskokeita eri hiililaaduilla vesilaitoksen omalla puhdistettavalla vedellä. Yleensä suodatuskokeita tehdään noin seitsemälle erilaiselle aktiivihiihelle ja suodatuskokeet kestävät minimissään vuoden. Nykyään aktiivihiihitoimittajat pystyvät hyvin ohjeistamaan hiilien valinnassa mutta tarkimmat tulokset hiilien käyttäytymisestä ja adsorptiotehokkuudesta saadaan suodatuskokeista esimerkiksi pilotoinnilla.

5.3 Aktiivihiihitoimittajat ja käytetyimmät aktiivihiihilaadut Suomessa

Aktiivihiihen suurimmat valmistajat ovat Yhdysvallat, Kiina, Sri Lanka, Indonesia, Filippiinit ja Thaimaa. Maailman suurin rakeisen aktiivihiihen valmistaja on Calgon Carbon Corporation, jolla on tuo-

tanto- ja liiketoimintaa Pohjois-Amerikassa, Aasiassa ja Euroopassa. Chemviron Carbon on aktiivihii-
len valmistaja Euroopassa. (Pulkkinen 2010, 16.) Suomessa yleisimmät aktiivihiihtoimittajat ovat Po-
lynova Oy, J. Haarla Oy, Brenntag Nordic ja Silcarbon Finland Oy. Silcarbon Finland Oy on siirtynyt
Akva Filter Oy:n omistukseen. Jokaisen vesitalouskäyttöön valmistavan yrityksen aktiivihiihtien tulee
täyttää standardin SFS-EN 12915-1 mukaiset laatuvaatimukset (Pöyry, 7).

Suurilla pintavesilaitoksilla Suomessa käytetään eniten kivihiilipohjaisia Chemviron Carbonin Filt-
raSorb- sekä AquaSorb-hiiltä. Pohjoismaissa pintavesilaitokset käyttävät mm. FiltraSorbin ja Noritin
hiiltä (Pöyry 2017, 8.)

Suomessa toimivia suuria vedenpuhdistuslaitoksia, jotka käyttävät aktiivihiihtä osana puhdistuspro-
sessia on mm. Helsingissä, Jyväskylässä, Tampereella ja Oulussa. Aktiivihiihtä käyttävät vesilaitokset
ovat olleet aktiivihiihtisuodattimien tuottamiin tuloksiin pääsääntöisesti tyytyväisiä.

KOKEELLINEN OSA

6 AKTIIVIHIILOPILOTIN SUUNNITTELU JA RAKENTAMINEN

Pöyry on laatinut alustavan yleissuunnitelman ("*Itkonniemen vesilaitoksen aktiivihiihluodatus*") aktiivihiihluodatuksen rakentamisesta Itkonniemen vesilaitoksen tiloihin. Aktiivihiihluodattimet saneerattaisiin osasto 500:lla sijaitseviin vanhoihin, käytöstä poistettujen neljän hiekkasuodattimen rakenteisiin. Aktiivihiihluodatus sijoitettaisiin vedenpuhdistusprosessissa hiekkasuodatuksen jälkeen ja niiden läpi johdetaan ainoastaan osastoilla 600 ja 700 käsiteltyä vettä, ei Jänneniemen vettä.

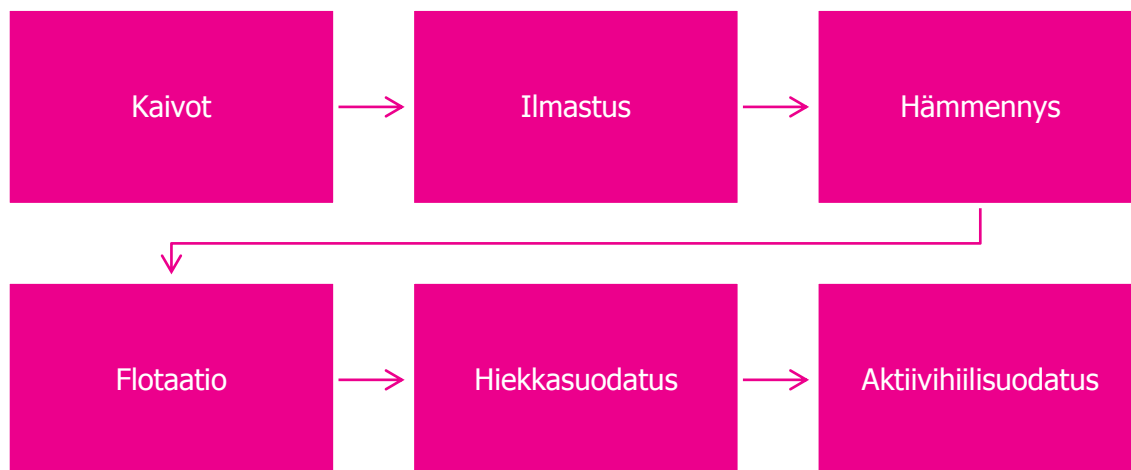
Aktiivihiihlopilot-laitteiston avulla on tarkoitus tutkia, onko suuren mittakaavan aktiivihiihluodattimen rakentaminen aiheellista ja kannattavaa veden laadun parantamiseksi. Aktiivihiihlopilot-laitteiston rakentaminen ja kasaaminen aloitettiin kunnossapitopuolen pajassa kesäkuun puolessa välissä ja laitteisto asennettiin putkitunneliin elokuun alussa. Aktiivihiihlopilotin suunnittelun lähtökohtana olivat taloudellisuus, helppokäyttöisyys ja käytettävän tekniikan yksinkertaisuus, mukailien avomallisen hiekkasuodatuksen periaatteita. Aktiivihiihlopilot-laitteiston rakentaminen koostui liitteen 1 mukaisista osista.

Pilot-laitteisto sisältää neljä täysin identtistä suodatuskolonnia venttiileineen ja putkineen, jotka mitoitettiin vastaamaan ison mittakaavan aktiivihiihluodatusyksikköä. Tämä osaltaan määrittä pilotlaitteen mitoituskriteerit; kuten mitoitusvirtaaman, viipymän ja pintakuorman. Aktiivihiihluodatuksen aktiivihiihlopilatin korkeus (2 m) pidetään samana myös aktiivihiihlopilotissa. Pilot-laitteen suodatusperiaate on sama kuin hiekkasuodatuksen, jossa suodatus tapahtuu ylhäältä alas avomallisissa suodatusputkissa veden suodautuessa suodatinsuutinten kautta suodattimen suodinpohjaan ja lähtevän vesiputken kautta eteenpäin. Huuhtelu suunnitellaan vastavirtahuuhteluperiaatteella, jossa huuhteluvesi johdetaan suodatinpohjan ja suuttimen kautta aktiivihiihlopilatin läpi. Huuhteluvesi poistuu pilotin yläpäässä olevan huuhteluputken kautta viemäriin.

Pilotin suodatinkolonnien materiaalina käytettiin kirkasta PVC-U putkea, joka mahdollisti suodatuksen ja vesipilatin korkeuden seuraamisen sekä hiilien käyttäytymisen ja vastavirtahuuhtelun aikaisen hiilien leijumisen seuraamisen. Suodatinsuuttimelle rakennettiin ns. välilaippa johon suutin liimattiin. Välilaippa sorvattiin PVC-tangosta, joka erottaa hiilipilatin sisältävän suodatuskolonnin suodatinpohjasta. Suodatinpohjaan asennetun T-liittimen avulla ohjataan suodatettu vesi lähtevään putkeen ja säädetään vastavirtahuuhtelun aikana huuhteluveden määrää.

Pilotin yli kolmen metrin korkeus pakotti pilotin rakentamisen osittain kahteen tasoon. Ylätasolle rakennettiin jakotukki, joka sisältää venttiilit mittareineen. Jakotukin ja siihen liitetyn pumpun avulla syötettiin puhdistettava vesi tasaisesti jokaiselle kolonnille, venttiileillä säädettiin veden virtaamaa ja mittareilla seurattiin vedenkulutusta. Puhdistettavan ns. "osasto 600, raakaveden" näyte otettiin jakotukin päässä olevasta näytteenottohanasta ja aktiivihiihlopilotin suodatetulle vedelle rakennettiin oma näytteenottopisteensä.

Valmiilla aktiivihiihpilot-laitteella oli tarkoitus tutkia neljän erilaisen aktiivihiihen kykyä poistaa Hietasalosta pumpatun veden sisältämiä orgaanisia aineita ja näin ollen vähentää klooridesinfiointista syntyvien haitallisten sivutuotteiden määrää. Lisäksi pilotilla haluttiin tutkia poistaako aktiivihiihi myös rautaa, mangaania ja alumiinia puhdistettavasta vedestä. Kuva 6 havainnollistaa aktiivihiihpilotin paikan vedenpuhdistusprosessissa.



KUVA 6. Aktiivihiihsuodatusyksikön paikka vedenpuhdistusprosessissa (Heikkinen 2018-10-07)

Hietasalon vedentuotannon viikonloppukatkot asettivat vaatimuksia suunnitteluun ja pilotin käyttöön, sillä aktiivihiihsuodattimien kuivumista täytyy välttää sen jälkeen, kun suodatus on aloitettu. Lisäksi Kuopion Veden vesilaitoksen laajat saneeraukset muodostivat omat haasteensa katkeamattomalle vedentulolle sekä vedenlaadun vaihteluille.

Aktiivihiihpilot-laitteella suoritettiin kahden kuukauden kestävä koesuodatus, minkä aikana tutkittiin erityisesti TOC-arvojen muuttumista, seurattiin aktiivihiihen mekaanisia ja hydraulisia ominaisuuksia sekä verrattiin niitä keskenään.

6.1 Aktiivihiihpilotin mitoitus

Pilot-laitteisto mitoitettiin Pöyryn tekemän *"Itkonniemen vesilaitoksen aktiivihiihsuodatus yleissuunnitelman"* avulla, jonka aktiivihiihsuodattimen mitoitusparametrit löytyvät taulukosta 1. Aktiivihiihpilot-laitteisto mukailee mittasuhteiltaan Itkonniemelle suunnitella olevaa aktiivihiihsuodatusyksikköä 350 m³/h normaalivirtaamalla.

TAULUKKO 1. Aktiivihiiisuodatinyksikön mitoitusparametrit 350 m³/h normaalivirtaamalla (Pöyry)

| Virtaama | 350 | m³/h |
|---|------------|------------------------|
| Suodatinten lukumäärä | 4 | kpl |
| Hiilipatjan korkeus/suodatin kuivana | 2,0 | m |
| Hiilipatjan korkeus/suodatin vettyneenä | 2,2 | m |
| Suodatuspinta-ala/suodatin | 20 | m ² |
| Tarvittava hiilimäärä | 160 | m ³ |
| Viipymä (EBCT)/suodatin | 27 | min |
| Suodatusnopeus, kaikki suodattimet käytössä | 4 | m/h |
| Hiilen paisunta vastavirtahuuhtelussa enintään | 20 | % |

Viipymä eli hiilen ja veden tarvitsema kontaktaiaika laskettiin kaavalla 1. EBCT kertoo, kuinka pitkään puhdistettava vesi ja aktiivihielet ovat kosketuksissa toistensa kanssa. Kun EBCT arvo kasvaa, myös hiukkasten käytettävissä oleva adsorboitumisaika kasvaa, viipymällä näin ollen vaikutetaan aktiivihie-lien adsorptiokykyyn. Tavallisesti viipymä vedenpuhdistuksessa on 5–20 minuuttia (RIL 124-2-2004, 408.), hajua ja makua aiheuttavien yhdisteiden poistoon viipymäksi riittää 10 min. TOC-pitoisuuden vähentämiseksi puolestaan suositellaan 10–20 min viipymää. Koska tässä opinnäytetyössä suuren mittakaavan aktiivihiiisuodattimen dimensiot oli ennalta määritetty, ei viipymään ja pintakuormaan pystytä vaikuttamaan, ainoastaan virtaamaan.

$$EBCT = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

, missä

EBCT = GAC-yksikön käyttöaika, viipymä, min

V = suodatinpedin tilavuus, m³

Q = virtaama, m³/h

Pintakuorma eli laskeutumisnopeudella tarkoitetaan virtausnopeutta suodatusalueen läpi tietyssä ajassa, joka merkitään m/h tai mm/s. Pintakuorma laskettiin kaavalla 2.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

, missä

V = pintakuorma, m/h

Q = virtaus, m³/h

A = pinta-ala, m².

