

Kemiallisia näkökulmia vedenkäsittelyyn

Tero Luukkonen

Kemian laitos, Oulun yliopisto • tero.luukkonen@oulu.fi

Emma-Tuulia Tolonen

Kemian laitos, Oulun yliopisto • emma-tuulia.tolonen@oulu.fi

Jaakko Rämö

Thule-instituutti, Oulun yliopisto • jaakko.ramo@oulu.fi

Tämä artikkeli syntyi Kemian opetuksen päivillä 13.–14.4.2012 pidetyn koagulaatio ja flokkaus osana vedenkäsittelyä -työpajan pohjalta. Työpajassa käsiteltiin pintaveden käsittelyn keskeistä yksikköoperaatiota: koagulaatiota/flokkausta. Koagulaatioon ja flokkaukseen liittyy kemiallisesti mielenkiintoisia ilmiöitä ja niitä on mahdollista demonstroida kemian opetuksen yhteydessä suhteellisen yksinkertaisilla välineillä. Luokkaympäristöön soveltuva demonstraatio on esitetty pintaveden käsittelyä käsittelevän kappaleen yhteydessä.

Vedenkäsittely on suurelta osin kemiallisiin ilmiöihin pohjautuvaa ja niiden tuntemuksen merkitys kasvaa jatkuvasti globaalien vesitilanteiden kiristyessä. Tässä artikkelissa luodaan yleiskatsaus vesivarojen riittävyyteen Suomessa ja maailmalla sekä tarkastellaan pinta-, pohja- ja jätevedenkäsittelyprosessien keskeisiä kemiallisia ilmiöitä.

1. Globaalit vesivarat ja niiden käyttö

Maailmassa olevista vesivaroista vain noin 3 % on makeaa vettä ja loput 97 % suolaista merivettä. Edelleen 70 % makeasta vedestä on sitoutuneena jäätikköihin ja lumeen. Näin ollen vain 1 % maailman vesivaroista on suoraan käyttökelpoisessa muodossa. Vesivarat jakautuvat myös sijainniltaan hyvin epätasaisesti: kahdeksalla valtiolla (Brasilia, Kanada, Kiina, Kolumbia, Indonesia, Peru, Venäjä ja Yhdysvallat) on käytössään noin puolet uusiutuvista vesivaroista. Toinen vesivarojen riittävyyteen vaikuttava tekijä on asukastiheys. Taulukossa 1 on esitetty eräs tapa luokitella alueita vesivarojen riittävyyden mukaan. Noin 40 % maailman väestöstä elää tällä hetkellä alueilla, jossa esiintyy jonkinasteista veden niukkuutta. (Flynn, 2009)

Taulukko 1. Eräs tapa luokitella veden niukkuudesta kärsiviä alueita. (Flynn, 2009)

Käytettävissä oleva vesimäärä	Kuvaus
Alle 1700 m ³ / asukas / vuosi	Ajoittaisia veden riittämättömyysongelmia voi esiintyä.
Alle 1000 m ³ / asukas / vuosi	Elintarvikkeiden tuotanto vaarantuu, vaikeuksia taloudellisessa kehityksessä.
Alle 500 m ³ / asukas / vuosi	Kotitalouksien perustoimet vaarantuvat.

Veden niukkuus pohjavesialueilla aiheutuu veden liiallisesta pumppaamisesta sen uusiutumisenopeuteen nähden. Toisaalta myös maa-alan päällystäminen esimerkiksi asfaltilla estää veden imeytymistä ja siten pohjavesien uusiutumista. Useilla alueilla käytetään tällä hetkellä jo ns. fossiilisia pohjavesiä, jotka ovat olleet maaperässä hyvin pitkään, eivätkä uusiudu. (Flynn, 2009)

Pintavesien saatavuuteen liittyy sekä laadullisia, että määrällisiä ongelmia. Useat maapallon suurista joista (esim. Ganges, Niili ja Rio Grande) eivät saavuta ajoittain suistoaluettaan ollenkaan liiallisen veden käytön vuoksi. Yleensä käytetty vesi palautetaan kuitenkin vesistöihin, mutta veden laatu ei vastaa alkuperäistä. (Flynn, 2009)