Kun aktiivihiiilipatjan korkeus tiedettiin, voitiin aktiivihiiilipedin tilavuus V laskea kaavalla 3.

$$V = \pi r^2 h \quad (3)$$

, missä

r = suodattimen säde, m

h = suodattimen korkeus, m.

Aktiivihiiiliputken pinta-ala saatiin laskettua kaavalla 4.

$$A = \pi r^2 \quad (4)$$

, missä

A = putken pinta-ala, m^2

r = putken säde, m.

Aktiivihiiilipilotin läpi suodatautuvan veden virtaama saatiin laskettua kaavalla 2, kun pinta-ala ja pinta-kuorma tunnetaan. Aktiivihiihikolonniin virtaama 27 min viipymällä ja 4,4 m/h laskeutumismnopeudella on näin ollen 34 l/h -> 567 ml/min.

6.2 Aktiivihiiilipilotin rakentaminen

Pilot-laitteistoa lähdettiin suunnittelemaan perinteistä avomallista hiekkasuodatusprosessia mukailen, suodatuksen tapahtuessa veden hydrostaattisen paineen avulla ylhäältä alas ja vastaavasti pumpun avulla tapahtuva vastavirtahuuhdeltu alhaalta ylös. Pilot-laitteisto koostuu neljästä suodatuskolonnista, joihin lastattiin kolmen eri maahantuojan lähettämät aktiivihiehet.

Aktiivihiiilipilot-laitteisto käsittää neljä aktiivihiehisuodatuskolonnia, joiden rakenteeseen kuuluu:

- jakotukki
- pumppu
- aktiivihiehisuodatusmateriaalin sisältävä suodatusputki
- välilaippa ja suodatinsuutin
- suodatinpohja
- T-liitin (mahdollistaa lähtevän veden ja huuhteluveden ohjaamisen)
- näytteenottoyksikkö.

Aktiivihiiilipilotin paikka määräytyi 3,5 metrin pystysuuntaisen tilantarpeen mukaan kahden varastoaltaan väliin ns. putkitunneliin kahteen kerrokseen (jakotukki ylemmällä kävelytasolla/ritilällä). Pilotin täytyi olla myös mahdollisimman kapea, jottei se ole missään vaiheessa työntekijöiden tiellä.



KUVA 7. Osasto 600:lta tulevan veden pumppaamiseen tarkoitettu pumppu (Heikkinen 2018-10-17)

Osasto 600:n hiekkasuodatettua vettä johdettiin siirtoputkessa olevan pohjaventtiilin kautta kudovahvistettua letkua pitkin pumpulle (Marina), jonka tuotto on 60 l/min (kuva 7). Pumppu pumppasi suodatettavan veden letkua pitkin kävelytasolla olevalle jakotukille.

Jakotukin tehtävä oli jakaa suodatettava vesi tasaisesti kaikille neljälle aktiivihiiisuodatuskolonnille. Jakotukkiin asennettiin mittarit vedenkulutuksen seuraamiseksi sekä neulaventtiilit virtaaman säätöä varten (kuva 8). Neulaventtiilit valittiin pienen virtaaman takia, jolloin virtauksen säätö tapahtuu hallitummin kuin esimerkiksi palloventtiileillä. Vesimittarit olivat käytöstä poistettuja mutta toimivia vaikkakin lämpimälle vedelle tarkoitettuja. Jakotukin runkona toimi 96 cm pitkä rosteriputki, jonka päähän asennettiin osasto 600:lta tulevan hiekkasuodatetun veden näytteenottopiste. Jakotukin toisessa päässä on palloventtiili, joka tarvittaessa mahdollisesti veden sulkemisen nopeasti.

Vähäisen vedenvirtaaman takia säätöventtiilit asennettiin vasta mittareiden jälkeen. Säätöventtiilien ollessa ennen mittareita, huomattiin mittareiden sisällä olevien virtausrattaiden pyörivän huonosti tai ei ollenkaan, joka selittynee veden virtaavan vain osittain mittarin sisällä, koska pieni vesimäärä ei jaksaa liikuttaa mittarin rattaita. Säätöventtiileiden ollessa mittareiden jälkeen, pumpun tuottama vednpaine täyttää koko vesimittarin vedellä pyörittäen rattaita paljon herkemmin.



KUVA 8. Jakotukki, jolla syötetään hiekkasuodatettua vettä aktiivihiihpilotin neljälle suodatusputkelle ja säädetään veden virtaama (Heikkinen 2018-10-10)

Suodatusputkina käytettiin \varnothing 100 mm kirkkaita ja liimauksen kestäviä PVC-U putkia, joka mahdollistaa suodatusprosessin ja vesipatjan korkeuden sekä hiilien käyttäytymisen seuraamisen. Väli- ja pohjalaipan työstämiseen käytettiin umpinaista PVC-tankoa (kuvat 9 ja 10). Suodatuskolonnien tarvitseman kokonaiskorkeuden laskemisessa täytyi huomioida:

- hiilipatjan korkeus kuivana 2 m
- hiilipatjan korkeus vettyneenä 2,2 m
- hiilipatjan paisunta vastavirtahuuhtelussa 20 % (2,6 metriin)
- huuhteluveden poistoletku suodatuskolonnin yläpään tarpeeksi korkealle
- suodatinpohjan tarvitsema pituus 0,5 metriä.



KUVA 9. Väliäipan sorvaus (Heikkinen 2018-10-10)



KUVA 10. Pohjalaipan sahaus (Heikkinen 2018-10-10)

Suodatuskolonnien pituuden takia huomioitiin työturvallisuus rakentamalla kiinnitysholkit kolonneille, jotka näkyvät kuvassa 11 noin 2,3 metrissä kiinnitettynä betoniseinään. Aktiivihilipilotin paikalla oli ennen tehty kokeita putkien korroosiokestävyydestä, jonka myötä voitiin käyttää kolonnien alapuoliseen kiinnitykseen vanhoja kettinkejä, jotka ovat kuvassa 11 1,5 metrin korkeudella. Näin saatiin varmistettua että kolonnit pysyvät tukevasti paikallaan.



KUVA 11. Kolonnien kaatumisen estämiseksi rakennettiin seinään kiinnitettävät kiinnitysholkit (Heikininen 2018-10-26)

Suodatuskolonneille varattu kokonaiskorkeus oli 3,5 metriä. Jokaisen suodatuskolonnin kylkeen on tehty merkinnät 2, 2,2 ja 2,6 metriin, jotta hiilen lastaus 2 metriin on helpompaa, todennetaan hiilien turpoaminen 2,2 metriin ja huuhtelun aikaista hiilien leijuttamista on helpompi hallita. Huuhteluveden poistoletku on asennettu noin 2,8 metriin. Suodatuspohjalle varattu korkeus oli 0,5 metriä. Aktiivihiilikolonnin suodatuspohjan haluttiin mukailevan samanlaista rakennetta kuin avomallisen hiekkasuodattimen pohjarakenne (kuva 12). Välilaippaan liimattu suutin oli samanlainen kuin Itkonniemen hiekkasuodatuksessa käytettävät suodatinsuuttimet.



KUVA 12. Pohjakappale, johon vesi suodattuu ja josta vesi johdetaan T-liittimen kautta lähtevään putkeen (Heikkinen 2018-10-10)

T-liittimen (kuvassa 12) sulkuventtiileiden avulla ohjattiin suodatettua vettä sekä säädettiin huuhteluveden määrää. Lähtevä putki (u-putki) suunniteltiin niin, että se nousee vettyneen hiilipatjan korkeudelle (2,2 m), jolloin saadaan aikaan tasainen ja rauhallinen virtaus sekä mahdollisten vesikatkokkien sattuessa vesi ei karkaa suodatusputkesta. Suosituksena on, etteivät hiilet enää kuivuisi sen jälkeen kun suodatukset on aloitettu. Käyttämällä u-putkea ei tarvitse käyttää lähtevän veden palloventtiiliä virtaamaan säätämiseen vaan virtaaman säätö tehtiin pelkästään jakotukin neulaventtiileillä.

Suodatinkolonniien näytteenottoa varten suunniteltiin edullinen ja helppokäyttöinen ratkaisu vanhasta permanganaatti –sangosta (kuva 13). Letkujen päihin kiristettiin kupariputket, jotka mahdollistavat myös bakteerinäytteenoton. Näytteenottoputket olivat numeroituja, jotta näytteenotto oli helppoa ja selkeää. Samaan sankoon porattiin reiät myös huuhteluletkuille, jolloin myös huuhteluviedet saatiin hallitusti johdettua viemäriin sangon pohjaan asennetun letkun kautta.



KUVA 13. Näytteenottopiste. (Heikkinen 2018-10-17)

7 AKTIIVIHIILOPILOTIN YLÖSAJO JA SUODATUSKOKEEN ALOITTAMINEN

7.1 Aktiivihiihkolonneihin valitut hiililaadut ja niiden hankintakustannusarvio

Ensisijaisena valintakriteerinä testattaville aktiivihiihilaaduille oli, että niitä käytetään tai niitä on käytetty muiden kaupunkien vesilaitoksilla. Näin haluttiin valita hiililaatuja, jotka ovat saaneet positiivista palautetta käytettävyydestä ja kyvystä poistaa orgaanisia hiiliyhdisteitä. Kaikki neljä aktiivihiihilaatua olivat rakeistettua aktiivihiihtä ja ne oli valmistettu kivihiiltä höyrystämällä. Aktiivihiihet on valmistettu standardin EN12915 sekä ISO9001 sertifikaatin mukaan. Kaikki hiililaadut tilattiin 25 kilon säkeissä, joka mahdollistaa hiilien vaihtamisen pilottiin, vielä kahteen kertaan myöhemmin. Hiililaadut nimettiin kokeisiin kolonnien mukaan (Putki 1, Putki 2...)

Valitut hiililaadut eivät merkittävästi poikkea toisistaan. Putki 1:ssä (kuva 14) ja putki 3:ssa (kuva 16) on karkeimmat ja raekooltaan suurimmat hiilirakeet. Putki 2:ssa (kuva 15) on kaikkein hienojakoisin rae ja sen kovuus on muihin hiiliin verrattuna pienin. Putki 4:ssa olevalla hiilellä on suurin ominaispinta-ala (kuva 17). Hiilien fysikaaliset erot tulivat näkyviin paremmin vasta koesuodatuksen aikana.