2. Suomen vesitilanne

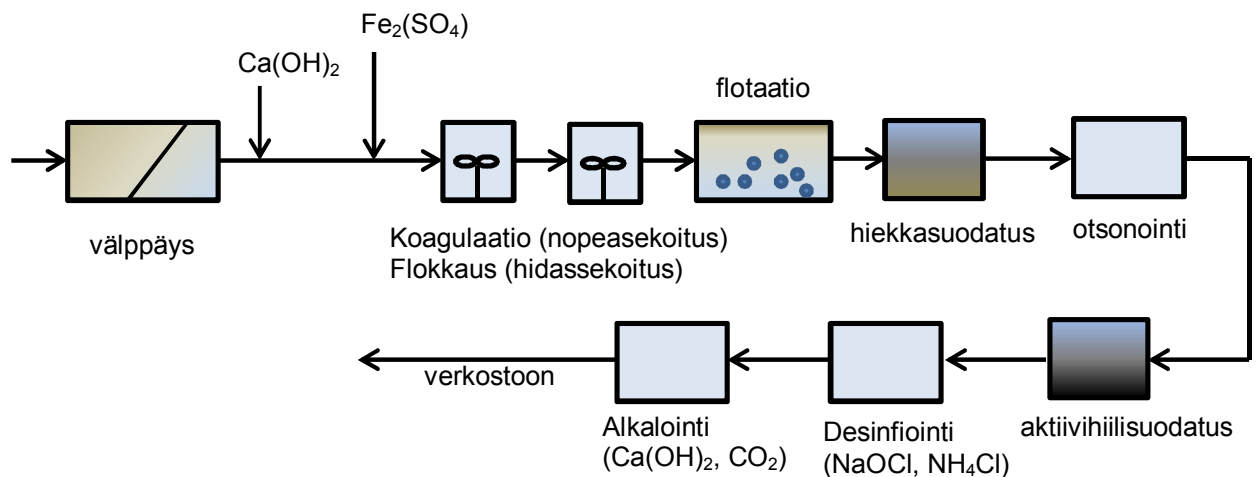
Suomessa vesivarojen riittävyys ei ole ongelma ja ilmastonmuutoksen aiheuttaman lämpenemisen arvioidaan lisäävän sademääriä Suomessa. Vesivarojen riittävyyden lisäksi myös talousveden hyvää laatua pidetään Suomessa jokseenkin itsestäänselvyytenä. Veden laatuun liittyvät kysymykset nousevat esille lähinnä häiriötilanteissa, jotka ovat yleensä mikrobiologisista syistä johtuvia ja ilmenevät vesiepidemioina. Vesiepidemioita on ollut Suomessa vuosina 1998 - 2006 kaikkiaan 56 kappaletta ja niissä on sairastunut yhteensä 16800 ihmistä. Epidemiat esiintyvät pääosin kunnallisten pohjavesilaitosten jakelualueella johtuen pohjavedenkäsittelyprosessien kevyemmästä käsittelyprosessista. Tyypillisesti vesiepidemiat havaitaan, kun ihmisiä alkaa sairastua esimerkiksi vatsatauteihin samalla alueella. (Keränen-Toivola, 2011)

Kemialliset veden laatuhäiriöt eivät tyypillisesti aiheuta akuutteja terveysvaikutuksia, joten niiden havaitseminen on vaikeampaa. Kemialliset laatupoikkeamat voivat esiintyä esimerkiksi makuna, hajuna, värinä tai korroosiona jakeluverkostolle. Kemiallisten veden laatuhäiriöiden aiheuttajana voi olla esimerkiksi liian korkea pH, rauta tai mangaani. (Keränen-Toivola, 2011)

3. Vedenkäsittelyn kemiaa

3.1. Pintavesi

Suomen talousvettä tuottavien vesilaitosten raakavedestä noin 40 % on pintavettä eli joki- tai järvivettä. (SFS-Käsikirja 45-1 2011) Pintaveden laatu on yleisesti huonompi kuin pohjaveden ja se vaihtelee vuodenaajan mukaan. (Salmela & Sillanpää, 2001) Pintavesiä joudutaankin käsittelemään enemmän kuin pohjavesiä, jotta saavutetaan talousvedelle asetetut laatuvaatimukset. (STM 461/2000) Tavallinen käsittely pintavedelle on välppäys, koagulaatio, flokkaus, selkeytys, suodatus ja desinfiointi. (Letterman, 1999) Kuvassa 1 on esitetty pintavedenkäsittelyprosessi, jossa on mukana lisäksi otsonointi, aktiivihiihi-suodatus ja alkalointi.



Kuva 1. Pintaveden käsittelyprosessi.

Välppäyksessä vesi johdetaan eräänlaisen siivilän läpi, joka poistaa vedestä suuret epäpuhtaudet. Välppäys on tarpeen etenkin puhdistettaessa jokivesiä, sillä joen mukana kulkevat oksat tms. kappaleet voisivat vahingoittaa myöhempää prosessia. (Karttunen, 2003)

Koagulaatiossa ja flokkauksessa pyritään sopivilla kemikaaleilla saamaan aikaan liete, johon kolloidimuotoiset ja osa liuenneista epäpuhtauksista kiinnittyy (Berger & Kaukonen, 1984). Liette puolestaan poistetaan selkeytyksen ja suodatuksen avulla. Lopuksi pintavesilaitokselta lähtevä vesi desinfioidaan aina ennen jakelua vesijohtoverkostoon. (Karttunen, 2003)

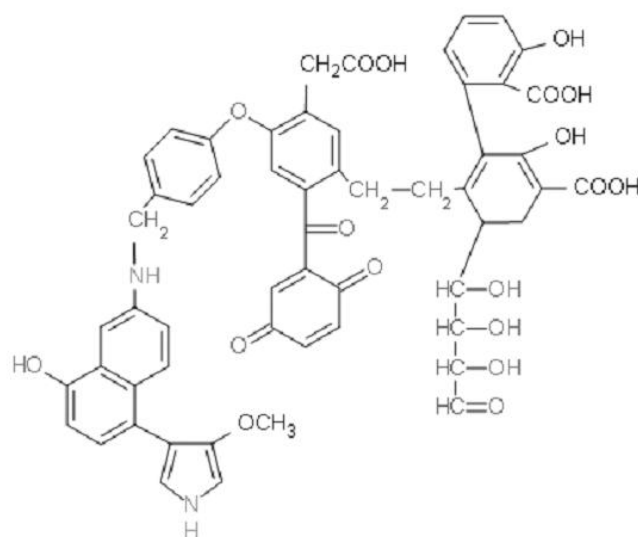
Yleisimpiä koagulanttikemikaaleja ovat alumiini- ja rautasuolat. Vaikka alumiinisuolet ovat vielä tällä hetkellä käytetyimpiä koagulantteja, on rautasuolojen käyttö yleistymässä. Rautasuolojen etuna on, että ne toimivat laajemmalla pH-alueella kuin alumiinisuolet. Talousveden valmistuksessa käytettäviä rautasuoloja ovat ferrisulfaatti ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) ja ferrikloridi (FeCl_3), joissa rauta esiintyy hapetusluvulla +3. Ferrisulfaatin ja ferrikloridin

liueteissa rauta (Fe^{3+}) esiintyy vedessä kuuden vesimolekyylin ympäröimänä oktaedrisenä kompleksina. (Letterman, 1999)

Reaktioyhtälöissä 1 - 4 on kuvattu raudan hydrolyysireaktiot (Letterman, 1999). Kuten reaktioyhtälöistä nähdään, raudan hydrolyysireaktiot alentavat pH:ta, minkä vuoksi on tarpeen annostella esimerkiksi kalkkia ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) pH:n nostamiseksi (kuva 1). Reaktioyhtälöissä esitetyt hydrolyysituotteet voivat reagoida keskenään muodostaen polymeerisiä komplekseja. Vedenkäsittelyssä voidaan käyttää myös jo valmiiksi polymeroituja koagulantteja, yleisimmin polyalumiineja. Polymeroidut koagulantit reagoivat nopeammin vedessä olevien epäpuhtauksien kanssa.



Viimeisten vuosikymmenten aikana on alettu kiinnittää enemmän huomiota humuksen poistoon talousvedestä, sillä humus voi muodostaa desinfiointiaineena käytettävän kloorin kanssa terveydelle haitallisia desinfiointin sivutuotteita. Suomen pintavedet ovat usein hyvin humuspitoisia johtuen soiden yleisyydestä. Humus käsittää laajan valikoiman vaikeasti hajoavia yhdisteitä eikä sille voida esittää yhtä yhtenäistä rakennekaavaa. (Berger & Kaukonen, 1984) Kuvassa 1 on esitetty esimerkinomainen humusainemolekyylin rakennekaava.