Putki 1.

| | |
|---|-----------------------|
| Tilavuuspaino vettyneenä/ kuivattuna | 450 kg/m ³ |
| Metyleenisiniluku | n. 210 mg/g |
| Jodiluku | n. 900 mg/g |
| Raekoko | 0,5 - 2,5 mm |
| Ominaispinta-ala | 900 m ² /g |
| Kovuus | n. 95 % |
| Tuhkapitoisuus | n. 12 % |

KUVA 14. Putki 1:n aktiivihiihinäyte (Heikkinen 2018-10-22)



Putki 2.

| | |
|---|------------------------|
| Tilavuuspaino vettyneenä/ kuivattuna | 425 kg/m ³ |
| Metyleenisiniluku | min. 260 mg/g |
| Jodiluku | min. 1050 |
| mg/g | |
| Raekoko | 0,6 - 0,7 mm |
| Ominaispinta-ala | 1050 m ² /g |
| Kovuus | min. 75 % |
| Tuhkapitoisuus | ei tiedossa |

KUVA 15. Putki 2:n aktiivihiilinäyte (Heikkinen 2018-10-22)



Putki 3.

| | |
|---|-----------------------|
| Tilavuuspaino vettyneenä/ kuivattuna | 420 kg/m ³ |
| Metyleenisiniluku | min. 230 mg/g |
| Jodiluku | min. 900 mg/g |
| Raekoko | 1,0 - 1,6 mm |
| Ominaispinta-ala | 900 m ² /g |
| Kovuus | min. 90 % |
| Tuhkapitoisuus | ei tiedossa |

KUVA 16. Putki 3:n aktiivihiilinäyte (Heikkinen 2018-10-22)



Putki 4.

| | |
|---|------------------------|
| Tilavuuspaino vettyneenä/ kuivattuna | 430 kg/m ³ |
| Metyleenisiniluku | min. 250 mg/g |
| Jodiluku | min. 950 mg/g |
| Raekoko | 0,4 - 1,7 mm |
| Ominaispinta-ala | 1000 m ² /g |
| Kovuus | min. 92 % |
| Tuhkapitoisuus | max 15 % |

KUVA 17. Putki 4:n aktiivihiilinäyte (Heikkinen 2018-10-22)

Testattujen aktiivihiilien hankintahinta-arviot perustuvat tämän hetkiseen taloustilanteeseen ja ovat näin ollen vain suuntaa antavia. Tarkemmat laskelmat ison mittakaavan aktiivihiilisuodattimien kustannusarviosta (sis. reaktiointipalvelut, hiilten hinnat, kuljetus ja täyttö) saadaan, kun asia on ajan-kohtainen. Alla olevaan taulukkoon on laskettu pelkkien aktiivihiilien hankintahinta-arvio ison mittakaavan aktiivihiilisuodattimen altaiden kokoon perustuen.

TAULUKKO 2. Testattujen aktiivihiilien hankintahinta-arvio ison mittakaavan aktiivihiilisuodattimiin (Heikkinen 2018-11-04)

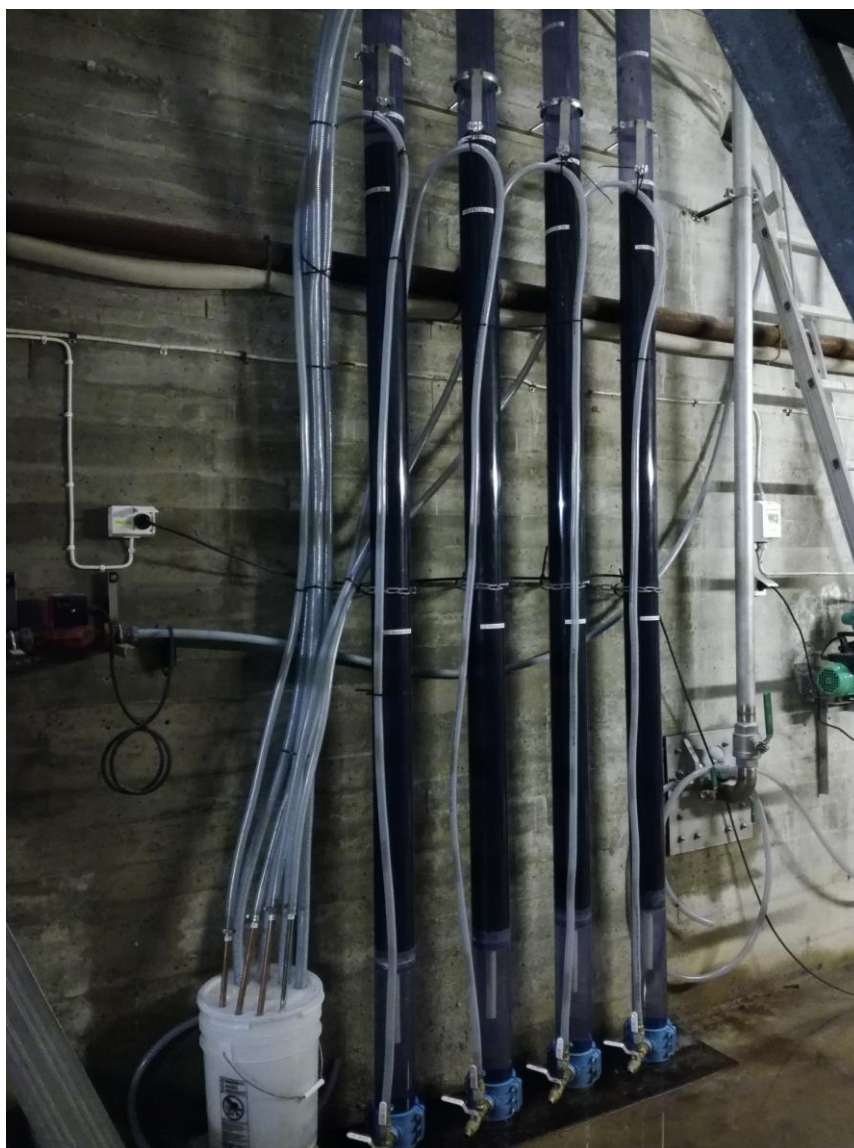
| | €/m ³ | Kokonaiskustannukset | |
|----------------|------------------|----------------------|----------------|
| | | 4 suodattimeen | 1 suodattimeen |
| Putki 1 | 720 | 115 200 € | 28 800 € |
| Putki 2 | 1 266 | 253 200 € | 50 640 € |
| Putki 3 | 962 | 192 400 € | 38 480 € |
| Putki 4 | 1 100 | 176 000 € | 44 000 € |

Tarkastellessa pelkästään taulukko 2 aktiivihiilien kuutiohintoja, taloudellisin valinta kohdistuisi putki 1:sen hiileen. Putki 2:en hiili oli maahantuojan kertoman mukaan "parhaimmistoa", joka näkyy myös hinnassa. Tässä opinnäytetyössä hiililaadun valinta kohdistui niin hinnan, näytteenotolla saatujen tuloksien kuin hiilien fysikaalisten ominaisuuksien mukaan. Fysikaalisilla ominaisuuksilla tarkoitetaan

mm. eri aktiivihiihilaatuihin kohdistuvasta virtausvastuksesta, eli suodatinmateriaalin päälle muodostuvan vesipatsaan paksuudesta ja vastavirtahuuhtelun aikaista hiilien liikehdintää.

7.2 Pilotin ylösajo

Pilotin ylösajo aloitettiin maanantaina 6.8.2018, jolloin ensimmäisenä testattiin pilotin toimivuus pelkästään vesiajolla. Vesiajon tarkoituksena oli demonstroida pilotin toimivuus; jakotukin vedensyöttö, venttiileiden säätö, suodatussuuttimen vedenläpäisevyyden testaus, veden hallittu virtaus lähtevässä putkessa ja mahdollisten vuotojen kartoittaminen sekä niiden korjaus. Vedenjakelun häiriöt testattiin sammuttamalla pumppu ja seuraamalla kolonneissa olevan veden käyttäytymistä. Lähtevän veden putken (u-putken) asennus hiilien korkeudelle (2,2 metriin) estää veden karkaamisen kolonneista ja näin ollen hiilet pysyivät vettyneinä mahdollisten vesikatkoksiensattuessa (kuva 8). Veden virtaama tarkistettiin perinteisesti mittalasilla ja sekuntikellolla. Ilman hiiliä suoritetun vastavirtahuuhtelun tarkoituksena oli veden virtauksen, venttiileiden pitävyyden, suodatussuuttimen vedenläpäisevyyden ja "yliteputken" eli huuhteluletkun toimivuuden takaaminen.



KUVA 18. Lähtevän vesiputken asennus hiilien korkeudelle estää vedensyöttöhäiriön aikaan hiilien kuivumisen (Heikkinen 2018-11-21)

Aktiivihiihien lastaaminen kolonneihin aloitettiin ylätasanteella 8.9.2018 suppilon avulla (kuva 19). Aktiivihiihien pölyämisen takia on suotavaa käyttää suojamaskia lastaamisen ajan. Erään maahantuojan suosituksen mukaan oikeaoppinen aktiivihiihien lastaus tapahtuu injektorin avulla. Jokaiseen kolonniin laitettiin hiiltä 2 metrin paksuinen kerros. Pilottiin valittujen aktiivihiihien tilavuuspaino vaihteli 400–500 kg/m³ välillä. Taulukkoon 3 on laskettu kolonneihin laitettujen aktiivihiihien määrä kiloina. Jokaiseen kolonniin tuli noin 7 kiloa aktiivihiihtä. Koska pilotti on avosuodatin, suuren tilavuuspainon omaavasta aktiivihiiheestä on eniten hyötyä, sillä se mahdollistaa tehokkaan vastavirtahuuhtelun, ilman, että hiili karkaa viemäriin.



KUVA 19. Aktiivihiihien lastaus suoritettiin ylätasanteen kautta suppilon avulla. (Heikkinen 2018-10-26)

TAULUKKO 3. Jokaiselle kolonnille laskettu aktiivihiihimäärä kun hiilipedin korkeus on 2 metriä ja putken tilavuus 0,016 m³.

| | Tilavuuspaino kg/m ³ | Hiilen määrä kg |
|----------------|------------------------------------|--------------------|
| Putki 1 | 450 | 7,2 |
| Putki 2 | 425 | 6,8 |
| Putki 3 | 420 | 6,7 |
| Putki 4 | 430 | 6,9 |

Hiilten päälle laskettiin vettä ja ne jätettiin vettymään yön yli. Silmämääräisesti huomattiin heti, että hiilipatjaan jäi runsaasti ilmakuplia ja osa hiillistä jäi kellumaan veden pinnalle. Kuten kuvasta 20 huomataan, hiilien huono vettyminen johtui niiden erittäin huokoisesta rakenteesta, jolloin ilmakuplat muodostivat hiilipatjasta tiiviin yhtenäisen patjan, jonka takia suurimmaksi ongelmaksi muodostui ilmakuplien saaminen pois suodatuskolonneista. Hiilet olivat pakkautuneet niin tiiviiksi, ettei vastavirtahuuhtelun aikainen vastapaine ja rajumpi huuhteluvirtaama saanut hiiliä irtautumaan toisistaan muutoin kuin rikkomalla hiilipatja ylhäältä käsin ohuella kepillä. Seuraavana päivänä suoritettiin ensimmäinen vastavirtahuuhtelu hiiliin kertyneiden ilmakuplien ja välilaipan alle muodostuneen ilmataskun poistamiseksi. Kaikki hiililaadut kärsivät vettymisongelmasta. Ensimmäisen ylösajon aikaisen vastavirtahuuhtelun jälkeen huomattiin, että hiilet turposivat 20 % maahantuojien ohjeistuksen mukaan. Kuvasta 21 nähdään, kuinka hiilipatja käyttäytyi ensimmäisen vastavirtahuuhtelun aikana.



KUVA 20. Aktiivihilipatjaan jäi runsaasti ilmakuplia jopa vastavirtahuuhtelun jälkeenkin. (Heikkinen 2018-10-30)



KUVA 21. Ensimmäisen vastavirtahuuhtelun aikana hiilipatja nousi kokonaisuudessa kohti kolonnin huuhteluputkea, eikä hiilien leijuntaa tapahtunut (Heikkinen 2018-10-30)

7.3 Suodatuskokeen aloitus

Varsinainen suodatuskoe aloitettiin 10.8.2018, jolloin otettiin myös ensimmäiset näytteet. Näytteitä otettiin kokeen alussa joka päivä ensimmäisen viikon aikana, mutta sen jälkeen näytteenottoa harvennettiin otettavaksi vain keskiviikkoisin. Jos näytteissä näkyi merkittäviä muutoksia, silloin näytteenottoa taas tihennettiin. Aktiivihiihpilot -laitteisto jouduttiin pysäyttämään viikonloppujen ajaksi vesilaitoksen alasajon takia. Pilot pysäytettiin perjantaisin työvuoron päätteeksi ja käynnistettiin maanantaisin heti työvuoron alussa. Pilotin alasajo toteutettiin ensin pumpun pysäyttämällä ja sitten lähtevän veden palloventtiilin sulkemisella (T-liitin). Vedenpinta pysyy hiilien tasolla ilman venttiilien sulkemistakin, mutta näin varmistettiin veden pysyminen suodatuskolonneissa.

Pilotin toimintaa seurattiin joka päivä mittaamalla hiilipatjan päälle kerääntyneen vedenpinnan korko ja tarkastamalla virtaama, jota säädettiin tarvittaessa. Heti ensimmäisten päivien aikana huomattiin,

ettei syöttöveden virtaama pysynyt säädetyssä arvossa (34 l/h), jonka takia virtaama täytyi tarkastaa ja venttiileitä säätää jopa kaksi kertaa työvuoron aikana. Syy saattoi olla pienessä virtaamassa ja neulaventtiiliin ympärille kerääntyneessä sakassa, joka tukki osittain veden kulkua. Suuremmalla virtaamalla tätä ongelmaa ei ehkä olisi syntynyt. Jakotukkiin asennetuilla rotametreillä tai digitaalisilla virtausmittareilla olisi heti huomattu virtaaman muuttuminen ja sitä myöten säätö olisi ollut helppompaa suorittaa.

Suodatuskolonnien vedenpinnan korkeuden vaihtelua seurattiin, jotta nähtiin milloin hiilet alkavat tukkeutumaan ja milloin aloitetaan vastavirtahuuhtelu. Aktiivihiihien rakeiden koko sekä tilavuuspaine vaikuttivat suodatuskolonneihin muodostuvan vesipatjan paksuuteen. Pienirakeisten hiilien sisältäviin kolonneihin muodostui korkeampi vesipatja kuin suurirakeisten hiilien kolonneihin. Tiheämpirakeinen hiilipatja tarvitsi vastavirtahuuhtelun useammin kuin karkearakeinen, koska muutoin kohonnut vesipatja olisi osittain vIRRannut yliteputken kautta viemäriin.

Jakotukilta tulevan tulovirtaaman jatkuva heittelehtiminen teki vedenpinnankoron seuraamisen hankalaksi, sillä korko muuttui virtaaman vaihtelun suhteen jatkuvasti. Näin ollen oli hankala määrittää hiilien tukkeutumisen tarkkaa ajankohtaa, jotta olisi voitu määrittää ajankohta vastavirtahuuhtelulle. Jos virtaama olisi pysynyt samana koko suodatuskokeen ajan, vedenpinnan korkeuden nousun ajankohdasta olisi voitu määrittää jokaisen aktiivihiihien suodatuskolonnin vastavirtahuuhtelun tarkan aikavälin. Vedenpinnankorko sekä virtaamaa mitattiin jokaisesta suodatinkolonnista päivittäin ja kirjattiin ylös.

7.3.1 Vastavirtahuuhtelu

Vastavirtahuuhtelu toteutettiin syöttämällä huuhteluvettä alhaalta ylös ja johtamalla se hiilipatjan läpi ja huuhteluputken kautta ylitteenä viemäriin. Huuhtelun tarkoituksena oli nostaa hiili vedenpaineen avulla leijumaan, jolloin hiilen pinnalle ja huokosiin tarttuneet lika-aineet ja tuhka irtosivat ja hiilirakeet järjestäytyivät uudelleen paremman suodatuksen takaamiseksi. Huuhteluvesi otettiin puhdasvesiverkostosta ja johdettiin verkostopaineen avulla hiilipatjan läpi (kuva 22). Likainen huuhteluvesi poistui kolonnien yläpäähän asennetun huuhteluputken kautta viemäriin. Liitteessä 2 on vastavirtahuuhtelu ohje aktiivihiihien pilotille. Parempaan puhdistustulokseen olisi päästy yhdistämällä huuhteluun myös ilmalla tapahtuva pesu, mutta pilot-laitos haluttiin pitää mahdollisimman yksinkertaisena ja ilmapesusta luovuttiin.



KUVA 22. Huuhteluveden kulutusta seurattiin suodatinkohtaisesti vesimittarin avulla (Heikkinen 2018-10-30)

Vastavirtahuuhtelu suoritettiin vasta, kun hiilien tukkeutuminen huomattiin silmämääräisesti, tämä tarkoitti vedenpinnan nousemista lähelle huuhteluputkea. Alkuperäisen suunnitelman mukaan vastavirtahuuhtelu oli tarkoitus tehdä myös sitten, kun TOC-pitoisuus oli lähellä 2 mg/l, tätä ei kuitenkaan 2 kuukauden suodatuskokeen aikana tapahtunut. Vastavirtahuuhtelulle asetettu suositus on huuhtella hiilet kahden viikon välein. Tässä opinnäytetyössä haluttiin määrittää huuhteluväli jokaiselle hiililaadulle tarpeen mukaisesti, sillä aktiivihilipatjaa ei saa huuhtella liian usein, koska se heikentää adsorptiokapasiteettia.

Suodatuskolonnien läpimitta ja hiilipatjan paksuus aiheuttivat ongelmia vastavirtahuuhtelussa. Vähäiselläkin vedenpaineella tehty huuhtelu nosti hiilipatjaa kohti huuhteluputkea, ilman että kunnollista hiilien leijuntaa ehti tapahtua. Avaamalla huuhteluventtiili täysin auki, saatiin koko hiilipatjan matkalla tapahtuva hiilien liikehdintä aikaiseksi. Jotta lika-aineet irtosivat hiilirakeista, rajumpi huuhtelu täytyi tehdä sykäyksittäin moneen otteeseen, etteivät hiilet huuhtoutuneet viemäriin. Kun hiilipatjaa saatiin pariin otteeseen huuhdeltua rajummin, haettiin venttiilin hienovaraisella säädöllä tasapaino hiilien leijuttamiselle niin, että hiilipatja pysyi kutakuinkin 2,6 metrissä (kuva 23). Hallittua huuhtelua jatkettiin 10 minuuttia tai niin kauan kunnes pesuvesi oli silmämääräisesti kirkasta.



KUVA 23. Vastavirtahuuhtelun tarkoitus on hiilirakeiden leijuttaminen, jolloin saadaan hiiliin kiinnittyneet lika-aineet poistettua. (Heikkinen 2018-10-30)

Huuhtelun aikana hiilirakeita karkasi huuhteluputken kautta viemäriin, joka laski aktiivihilipatjan paksuutta. Huuhtelun päättymisen jälkeen jouduttiin lisäämään hiiltä kolonneihin niin että alkuperäinen korkeus säilytettiin (2,2 m).

Kahden kuukauden suodatuskokeen aikana putki 2:lle suoritettiin huuhtelu noin kahden viikon välein. Putki 1 ja 4 huuhdeltiin 3 viikon välein. Putki 3:lle tehtiin vastavirtahuuhtelu vasta syyskuun viimeisellä viikolla, jolloin huuhteluväli kasvoi noin 2 kuukauden mittaiseksi. Putki 1:n TOC-pitoisuus nousi kuukaudessa arvoon 1,4 mg/l, jonka perusteella suoritettiin huuhtelu. Näytteet otettiin ennen ja jälkeen huuhtelun, koska haluttiin tutkia huuhtelun vaikutus TOC -pitoisuuteen, näytteissä ei suuria muutoksia TOC -pitoisuuden suhteen tapahtunut. Muissa kolonneissa huuhtelun suorittamisen peruste oli vesipatjan paksuuden kohoaminen, ei TOC-pitoisuuden nousu.

7.3.2 Biologisen aktiivihilisuodattimen käynnistyminen

Koska aktiivihilisuodatuksen muuttumista biologiseksi suodatukseksi ei voi mitenkään estää, haluttiin mikrobikannan muodostuminen todentaa heterotrofisella pesäkelukemalla. Aktiivihiliin syntyvän mikrobikannan muodostumista seurattiin ottamalla HPC, 22 °C kolme kertaa kahden kuukauden suodatuskoeajalta. Mikrobinäytteet määritettiin Savo-Karjalan Ympäristötutkimuksen laboratoriossa, tulokset ovat taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Kolonnikohtaiset heterotrofisten pesäkelukemien tulokset (pmy/100 ml). Jo viikossa putki 4:n alkoi muodostua biologista toimintaa. (Heikkinen 2018-11-02)

| | Putki 1 | Putki 2 | Putki 3 | Putki 4 |
|--------------|---------|---------|---------|---------|
| 17.8. | 0 | 0 | 0 | 250 |
| 12.9. | >300 | 230 | >300 | >300 |
| 25.9. | 230 | 150 | 330 | 120 |

Viikko varsinaisen suodatuksen alettua otettiin ensimmäinen HPC –näyte. Ainoastaan putki 4:en oli jo sinä aikana alkanut muodostumaan mikrobeja. Tämä huomattiin myös pilotin alasajon yhteydessä, jolloin suodatuskolonnista vapautui suuri määrä kaasukuplia, kun vedensyöttö lopetettiin ja lähtevän veden palloventtiili suljettiin. Kuplien vapautuminen voisi selittyä mikrobien aineenvaihdunnan seurauksena syntyvän hiilidioksidin vapautuessa, kun tuloveden aiheuttama hydrostaattinen paine aleni.

Noin kuukauden päästä otettiin seuraavat näytteet ja silloin kaikkien suodatinkolonnien aktiivihiliin oli muodostunut mikrobikanta. Jokaisesta kolonnista vapautui kaasukuplia pilotin pysäyttämisen yhteydessä.

Viimeinen näyte otettiin 25.9. jolloin mikrobikanta oli lähtenyt laskuun kaikissa kolonneissa. Tähän ilmiöön ei vielä ole löytynyt selitystä, se voisi olla luonnollista mikrobien uusiutumista tai kolonnien muuttumista anaerobiseksi ympäristöksi. Vasta pidemmällä aikavälillä tehdyt näytteenotot voisivat selittää paremmin mikrobien käyttäytymisen.

8 NÄYTTEENOTTO JA TULOSTEN ANALYSOINTI

8.1 Näytteenoton suunnittelu ja toteutus

Näytteenoton tavoitteena oli tutkia valittujen aktiivihiilien adsorptiokykyä poistaa hiekkasuodatetusta vedestä orgaanisia yhdisteitä sekä hajua ja makua aiheuttavia aineita. Tarkoituksena oli löytää Kuopion Veden tuottamalle talousvedelle paras aktiivihiililaatu adsorptiotehokkuutta ja taloudellisuutta silmällä pitäen. Lisäksi tutkittiin pystyykö aktiivihiili pidättämään myös rautaa, mangaania ja alumiinia, ja kuinka pH käyttäytyy ennen ja jälkeen aktiivihiilisuodatuksen. Tärkein tutkittava parametri hiililaaduille oli orgaaninen kokonaishiili (TOC) sekä sen poistuma aktiivihiilisuodattimen jälkeisestä vedestä.

Tutkittavat parametrit ovat:

- pH
- lämpötila
- sameus
- UV-absorbanssi
- TOC
- rauta
- mangaani
- alumiini
- haju, maku
- väri
- sähkönjohtavuus
- HPC, 22 °C.

Jokaisen aktiivihiilikolonnin näytteenottoputkesta mitattiin lämpötila heti näytteenoton yhteydessä, muut parametrit analysoitiin Kuopion Veden omassa laboratoriossa näytteenottopäivänä. Ainoastaan bakteerinäytteet kuljetettiin SKYT:n määritettäväksi. Näytteiden määrityksissä noudatettiin SFS-standardeja sekä Kuopion Veden laboratorion omia työohjeita. Käytetyt menetelmät ja laitteistot on koottu Näytteenottosuunnitelmaan, joka on liitteessä 3.

Varsinainen näytteenotto alkoi samana päivänä kuin varsinainen suodatus eli 10.8.2018 ja viimeinen näyte otettiin 25.9.2018, näytteenottojakso kesti 2 kuukautta. Näytteitä otettiin ylösajon aloittamisen jälkeen joka päivä viikon ajan, jotta pystyttiin näkemään kuinka hyvin aktiivihiilet puhdistivat vettä heti suodatuksen alettua. Ensimmäisen viikon jälkeen näytteitä päätettiin ottaa kerran viikkoon, koska näytteiden tulokset olivat koko ajan määritysrajan alapuolella.