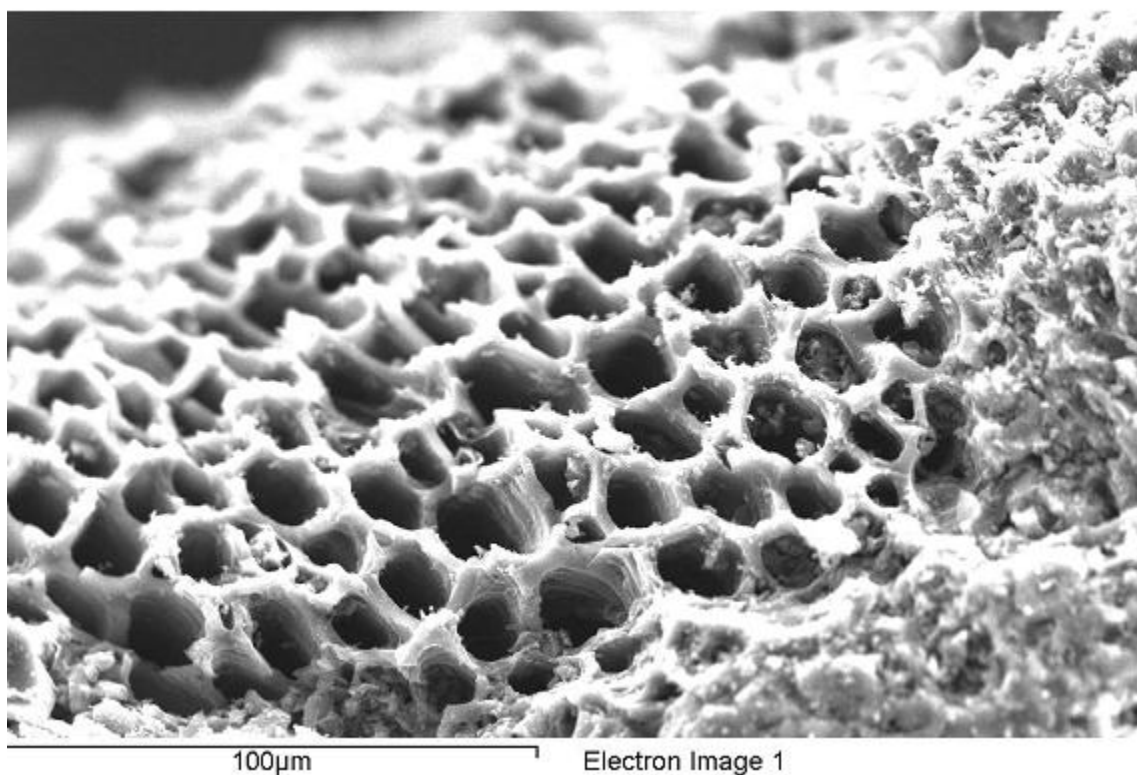


Kuva 2. Humusainemolekyylin esimerkinomainen rakenne.

Tärkeimmät funktionaaliset ryhmät (karboksyyli, fenoli, hydroksyyli, karbonyyli, kinoni ja metoksi) on esitetty rakenteessa. (Loon & Duffy, 2000)

Humus voi aiheuttaa veteen väriä, hajua ja makua sekä ravita mikro-organismeja. Lisäksi se voi lisätä koagulantti- ja desinfiointikemikaalien annostelumääriä ja sitoa muita epäpuhtauksia kuten metalleja sekä edistää kemiallista korroosiota vesijohdoissa. (Exall & Vanloon, 2000) Tavallisella pintaveden käsittelyllä voidaan poistaa kuitenkin jopa 90 % humuksesta.

Hajua ja makua voidaan torjua käyttämällä kuvassa 1 näkyvää otsonointi-aktiivihiilisuodatus-yhdistelmää. Ko. prosessivaiheessa otsoni pilkkoo vedessä olevaa orgaanista ainesta pienemmiksi molekyyleiksi. Pienet orgaaniset molekyylit poistuvat aktiivihiilisuodatuksessa adsorption ja biologisen toiminnan seurauksena. Adsorptio tarkoittaa molekyylin kiinnittymistä joko fysikaalisten tai kemiallisten vuorovaikutusten avulla aktiivihiilen pintaan. Aktiivihiilen pinta-ala on erittäin suuri johtuen sen huokoisesta rakenteesta (kuva 3). Aktiivihiilen biologinen toiminta tarkoittaa tilannetta, jossa aktiivihiilen pinnalle on kehittynyt aktiivinen biofilmi, jonka bakteerit käyttävät veden epäpuhtauksia aineenvaihdunnassaan. (Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006)



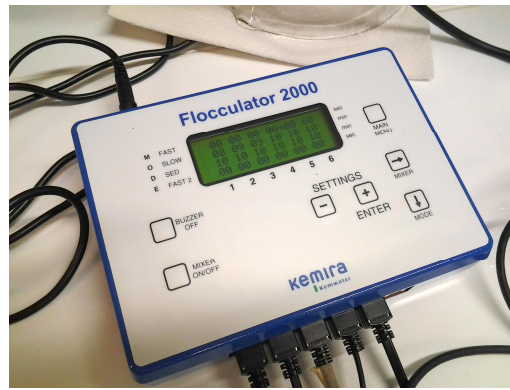
Kuva 3. Vedenkäsittelyssä käytettävän aktiivihiilen pintaa kuvattuna pyyhkäiselektronimikroskoopilla.

Desinfiointi ennen verkostoon johtamista toteutetaan usein klooriamiineilla. Klooriamiinien etu muihin desinfiointimenetelmiin nähden on niiden pitkäkestoinen vaikutus verkostossa: ne estävät biofilmien muodostumisen putkien sisäpinnoille. Viimeinen vaihe desinfiointin jälkeen on alkalointi, jossa säädetään veden

alkaliniteetti ja pH sellaiselle tasolle, ettei vesi aiheuta korroosiota putkistolle ja vesikalusteille.