Näytteet otettiin kolonnikohtaisesti merkittyihin tiiviskorkkisiin muovisiin näytepulloihin, TOC-näyte otettiin erilliseen 100 ml:n muovipulloon. Jokaisen näytepullon ja dekantterilasın merkitseminen tutkittavalla näytteellä (esim. Putki 1) auttoi välttymään tuloksien ristiinmerkkaukselta. Vertailunäyte eli ennen aktiivihiilisuodattimia (osasto 600 hiekkasuodatettu vesi) oleva vesinäyte otettiin jakotukin

päässä olevasta näytteenottohanasta. Aktiivihiihliisuodattimien läpi tuleva vesinäyte otettiin lähteville putkille rakennetusta näytteenottopisteestä (kuva 13).

Tuloksien paikkansapitävyys varmistettiin tekemällä noin joka toinen viikko standardimääritykset ja nollanäytteet varsinkin raudalle, alumiinille ja mangaanille. Muille käytettäville laitteille kalibrointi tehtiin joka päivä. Näin varmistuttiin, että näytteistä saadut tulokset ovat oikein. Ongelmia analysoimisessa tuli ns. liian hyvistä tuloksista, sillä tulokset olivat todella pieniä ja usein myös määrittäjä-ajan alapuolella. Väriin analysoiminen jätettiin ensimmäisen viikon jälkeen pois juuri tämän takia.

8.2 Tulosten analysointi

Itkonniemen vesilaitoksen mittavat saneeraukset vaikeuttivat osaltaan aktiivihiihliipilotin suodatuskolonnien toimintaa vaikuttaen aika ajoin vedenlaatuun, joka näkyy myös tutkittujen parametrien tuloksissa. Kahden kuukauden suodatuskokeen aikana vedenpuhdistusprosessissa sattui kemikaalien syöttöhäiriöitä, joka näkyy varsinkin mangaanin ja raudan tuloksissa. Vaikeuksista huolimatta kaikkien tutkittujen parametrien tulokset pysyivät tällä lyhyellä tarkastusjaksolla kuitenkin määrittäjä-ajan alapuolella tai sen läheisyydessä, jolloin tuloksien tulkintaan on suhtauduttava tietyllä varauksella.

Osasto 600 vesi eli aktiivihiihliisuodatuskolonneihin tuleva vesi toimi vertailunäytteenä analysoitaessa vesinäytteitä. Osasto 600 kuvaaja on muutettu mustaksi, jotta vertailu on helpompaa. Sameudesta ja lämpötilasta ei luotu kuvaajia mutta ne näkyvät taulukossa 5 keskiarvoina. Väriin määrittäminen lopetettiin kokonaan, koska kolonneista saadut tulokset olivat jatkuvasti määrittäjä-ajan alapuolella (0-1).

Alla olevaan taulukkoon on koottu jokaisen kolonnin sekä osasto 600 vesistä tutkittujen parametrien keskiarvot kahden kuukauden suodatuskoejaksolta. Taulukkoon 6 on koottu keskiarvoihin perustuvat TOC:n, raudan, mangaanin ja alumiinin puhdistusreduktiot %:na, osasto 600:n pitoisuuksiin nähden.

TAULUKKO 5. Kahden kuukauden suodatuskokeesta kerättyjen vesinäytteiden mittaustulosten keskiarvot (Heikkinen 2018-11-14)

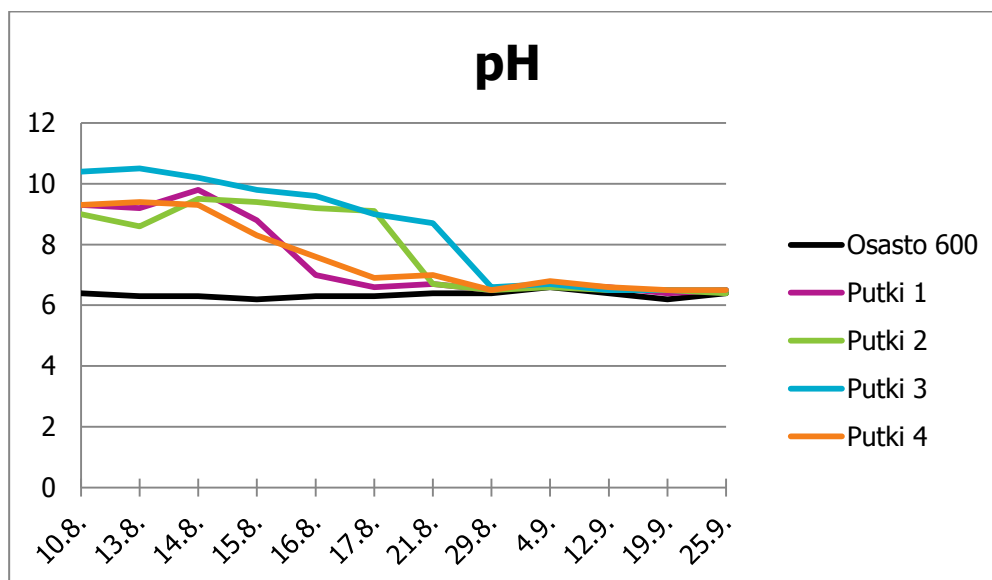
| | Osasto 600 | Putki 1 | Putki 2 | Putki 3 | Putki 4 |
|-------------------------------------|------------|---------|---------|---------|---------|
| pH | 6,4 | 7,5 | 7,8 | 8,4 | 7,6 |
| Lämpötila (°C) | 12,8 | 12,8 | 12,6 | 12,6 | 12,7 |
| Sähkönjohtavuus (µS/cm) | 115 | 111 | 110 | 142 | 119 |
| Sameus (FTU) | 0,13 | 0,06 | 0,06 | 0,09 | 0,05 |
| UV₂₅₄-absorbanssi | 0,066 | 0,013 | 0,001 | 0,002 | 0,002 |
| TOC (mg/l) | 3,0 | 0,6 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Rauta (mg/l) | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Mangaani (mg/l) | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,07 |
| Alumiini (mg/l) | 0,11 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |

TAULUKKO 6. Kahden kuukauden suodatuskokeesta kerättyjen vesinäytteiden mittaustulosten puhdistusreduktiot (%). (Heikkinen 2018-11-14)

| | Putki 1 | Putki 2 | Putki 3 | Putki 4 |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|
| TOC | 78,8 | 98,4 | 97,0 | 96,1 |
| Rauta | 28,7 | 89,6 | 82,4 | 81,7 |
| Mangaani | 23,4 | 32,3 | 45,7 | 21,5 |
| Alumiini | 88,4 | 92,9 | 92,9 | 90,2 |

8.2.1 pH

Kuopion Veden laboratorioissa suoritettut pH-mittaukset tehtiin välittömästi näytteenoton jälkeen liitteen 3 olevan standardin mukaan. Ensimmäinen näyte otettiin heti varsinaisen suodatuskokeen alettua 10.8. Kuvasta 24 nähdään, kuinka pH on jokaisessa aktiivihiihkolonnissa reilusti yli 8. Tämä selittyy aktiivihiihien valmistusprosessissa syntyneistä tuhkaajamistä. Suosituksena pidetään uusien aktiivihiihien pidempikestoista alkuhuuhtelua, jotta ylimääräinen tuhka poistuu huuhtelun yhteydessä. Tässä opinnäytetyössä pilotin ylösajon aikana kunnollista alkuhuuhtelua ei tehty, joka sitten huomattiin kaikkien kolonnien lähtevän veden emäksisyytenä. Näytteitä otettiin ensimmäisen viikon aikana joka päivä, ja pH laski vähitellen kaikissa kolonneissa osasto 600 tasolle. Viikon jälkeen näytteitä otettiin vain keskiviikkoisin. Suodatuskolonnien vastavirtahuuhtelulla ei ollut vaikutusta pH-arvoihin, sittenkään, kun pH oli asettunut tulevan veden tasolle.

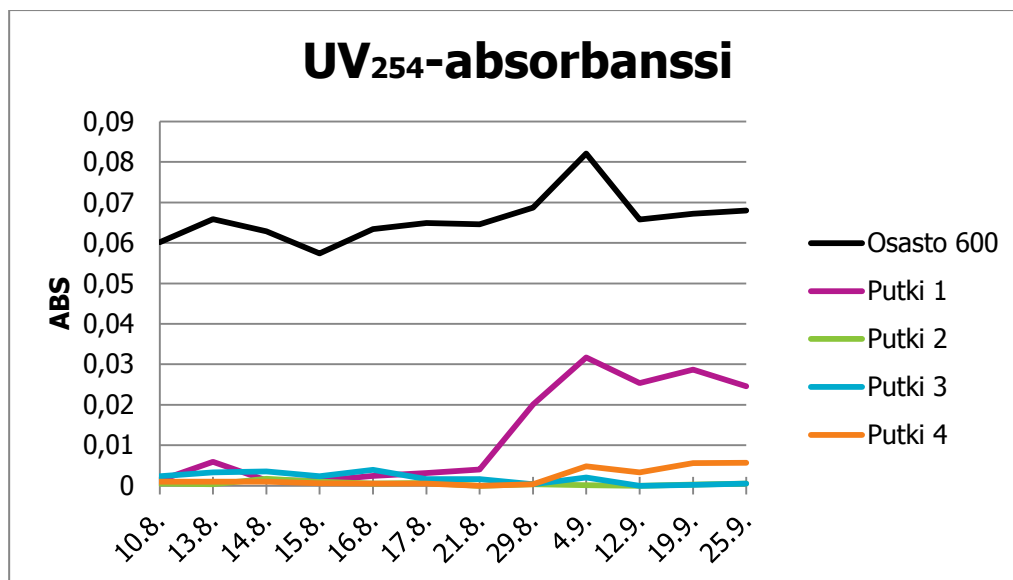


KUVA 24. Suodatuskolonnien vesinäytteiden pH tulokset kahden kuukauden ajalta. (Heikkinen 2018-11-14)

8.2.2 UV₂₅₄-absorbanssi

Kuopion Veden laboratorioissa suoritettiin UV-absorbanssin määrittäminen välittömästi näytteenoton jälkeen aallonpituudella 254 nm. Vesinäytteiden sisältämä orgaaninen aine absorboi UV-valoa, mikä havaittiin UV-absorbanssituloksista. Mitä enemmän vedessä on käytetyllä aallonpituudella absorboivia yhdisteitä, sitä korkeampi on veden UV-absorbanssitulos.

Ensimmäinen näyte otettiin heti varsinaisen suodatuskokeen alettua 10.8. Kuvasta 25 nähdään, että kuukauden koesuodatuksen ajalta jokainen suodatuskolonni adsorboi tehokkaasti tulevasta vedestä orgaanisia yhdisteitä. Ainoastaan putki 1:n UV-absorbanssitulokset vakiintuivat selvästi korkeammalle kuukauden suodatuskoeajan jälkeen, vaikka hiili adsorboi reilusti yli puolet tulevan veden orgaanisista yhdisteistä. Muissa kolonneissa tulokset ovat koko kahden kuukauden ajan lähellä nollaa.

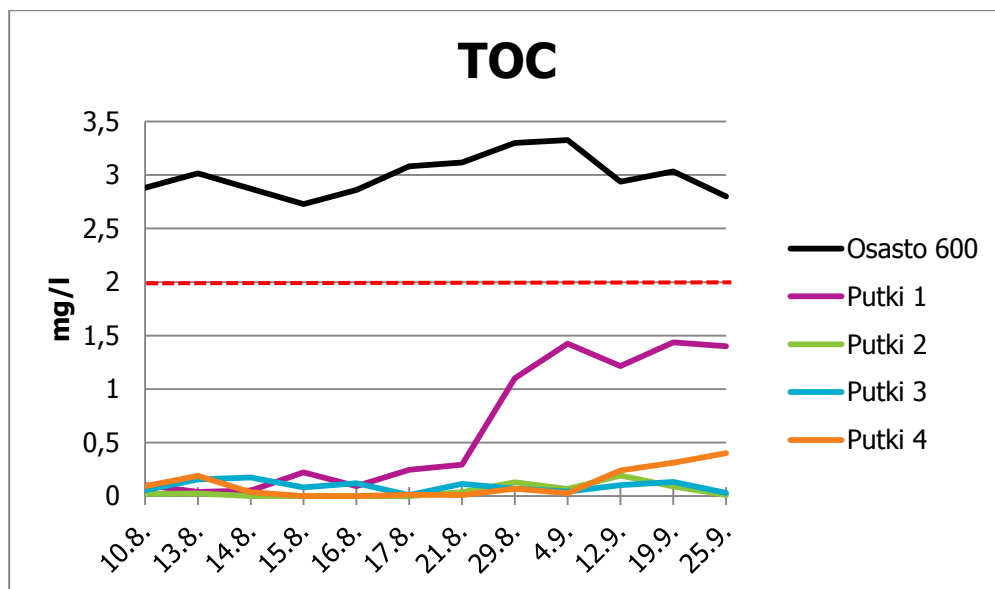


KUVA 25. Suodatuskolonnien ja osasto 600:n vesinäytteiden UV-absorbanssitulokset kahden kuukauden ajalta (Heikkinen 2018-11-14)

8.2.3 Orgaaninen kokonaishiili

Kahden kuukauden testisuodatuksen aikana seurattiin orgaanisen kokonaishiilen määrää liitteen 3 mukaisin menetelmin. TOC-analyysillä saatiin tietoa aktiivihiihlysuodatuskolonnien kyvystä pidättää orgaanista ainesta. TOC-tulokset sekä UV-absorbanssista saadut tulokset korreloivat keskenään, mikä huomataan 21.8. alkavasta osasto 600 ja putki 1 arvojen samanaikaisesta kohoamisesta (kuvat 25 ja 26).

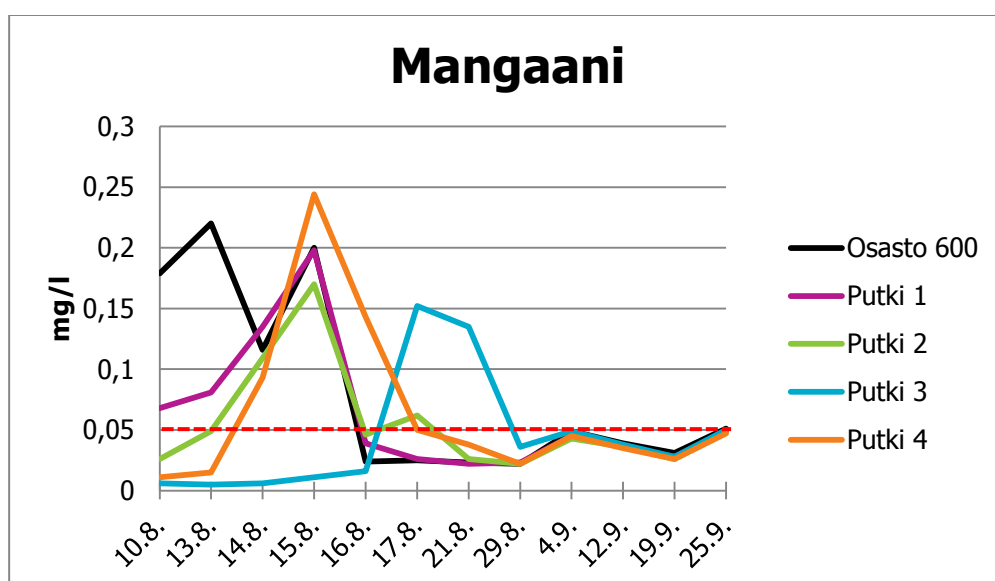
Pöyryn yleissuunnitelman mukaan aktiivihiihlysuodattimille asetettu tavoitearvo TOC-pitoisuudelle on 2 mg/l (merkattu kuvaan 26 punaisella katkoviivalla), jonka suodatuskolonnit läpäisevät kirkkaasti. Ainoastaan putki 1:n TOC pitoisuus lähti selvään nousuun kuukausi suodatuskokeen aloittamisesta mutta on sittemmin pitäytynyt 1,4 mg/l. Vastavirtahuuhtelulla ei ollut merkittävää hyötyä TOC-pitoisuuteen. Kuvasta 25 nähdään, että jokainen suodatuskolonni poistaa vedestä erinomaisen hyvin orgaanista ainesta, TOC:n reduktion ollessa putki 2:ssa, 3:ssa ja 4:ssä yli 95 %. Ainoastaan putki 1:n TOC:n reduktio oli 87 %.



Kuva 26. Suodatuskolonnien ja osasto 600:n vesinäytteiden TOC-pitoisuudet kahden kuukauden ajalta (Heikkinen 2018-11-14)

8.2.4 Mangaani

Kuopion Veden laboratorioissa suoritettujen mangaanimääritykset tehtiin välittömästi näytteenoton jälkeen liitteen 3 olevan standardin mukaan. Ensimmäinen näyte otettiin heti varsinaisen suodatuskokeen alettua 10.8. Vesilaitoksen saneerauksesta johtuvan kemikaalin syöttöhäiriön seurauksena mangaanipitoisuudet heittelevät ensimmäisen kahden viikon ajan, mikä näkyy myös suodatuskolonnien vesinäytteiden kohonneissa mangaanipitoisuuksissa. Suodatuskokeen alussa kaikki aktiivihii-lilaadut adsorboivat mangaania hyvin, mutta kuten kuvasta 27 huomataan, aktiivihiihkolonnit eivät adsorboi mangaania ollenkaan, kun osasto 600 vesinäytteiden mangaanipitoisuuden vaihtelu on tasaantunut. Laatuvaatimus mangaanipitoisuudelle on 0,05 mg/l, joka on merkattu kuvaajaan punaisella katkoviivalla.

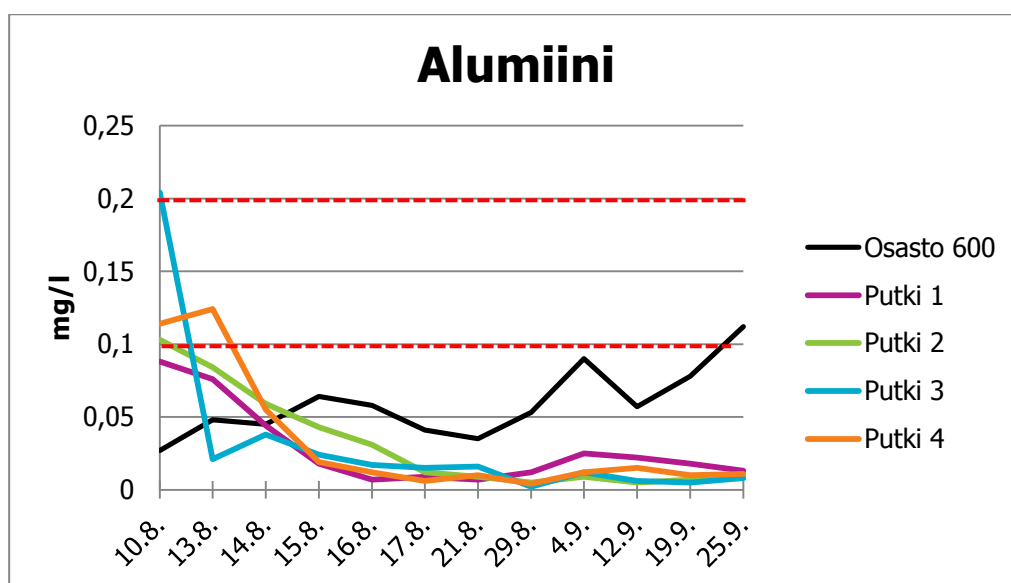


Kuva 27. Suodatuskolonnien ja osasto 600:n vesinäytteiden mangaanipitoisuudet kahden kuukauden ajalta (Heikkinen 2018-11-14)

8.2.5 Alumiini

Kuopion Veden laboratorioissa suoritettavat alumiinimääritykset tehtiin välittömästi näytteenoton jälkeen liitteen 3 olevan standardin mukaan. Ensimmäiset näytteet otettiin heti varsinaisen suodatuskokeen alettua. Kuopion Vesi syöttää alumiinia vedenpuhdistusprosessiin, jotta humuspartikkelien kokoa saadaan kasvatettua. Vesilaitoksen saneerauksesta johtuvan kemikaalin syöttöhäiriön seurauksena osasto 600 vesinäytteiden alumiinipitoisuus heittelehti mutta ei kuitenkaan ylittänyt laatuvaatimusta 0,2 mg/l, mikä on merkattu kuvaajaan punaisella katkoviivalla. Aivan testisuodatuksen loppuvaiheessa osasto 600 vesinäytteiden alumiinipitoisuus kohosi yli tavoitearvon, joka on 0,1 mg/l (merkattu kuvaajaan punaisella katkoviivalla).

Kuten kuvasta 28 nähdään, suodatuskokeen alussa jokaisen kolonnin lähtevän veden alumiinipitoisuus oli suurempi kuin osasto 600 tulevan veden pitoisuus. Noin viikko suodatuskokeen aloittamisesta alumiinipitoisuudet laskivat lähelle 0,03 mg Al/l. Kahden kuukauden suodatuskokeen perusteella voidaan todeta, että kaikki suodatuskolonnit adsorboivat alumiinia tehokkaasti, puhdistusreduktion ollessa noin 90 %.

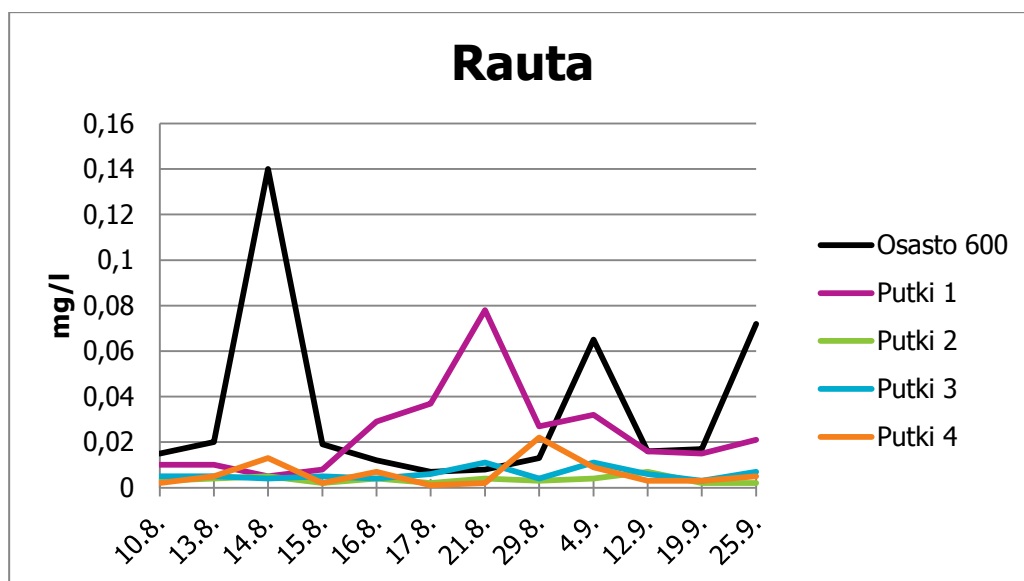


Kuva 28. Suodatuskolonnien ja osasto 600:n vesinäytteiden alumiinipitoisuudet kahden kuukauden ajalta. (Heikkinen 2018-11-14)

8.2.6 Rauta

Kuopion Veden laboratorioissa suoritettavat rautamääritykset tehtiin välittömästi näytteenoton jälkeen liitteen 3 olevan standardin mukaan. Ensimmäinen näyte otettiin heti varsinaisen suodatuskokeen alettua. Vesilaitoksen saneerauksen aikaiset kemikaalien syöttöhäiriöt vaikuttivat hiekkasuodatetun veden rautapitoisuuteen, joka näkyy kuvaajassa 29 osasto 600 vesinäytteiden hetkellisesti kohonneina pitoisuuksina. Putki 1:n kuvaajasta voitiin päätellä, ettei tämä hiililaatu pystynyt pidättämään kaikkea rautaa, vaan vapautti kaksi päivää myöhemmin lähtevään veteen noin puolet osasto 600 tulleesta raudan määrästä. Putki 2, 3 ja 4 adsorboivat lähes koko suodatuskokeen ajan rautaa alle

määritysrajan (0,009 mg/l). Talousveden laatuvaatimus raudalle on 0,2 mg Fe/l, jota ei missään vaiheessa ylitetty.