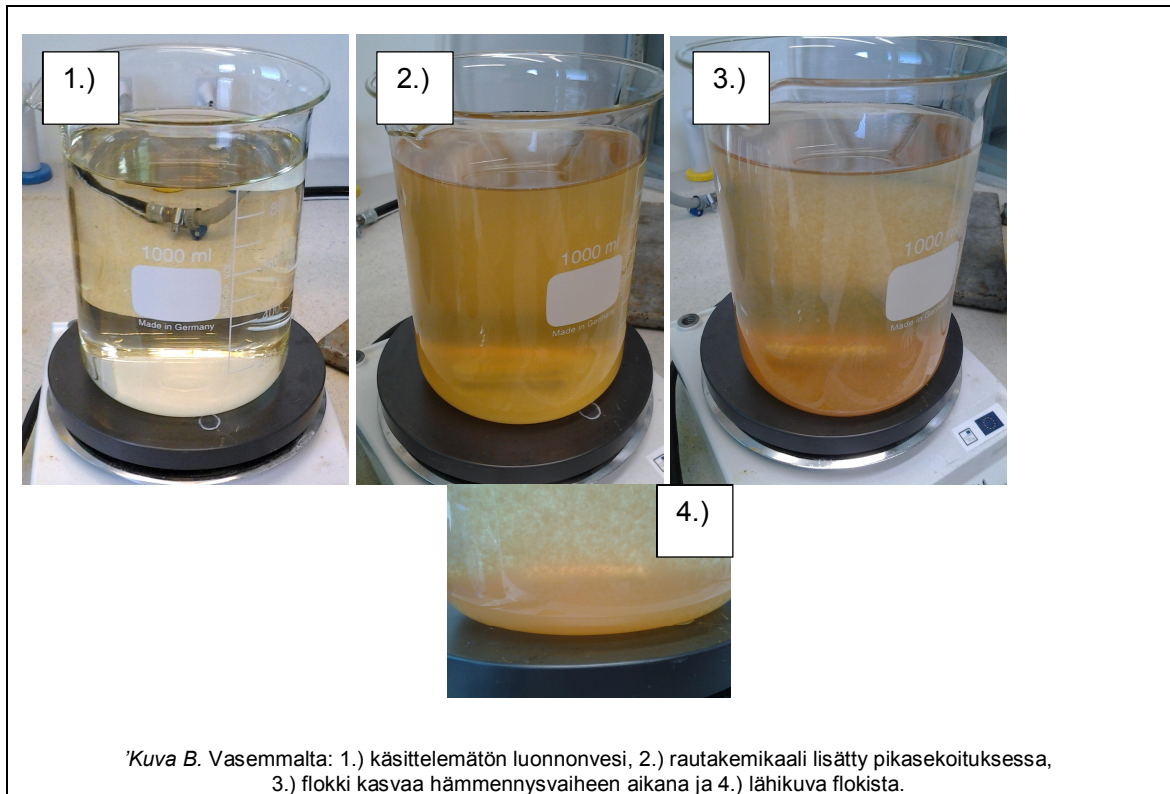
Työohje kouluissa tehtävää koagulaatio-flokkulaatio-demonstraatiota varten

Koagulaation ja flokkauksen tutkimukseen voidaan käyttää ns. jar-laitteistoa (kuva A.). Jar-laitteistossa ideana on jäljitellä vesilaitoksilla koagulaatiossa ja flokkauksessa käytettäviä pikasekoitus- ja hämmennysvaiheita pienessä mittakaavassa. Näin voidaan tutkia esim. kemikaaliannostusta, optimaalista pH:ta tai sekoituksen tehokkuutta. Pikasekoitusvaiheessa vettä sekoitetaan voimakkaasti ja siihen tehdään koagulaatiokemikaaliannostukset. Pikasekoitusvaiheen aikana tapahtuu koagulaatio. Hämmennysvaiheessa vettä sekoitetaan hitaasti ja epäpuhtauksista ja lisäystä kemikaalista muodostuvat aggregaatit, eli ns. flokit, kasvavat. Tätä ilmiötä nimitetään flokkulaatioksi. Lopuksi muodostuneiden flokkien annetaan laskeutua astian pohjalle. Vedestä voidaan mitata esim. sameutta, rauta- tai alumiinipitoisuuksia ja orgaanisen aineen määrää.



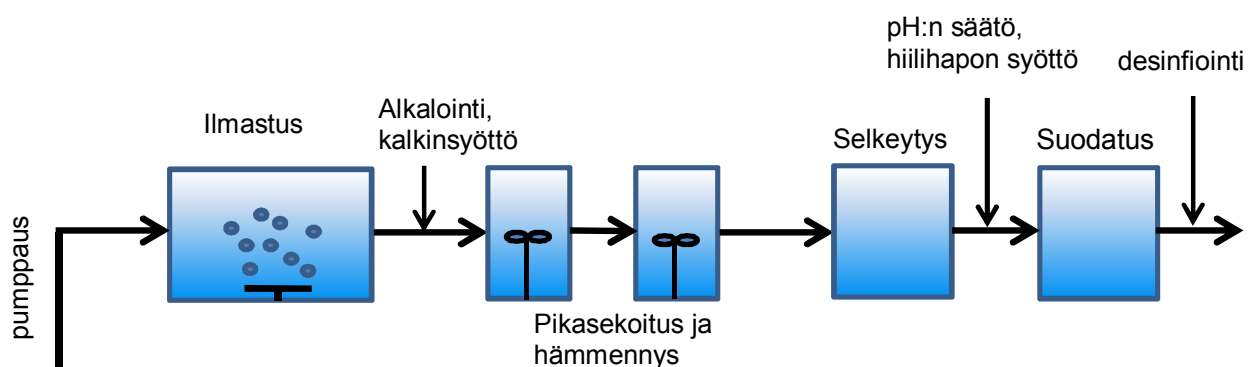
Kuva A. Jar-laitteisto: vasemmalla vesinäytteet sekoitusyksiköissä ja oikealla laitteen ohjauspaneeli.