Kuva 29. Suodatuskolonnien ja osasto 600:n vesinäytteiden rautapitoisuudet kahden kuukauden ajalta (Heikkinen 2018-11-14)

8.3 Aistinvarainen arviointi

Tässä opinnäytetyössä 11.9.2018 tehdyn epävirallisen aistinvaraisen testin tarkoituksena oli tutkia arvioijien avulla aktiivihilisuodattimien kykyä poistaa hajua ja makua puhdistettavasta vedestä sekä pystyvätkö arvioijat erottamaan selviä maku- tai hajuvivahteita eri vesinäytteistä. Ennen aistinvarais- ta arviointia arvioijien turvallisuus varmistettiin tekemällä osasto 600 tulevasta vedestä sekä suoda- tuskolonnien läpi suodautuvasta vedestä e-coli ja koliformisten bakteerien määritykset. Vesinäytteet olivat puhtaat.

Aistinvaraisen arvioinnin testiympäristönä oli Kuopion Veden Itkonniemen laboratorio ja arviointiin valittiin vedentuotannon henkilökuntaa (6 kpl). Näytteet otettiin suodatuskolonnien lisäksi myös hiekkasuodatetusta vedestä eli aktiivihilisuodattimille tulevasta vedestä (osasto 600) sekä Itkonnie- men ja Jänneniemen talousvedestä. Aistinvaraisia näytteitä oli yhteensä 7 kpl, joista 3:sta oli helppo havaita maku- ja hajuvivahteita. Näytteet otettiin aistinvaraiseen arviointiin tarkoitettuihin lasipulloi- hin (kuva 30) ja temperoitiin huoneenlämpötilaan.



Kuva 30. Aistinvaraisen arvioinnin testiympäristö (Heikkinen 2018-11-05)

Ennen arvioinnin aloittamista valmisteltiin testiympäristö järjestämällä ja merkkäämällä näytepullot satunnaiseen järjestykseen, sylkykuppi ja maistelukuppi asetettiin näytteiden läheisyyteen, laboratorio valaistiin mahdollisimman hyvin ja hiljennettiin ylimääräisestä melusta. Aistinvaraisen arvioinnin aikana testiympäristössä oli vain testinjärjestäjä sekä arvioija.

Testi aloitettiin ensin opastamalla arvioijalle testausjärjestys ja menettelytapa. Tämän jälkeen arvioija kävi näytteet järjestyksessä läpi. Hajun määräytyä tehtiin ravistamalla pulloa voimakkaasti, jolloin hajuaromit voimistuivat. Jos arvioija haistoi hajua, näyte sai pisteen. Kaikki arvioijan tekemät havainnot ja kuvaukset kirjattiin arviointilomakkeeseen. Maun määräytyä tapahtui ottamalla näyte dekanterikuppiin ja purskuttelemalla vesinäyte suussa. Näytettä ei saanut niellä, vaan se sylkäistiin sille varattuun sylkykuppiin purskuttelun jälkeen. Arvioija kuvaili parhaansa mukaan, jos havaitsi maun. Pisteytys ja kirjaaminen tehtiin samalla tavalla kuin hajun määrityksessä.

Taulukkoon 7 on koottu yhteenveto aistinvaraisen testin tuloksista. Yhteenvedosta on jätetty pois Jänneniemen ja Itkonniemen puhdasvesitulokset virhemarginaalin pienentämisen takia, sillä niistä saaduilla tuloksilla ei ole merkitystä tämän testin tarkoituksen kanssa mutta testasivat arvioijien havainnointikykyä selvästi havaittavaan kemikaaliin, klooriin.

Eniten pisteitä sai odotetusti osasto 600 vesinäyte, jossa oli selvästi havaittavissa ummehtunut, multainen ja järviveden maku sekä haju. Osasto 600 veteen ei vielä ole lisätty jälkikalkkia tai desinfiointiainetta. Putki 4:n vesinäyte sai eniten maku pisteitä verrattuna muihin. Arvioijat kuvailivat vesinäytteen maistuvan jokseenkin muoviselle. Monella arvioijalla oli vaikeuksia kuvaila havaitsemiaan haju-

ja ja makuja mutta he olivat yhtä mieltä siitä että, osasto 600:n vesinäytteeseen verrattuna suodatuskolonneiden läpi suodatettu vesi oli erinomaisen hyvää. Väriä tässä aistinvaraisessa testissä ei tarvinnut huomioida mutta kaksi arvioijaa huomasi osasto 600 ja putki 3:en vesinäytteen olevan hieman kellertävä.

TAULUKKO 7. Aistinvaraisen testin yhteenveto (Heikkinen 2018-11-05.)

| Putki 3. | | Osasto 600 | | Putki 2. | | Putki 1. | | Putki 4. | |
|----------|------|------------|------|----------|------|----------|------|----------|------|
| Näyte 1. | | Näyte 2. | | Näyte 3. | | Näyte 4. | | Näyte 5. | |
| Haju | Maku | Haju | Maku | Haju | Maku | Haju | Maku | Haju | Maku |
| 0/0 | 1/6 | 3/6 | 5/6 | 2/6 | 0/6 | 1/6 | 1/6 | 1/6 | 4/6 |

Aistinvaraista testiä jatkettiin vielä testipäivän jälkeen tutkimalla muodostuuko seisotetuilla vesillä selvästi havaittavia hajua. Edes neljännen päivän jälkeen ei näytteistä havaittu minkäänlaisia hajuja. Voidaan todeta, että aktiivihili poistaa tehokkaasti hajua aiheuttavia aineita.

9 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytteen tavoitteena oli mitoittaa ja rakentaa aktiivihiihisuodatuspilot-laitteisto, joka sisältää neljä identtistä suodatuskolonnia. Aktiivihiihpilot-laitteistolla oli tarkoitus testata samanaikaisesti neljän erilaisen aktiivihiihilaadun kykyä poistaa puhdistettavasta vedestä orgaanisia aineita sekä hajua ja makua aiheuttavia yhdisteitä ja saada tietoa onko aktiivihiihisuodattimen investoimisella merkittävää hyötyä vedenlaadun parantamiseksi.

Suodatuskolonneihin lastattiin 4 erilaista aktiivihiihilaatua, joilla testattiin hiilien kykyä poistaa hajua ja makua aiheuttavia aineita sekä orgaanisia yhdisteitä Itkonniemen vesilaitoksen tuottamasta vedestä. Pilotin mitoittamiseen käytettiin apuna Pöyryn laatimaa *”Itkonniemen vesilaitoksen aktiivihiihisuodatus”* yleissuunnitelmaa, joka on alustava suunnitelma mahdolliselle tulevalle ison mittakaavan aktiivihiihisuodatusyksikölle.

Aktiivihiihpilot-laitteiston suodatusprosessi toimi suunnitelmien mukaan. Ylösajon aikana havaittiin aktiivihiihien huono vettyminen suodatuskolonneissa mutta se pystytään jatkossa ratkaisemaan syöttämällä uudet hiilet injektorin avulla. Suodatuskokeen aikana ongelmaksi muodostui tasaisen vedensyötön takaaminen, koska neulaventtiileihin kertynyt rauta- ja mangaanisakka alensi kaikkien kolonnien syöttöveden virtaamaa, eikä laitteisto toiminut niin itsenäisesti kuin oli suunniteltu. Jatkossa jakotukkiin on rakennettava erilainen mekanismi vedensyötön säätämistä varten. Vaihtoehdoiksi tasaisen vedensyötön turvaamiseksi, voisi olla kolonneihin asennettavat pinnanmittausanturit ja magneettiventtiilit tai sähköiset säätöventtiilit, jotka ohjelmoidaan aukeamaan ääriasentoon tasaisin väliajoin, jotta venttiileihin kerääntyneet sakat poistuvat.

Tulovirtaaman jatkuva heittelehtiminen vaikeutti suodatuskolonneissa olevien aktiivihiihirakeiden tukkeutumisen ajankohdan määrittämistä. Tarkoituksena oli saada laskettua jokaisen kolonnin tarvitsema vesipatsaan korkeus normaalivirtaamalla ja määritettyä hiilien tukkeutumisen ja vastavirtahuuhdelulle tarkoitettun huuhteluvälin ajankohta, kun vesipatsaan korkeus alkaa merkittävästi kohota. Vaikeuksista huolimatta suodatuskokeen aikana kaikkien aktiivihiihilaatujen suodatustekniset eroavaisuudet huomattiin hiilirakeiden koosta ja vesipatsaan korkeudesta. Kaikista karkearakeisimpien (putket 1 ja 3) aktiivihiihisuodatuskolonnien vesipatsaan koron keskiarvo kahden kuukauden aikana oli noin 18-20 cm kun taas hienojakoisemman aktiivihiihirakeen omaavissa suodatuskolonneissa (putket 2 ja 4) vesipatsaan koron keskiarvo oli noin 29-32 cm. Tästä voidaan päätellä, että hienojakoisemilla ja huokoisemilla aktiivihiihisuodatuspedeillä muodostuu korkeampi suodatinvastus sekä hiilet tukkeutuvat nopeammin suodatettavan veden sisältämistä epäpuhtauksista. Tämä on otettava huomioon valittaessa käytettävää hiililaatua ja suunniteltaessa ison mittakaavan aktiivihiihisuodattimia sekä niiden rakenteita. Suodatuskolonnit 2 ja 4 vastavirtahuuhdeltiin 2 viikon välein. Suodatuskolonnit 1 ja 3 huuhdeltiin kuukauden välein.

Aktiivihiihpilot-laitteella otettiin vesinäytteet jokaisesta suodatuskolonnista ensimmäisen viikon ajan päivittäin ja sitten harvennetusti kerran viikkoon kahden kuukauden ajan. Jokaisen suodatuskolonnin vesinäytteiden tulokset olivat odotettua paremmat varsinkin TOC:n osalta, sillä putkissa 2, 3 ja 4

puhdistusreduktio oli yli 95 % ja putki 1:en puhdistusreduktio oli 87 %. Kolonnien läpi suodatetun veden pH:n emäksisyys ja korkeat alumiinipitoisuudet ensimmäisen viikon aikana selittyvät ylösajon aikana puutteellisesti suoritetusta alkuhuuhtelusta. Ainoastaan mangaania aktiivihiihilaadut eivät adsorboineet. Itkonniemellä meneillään oleva saneeraus vaikutti osaltaan vedenlaadun muutoksiin, eikä ns. normaalitilaa vedenkäsittelyn osalta kerennyt syntyä. Toisaalta huomattiin, että aktiivihiihkolonnit vastasivat hyvin rauta- ja alumiinipitoisuuksien nousuun adsorboimalla niitä tehokkaasti alle määritysrajan.

Aktiivihiihpilot-laitteen koesuodatuksia olisi kuitenkin hyvä jatkaa ainakin vuoden verran, jolloin testattavien aktiivihiihilaatujen adsorptiokyvyt ja niiden eroavaisuudet tulevat paremmin esille. Samalla voidaan tutkia vuodenaikaisvaihtelun tuomat vedenlaadun muutokset ja kuinka aktiivihiihet pystyvät näihin muutoksiin vastaamaan. Vuoden mittaisen koesuodatuksen tuottaman tiedon turvin pystyttäisiin valitsemaan parhaiten soveltuva hiihilaatu ja päättämään aktiivihiihisuodatusyksikön investoinnista osaksi muuta puhdistusprosessia Itkonniemen vedentuotantolaitokselle.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

Activatedcarbon.com. Carbon Activated Corporation. [verkkojulkaisu] [viitattu 2018-01-29] Saatavilla: <https://activatedcarbon.com>

Polku: Carbon activated corporation. Manufacturing.