Koagulaatio ja flokkaukseen voidaan toteuttaa luokkaympäristössä myös ilman jar-laitetta. Sekoitus voidaan tehdä magneettisekoittimella tai jopa käsin lusikalla sekoittaen. Käytettävä vesi voi olla oppilaan itse valitsemaa luonnonvettä tai vesinäytteiden valinnassa voi pyytää apua Oulun yliopistolta (ks. yhteystiedot tämän artikkelin alussa). Käytettävä koagulaatiokemikaali voi olla rauta(III)sulfaatti, jota tarvitaan esimerkiksi Oulujoen veteen noin 100 – 140 mg/l Fe. Saostuskemikaalin annostusta kannattaa kokeilla siten, että esim. joka työparilla on hieman eri annostus. pH on keskeinen tekijä koagulaation onnistumisessa. Käytettäessä rautapohjaista kemikaalia, hyvä pH-alue on yleensä 4 – 5. Jos pH:ta tarvitsee nostaa, sen voi tehdä laimella NaOH-liuoksella. pH:ta on hyvä mitata eri osissa koetta. Rautakemikaalin lisäys alentaa pH:ta (ks. reaktioyhtälöt 1 - 4). Sekoituksen vaiheet voivat olla: 1 min pikasekoitusta (magneettisekoitin lähes täysillä), 11 min hidassekoitusta (magneettisekoitin noin 1/10 pikasekoituksen nopeudesta) ja lopuksi 30 min laskeutus. Sekoituksen ja laskeutuksen aikana sameutta voi "mitata" esim. taskulampulla.



3.2. Pohjavesi

Pohjavedet vaativat tyypillisesti vähemmän käsittelyä kuin pintavedet. Kuvassa 4 on esitetty vedenkäsittelyprosessi, joka sisältää Suomessa tyypillisesti tarvittavat yksikköprosessit ja -operaatiot. Usein kuitenkin kaikkia vaiheita ei tarvita: jossain tapauksissa riittää pelkkä pH:n säätö ja hiilihapon syöttö. Tämä auttaakin ymmärtämään miksi vesiepidemioita esiintyy juuri pohjavesilaitosten toiminta-alueella: useilla laitoksilla vettä ei desinfioida jatkuvasti. Poikkeustilanteita varten on kuitenkin oltava valmius desinfiointiin.



Kuva 4. Pohjavedenkäsittelyprosessi.

Suomen pohjavedet sisältävät monin paikoin liian suuret pitoisuudet rautaa ja mangaania. Rauta- ja mangaani aiheuttavat talousvedessä makua, veden värjäävyyttä (esim. pestäviin vaatteisiin) sekä putkiin muodostuvia saostumia. Saostumat muuttavat veden virtausta putkissa (kasvattavat virtausvastusta) ja mahdollistavat mikro-organismien lisääntymisen. Tätä kautta raudalla ja mangaanilla on myös epäsuoria terveysvaikutuksia, vaikka rauta ja mangaani itsessään eivät ole terveydelle haitallisia. (Sincero & Sincero, 2003)

Raudan ja mangaanin osalta Suomessa annetut veden laatusuositukset ovat 0,200 mg/l Fe ja 0,050 mg/l Mn (STM 461/2000). Luonnonvesissä raudan ja mangaanin pitoisuudet ovat tyypillisesti alle 10 mg/l Fe ja alle 3 mg/l Mn (Sincero & Sincero, 2003).

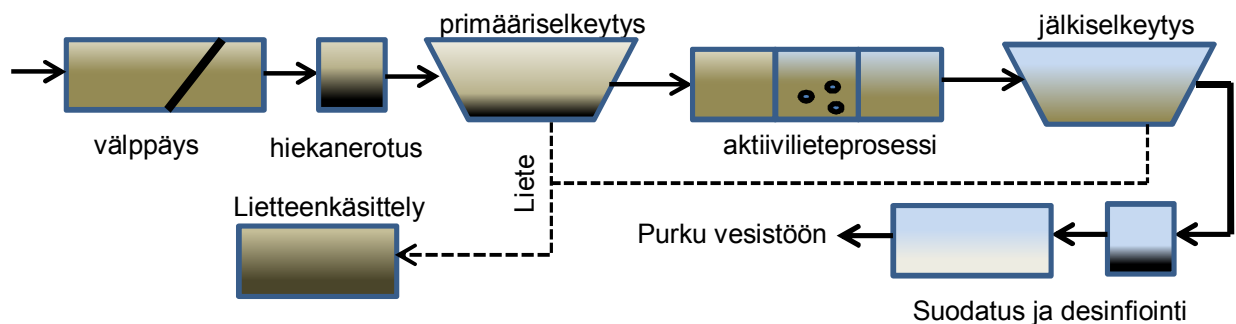
Raudan ja mangaanin poistoon voidaan käyttää seuraavia menetelmiä: käänteisosmoosi, ioninvaihto, biologiset menetelmät ja kemiallinen saostus. Suomessa raudan ja mangaanin poistoon käytetään yleensä kemiallista saostusta. Kemiallinen saostus edellyttää hapetusta, jossa rauta ja mangaani saadaan sopivalle hapetusasteelle saostumista varten. Hapetus myös hajottaa erilaisia ei-toivottuja rauta- ja mangaanikomplekseja, jotka estävät saostumista. (Sincero & Sincero, 2003)

pH on merkittävä tekijä raudan ja mangaanin saostumisessa. Optimaalinen pH $\text{Fe}(\text{OH})_3$:n saostumiselle on 5,5 - 12,5. Mangaanin osalta optimaalinen pH taas on 11,5 - 12,5, jolloin mangaani voi poistua myös $\text{Mn}(\text{OH})_2$:na. Suomessa raudan ja mangaanin

poisto toteutetaan usein kaksivaiheisena prosessina, jossa rauta poistetaan pH:ssa 7,5 – 8,0 ja mangaani pH:ssa 10. (Sincero & Sincero, 2003)

3.3. Jätevesi

Seuraavissa kappaleissa keskitytään kuvaamaan asumajätevesien käsittelyssä käytettäviä yksikköprosesseja. Samantyyppisiä prosesseja käytetään myös teollisten jätevesien käsittelyssä, mutta usein teollisilla jätevesillä on omia erityispiirteitään, jotka erottavat ne asumajätevesistä. Jätevedenkäsittelyprosessi voidaan jakaa seuraaviin vaiheisiin: esikäsittely, primäärinen, sekundäärinen ja tertiäärinen käsittely. Kaikilla jätevesilaitoksilla ei ole kaikkia em. käsittelyvaiheita ja vaiheiden sisältämät prosessit vaihtelevat. Kuvassa 5 on esitetty kaaviokuva jätevesilaitoksen prosessista. (Tchobanoglous et al., 2004)



Kuva 5. Jätevedenkäsittelyprosessi.

3.3.1. Esi- ja primäärikäsittely

Jäteveden esikäsittely sisältää lähinnä mekaanisia käsittelyvaiheita, kuten välppäys ja hiekanerotus. Välppäyksen tarkoitus on erottaa jätevedestä karkea kiintoaine, joka voisi vahingoittaa myöhempiä käsittelyvaiheita. Hiekanerotuksessa viemärissä kulkeutuvan hiekan annetaan laskeutua hiekanerotusaltaan pohjaan, josta se voidaan poistaa. Usein hiekanerotusvaiheeseen on yhdistetty ilmastus eli veteen johdetaan ilmakuplia. Ilmastus auttaa vähentämään jätevesilaitoksen hajuja hapettamalla mm. rikkivetyä sekä poistaa jätevedessä mahdollisesti olevia kaasuja. Esikäsittelyvaiheessa voidaan myös säätää jäteveden pH:ta. (Tchobanoglous et al., 2004)

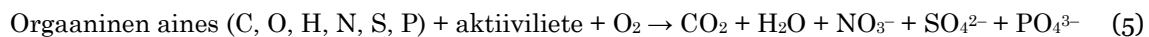
Esikäsittelyvaihetta seuraa primäärikäsittely, joka tarkoittaa veden selkeyttämistä. Selkeytyksen tavoitteena on edelleen erottaa vedestä kiintoainesta. Selkeytyksen toteuttamiseksi on kaksi vaihtoehtoa: laskeutus tai flotaatio. Laskeutuksessa jätevesi johdetaan altaaseen, jossa se virtaa erittäin hitaasti. Hitaan virtauksen aikana hienojakoisillakin partikkeleilla on aikaa vajota altaan pohjaan, josta ne erotetaan. Flotaatio edustaa päinvastaista toteutustapaa: jäteveteen johdetaan erittäin pienikokoisia kuplia,

jotka nostavat jäteveden erottuvat epäpuhtaudet pintaan. Pinnasta epäpuhtaudet poistetaan mekaanisesti kaapimalla. (Tchobanoglous et al., 2004)