BENJAMIN Mark M. and LAWLES Desmond F. 2013. Water quality engineering. Physical/Chemical Treatment Processes. Wiley.

BINNIE, Chris and KIMBER, Martin 2009. Basic water treatment. Fourth edition.

CHEREMISINOFF, Nicholas P. Handbook of water and wastewater treatment technologies 2001. ISBN: 0-7506-7498-9.

HANNOLA, Tero 2007. Aktiivihielessä etenevän adsorptiorintaman mittaaminen puolijohdekaasuuntureiden avulla. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teollisuuselektroniikka/ Sovellettu elektroniikka. Diplomityö.

HEIKKINEN, Jenni 2018–10-03–2018-11-05. Kuvat 1 -30 [digikuvat]. Sijainti: Kuopio: Jenni Heikkisen sähköiset kokoelmat.

HYTTINEN, Anssi 2007. Aktiivihieiden mikrobiologisten kontaminaatioiden tutkiminen. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

ISOMÄKI Eija, VALVE Matti, KIVIMÄKI Anna-Liisa ja Lahti Kirsti 2006. Pienten pohjavesilaitosten ylläpito ja valvonta. Ympäristöopas. SYKE. [verkkojulkaisu] [viitattu 2018-01-28] Saatavilla: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38828/YO_PIPOT_2006.pdf?sequence=1

JUNTUNEN, Mari 1991. Aktiivihieiden käyttö vedenpuhdistuksessa. Oulun Yliopisto. Kemian laitos. Kirjallisuustutkielma ja erikoistyö.

KUOPION KAUPUNKI. Itkonniemen vesilaitos. Vesilaitosprosessi. Yleinen toimintaselostus.

MALINEN, Tiina 2008. TOC-analysointilaitoksen käyttöönotto ja validointi. Metropolia. Laboratorioalan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

PELTOKANGAS, J., HEINÄNEN, J. ja VIITASAARI, M. 1991. Vesihuoltotekniikan yksikköoperaatiot ja yksikköprosessit, OSA 1: Vedenhankinta. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Vesi- ja ympäristötekniikan laitos.

PULKKINEN, Matti 2010. Aktiivihieiden aktivointi, regenerointi ja käyttö. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Kemiantekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

PÄÄKKÖNEN Jorma ja KUIVAMÄKI Reijo 1999. Vesi- ja viemärlaitosyhdistys. Talousveden laadun parantaminen verkostossa tehtävin toimenpitein. Helsinki.

Pöyry 2017. Kuopion Vesi. Itkonniemen vesilaitoksen aktiivihieilisuodatus. Yleissuunnitelma 31.3.2017. Dokumentti Kuopion Veden hallussa.

RIL 124-2 2004. 2004. Vesihuolto II. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.

RIL 192-1991. 1991. Vesihuoltolaitosten peruskunnostus. Pintavesilaitokset. Jäteveden puhdistamot. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.

SILVAST, Juho, 2013. Hiekkasuodattimen toiminnan kartoitus. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

TIKKANEN, Olli 2016. Esiselvitys veden UV-desinfiointista Itkonniemen vedentuotantolaitoksella. Savonia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

watertreatmentguide.com. Activated Carbon Filtration [verkkojulkaisu] [viitattu 2018-01-29] Saatavilla: <http://www.watertreatmentguide.com>

Polku: Water treatment guide. Technical Articles. Activated Carbon Filtration.

VESITALOUS 6/2014. Vesistöjen orgaanisen aineksen lisääntymisen syitä. [digilehti]. [viitattu 2018-05-07.] Saatavissa: https://www.vesitalous.fi/wpcontent/uploads/2014/12/Vesitalous_1406_netti.pdf

VIRTANEN, Heidi 2011. Järviveden puhdistaminen juomavedeksi. Metropolian Ammattikorkeakoulu. Kemianteekniikka. Insinöörityö.

VÄLILÄ, Joonas 2002. Pintavesilaitoksella esiintyvät hajut ja niiden poistaminen aktiivihieillä. Turun ammattikorkeakoulu. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

LIITE 1: AKTIIVIHIIPILOT-LAITTEISTON OSALUETTELO

| Tuote | Määrä | Yksikkö |
|-----------------------------|-------|---------|
| PVC-putket | 14 | m |
| PVC-tanko | 0,50 | m |
| Satulamuovi | 4 | kpl |
| Muovin liimaustarvike | 1 | prk |
| Muovin liimaustarvike | 1 | prk |
| Klemmarit | 20 | kpl |
| Kudosvahvistettu letku 1/2" | 50 | m |
| Kudosvahvistettu letku 1" | 17 | m |
| Palloventtiili | 11 | kpl |
| Neulaventtiili | 4 | kpl |
| Kaksoisnipa | 12 | kpl |
| Letkunippa 1/2" | 25 | kpl |
| Letkunippa 1" | 4 | kpl |
| Supistusmuhvi | 8 | kpl |
| Supistuskaksoisnipa | 8 | kpl |
| Muhvi | 8 | kpl |
| Supistusnipa | 4 | kpl |
| Marina -pumppu | 1 | kpl |
| Vesimittari | 5 | kpl |
| Suodatinsuutin | 4 | kpl |

LIITE 2: AKTIIVIHIILOPILOT-LAITTEISTON VASTAVIRTAHUUHTELUOHJE

1. Pilot-pumpun sammutus, töpseli irti.

2. Kaikkien kolonnien lähtevät venttiilit kiinni (venttiili 1).



3. Pesuletkun kiinnitys venttiiliin 2.
Kivistys klemmariavaimella.



4. Avataan huuhteluveden venttiili osittain auki.



5. Avataan T-liittimen venttiili 2 auki ja "pyöräytetään" hiiliä suuremmalla huuhteluvesimäärällä (tarkkailtava etteivät hiilet karkaa yliteputken kautta pois). Kun hiilet ovat saavuttamassa yliteputkea, suljetaan venttiili 2 ja annetaan hiilen laskeutua. Toistetaan tarvittaessa, jotta ilmakuplat poistuvat hiilipatjasta.

6. Haetaan tasapaino venttiili 2 säätämällä, jotta hiilet jäävät "leijumaan" 2,6 metriin.

Jatketaan huuhtelua noin 10 minuuttia, kunnes vesi selkenee silmämääräisesti.



7. Huuhtelun päätyttyä venttiili 2 kiinni. Huuhteluveden venttiili kiinni.
8. Irroita huuhteluletku T-liittimestä.
9. Pumppu päälle ja kaikista hiiliputkista venttiilit 1 auki.
10. Tarkkaile huuhdellun putken veden suotautumista, lapon takia vesi voi suotautua nopeastikin, jolloin kannattaa sulkea venttiili 1 veden ollessa lähellä hiilipatjaa. Kunhan vesi on tyhjentynyt lähtevästä putkesta (u-putki), voi avata venttiin 1 uudelleen.

LIITE 3: NÄYTTEENOTTOSUUNNITELMA

Näytteenottosuunnitelma aktiivihiihipilot-laitteelle



1. Näytteenoton tavoitteet ja kohde

Näytteenoton tavoite on selvittää 4 erilaisten aktiivihiihilaadun kykyä poistaa puhdistettavasta vedestä hajua ja ma-kua aiheuttavia aineita sekä orgaanisia yhdisteitä. Kaikkien neljän aktiivihiihen tuloksia verrataan hiekkasuodatettuun veteen sekä toisiinsa. Tämän jälkeen valitaan hiili, joka on adsorboinut tehokkaimmin orgaanisia hiiliyhdisteitä. Näytteillä myös selvitetään aktiivihiihen kyllästymisaika eli kuinka nopeasti hiili kyllästyy haitta-aineista eikä adsorboitumista tapahdu yhtä tehokkaasti kuin tuoreilla hiilillä.

Vesinäytteistä tutkitaan, muuttuuko hiekkasuodatetun veden laatu aktiivihiihen vaikutuksesta.

Tutkittavat parametrit ovat:

- pH
- lämpötila
- sameus
- UV-absorbanssi
- TOC
- rauta
- mangaani
- alumiini
- HPC, 22 °C
- haju
- väri.

Pilot-laite, josta vesinäytteet otetaan, sijaitsee Kuopion Veden Itkonniemen vedenpuhdistuslaitoksen putkitunnelissa.

2. Näytteenottoaikat ja ajankohdat

Hiekkasuodatettu vesi, joka on tässä tapauksessa raakavesi, otetaan aktiivihiihipilottia varten rakennetusta jakotukista. Aktiivihiihisuodatetun veden näytteenottohanat sijaitsevat aktiivihiihisuodatuksen jälkeen.

Näytteitä tullaan ottamaan heti aktiivihiihisuodatuksen alettua tiheästi kerran päivässä, jotta saadaan tietoa aktiivihiihen käyttäytymisestä ja toimintatavasta. Näytteenottoja vähennetään sitä mukaan kun huomataan tulosten pysyvän samana pitempiä aikoja. Osa mitattavista suureista voidaan myös jättää kokonaan pois, jos niistä ei ole merkittävää hyötyä myöhemmin aktiivihiihen valinnassa.

3. Näytteenottotapa ja -menetelmät

Näytteet otetaan tiiviskorkkisiin näytepulloihin. TOC-näyte otetaan 100 ml:n muovipulloon, joka voidaan pakastaa. HPC, 22°C näyte otetaan bakteeripulloon, joka määritetään Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy:ssä (SKYT).

4. Näytteiden käsittely, kuljetus ja varastointi

Vesinäytteet määritetään Kuopion Veden omassa laboratorioissa. pH, lämpötila, sameus, UV-absorbanssi, HPC ja haju -määritykset on tehtävä saman päivän aikana. Muut analyysit voidaan tehdä myöhemmin, jolloin näytteet täytyy pakastaa. Heterotrofinen pesäkelukema määritetään SKYT:llä.

5. Tutkimus- ja analyysimenetelmät

Vesinäytteistä analysoitavien parametrien tutkimus- ja analyysimenetelmät sekä käytettävät mittalaitteet näkyvät alla olevassa taulukossa.

| Analysoitavat suureet | Määrittäminen | Mittalaite |
|------------------------------|------------------------------|--------------------|
| alumiini (µg/l) | LCK 301 / HACH | HACH LANGE DR 3900 |
| haju ja maku | aistinvarainen määrittäminen | |
| HPC, 22 °C | SFS - EN ISO 19458 | SKYT |
| kok.rauta (µg/l) | Method 8147 / HACH | HACH LANGE DR 3900 |
| lämpötila | | |
| mangaani (µg/l) | Method 8149 / HACH | HACH LANGE DR 3900 |
| pH | SFS 3021 | (VWR) pH enomenal |
| sameus (FTU) | SFS-EN 27027 | TL 2310/HACH |
| TOC (mg/l) | SFS-EN 1484 | TOC – L Shimadzu |
| UV-absorbanssi (UV-254 abs) | | Shimadzu UV - 1601 |
| väri | SFS 3023 | komparaattori |

6. Laadunvarmistus

Tuloksien paikkansapitävyys varmistettiin tekemällä noin joka toinen viikko standardimäärittäykset ja nollanäytteet varsinkin raudalle, alumiinille ja mangaanille. Muille käytettäville laitteille kalibrointi tehtiin joka päivä. Näin varmistettiin, että näytteistä saadut tulokset ovat oikein.

7. Tulosten käsittely ja raportointi

Näytteenotolla saadut tulokset kirjataan exceliin, josta tulokset muokataan graafiseen muotoon. Tulokset esitellään opinnäytetyössä.