3.3.2. Sekundäärikäsittely

Jäteveden sekundäärikäsittelyllä tarkoitetaan biologisia käsittelyvaiheita, joiden tavoitteena on 1.) biologisesti poistaa orgaanista materiaalia, 2.) poistaa suspensiona olevaa kiintoainesta ja 3.) poistaa biologisesti ravinteita (ammonium- ja nitraattityppi sekä fosfori). Typenpoisto on yleensä puhtaasti biologinen prosessi, mutta fosforinpoistoon tarvitaan usein saostavia aineita, esimerkiksi rauta- tai alumiinisuoloja. Fosforinpoisto muistuttaa kemiallisesti pintaveden koagulaatiota. Koagulanttien annostuspaikka jätevesiprosessissa voi olla esimerkiksi ilmastettu hiekanerotus. (Tchobanoglous et al., 2004)

Biologisia käsittelyprosesseja on olemassa useita erilaisia, joista yleisin on ns. aktiivilieteprosessi. Aktiivilieteprosessissa vedessä suspensiona olevat mikro-organismit (eli ns. aktiiviliete) käyttävät jäteveden orgaanista ainesta ja ravinteita aineenvaihdunnassaan. Aktiivilieteprosessi voi sisältää aerobisia, anoksisia ja anaerobisia käsittelyvaiheita, jotka erotetaan toisistaan happipitoisuuden mukaan. Aerobisessa vaiheessa vettä ilmastetaan ja tavoitteena on saavuttaa liuenneen hapen pitoisuus 1 - 2 mg/l. Aerobisessa vaiheessa osa orgaanisesta aineesta sitoutuu bakteerien massaan ja osa hajoaa aineenvaihduntatuotteiksi (reaktioyhtälö 5). (Tchobanoglous et al., 2004)



Aerobisessa vaiheessa tapahtuu myös nitrifikaatio eli ammoniumtypen, NH_4^+ , hapettuminen nitriitiksi, NO_2^- (reaktioyhtälö 6) ja lopulta nitraatiksi, NO_3^- (reaktioyhtälö 7). Nitrifikaation saavat aikaan ns. nitrifikaatiobakteerit (suvut *Nitrosomonas* ja *Nitrobacter*). (Tchobanoglous et al., 2004)



Anoksisessa käsittelyvaiheessa veden happipitoisuus on alle 0,5 mg/l, mutta happea on läsnä nitraattiin sitoutuneena. Anoksisissa olosuhteissa toimivat nitraattia typpikaasuksi pelkistävät bakteerit. Nitraatin pelkistymistä kutsutaan denitrifikaatioksi (reaktioyhtälö 8). Denitrifikaatio vaatii toimiakseen orgaanista ainesta, minkä vuoksi jätevesilaitoksilla syötetään yleisesti metanolia denitrifikaatiovaiheeseen orgaanisen hiilen lähteeksi. (Tchobanoglous et al., 2004)



Keskeinen osa aktiivilieteprosessia on kierrättää aktiivilietettä (bakteerimassaa). Aktiiviliete erotetaan käsiteltävästä jätevedestä jälkiselkeytyksessä, josta se johdetaan aktiivilieteprosessin alkuun. Liiallinen liete poistetaan ns. ylijäämälietteenä. (Tchobanoglous et al., 2004)

3.3.3. Tertiäärikäsittely

Tertiäärikäsittelyllä tarkoitetaan yleensä erilaisia suodatus- ja desinfiointivaiheita. Tavoitteena tertiäärikäsittelyssä on parantaa jäteveden kemiallista laatua edelleen ja myös varmistaa jäteveden mikrobiologinen laatu. Tällä hetkellä Suomessa ei jätevesilaitoksilta edellytetä jäteveden hygieenisyyden turvaamista desinfioinnilla kuin poikkeustilanteissa (esim. uimarannan sijainti lähellä jätevesilaitoksen purkukohtaa). Jäteveden desinfiointivaatimus on kuitenkin käytössä useissa muissa maissa.

Jäteveden suodatus tertiäärivaiheessa voidaan toteuttaa esimerkiksi hiekkasuodatuksella tai membraanitekniikoilla, joissa jätevettä ajetaan puoliläpäisevien kalvojen läpi paineella ja erotetaan epäpuhtaudet. Suodatuksen tarkoitus on vähentää jäteveden sameutta. Sameuden poistaminen on tärkeää esimerkiksi monia desinfiointimenetelmiä varten. (Tchobanoglous et al., 2004)

Jäteveden desinfiointi voidaan toteuttaa seuraavilla tekniikoilla ja kemikaaleilla: kloori, klooridioksidi, ultraviolettivalo, peretikkahappo, otsonointi ja permuurahaishappo. Kloori (Cl₂) on laajasti edelleen käytetty desinfiointiaine, mutta sen taipumus muodostaa terveydelle haitallisia desinfioinnin sivutuotteita (kloorattuja hiilivetyä) on vähentänyt kloorin käyttöä maailmanlaajuisesti. Kloorin käytössä pH:lla on merkittävä rooli, sillä kloori (Cl₂) esiintyy vedessä joko hypokloorihapokkeena (HOCl) tai hypokloriitti-ionina (OCl⁻), joista HOCl on selkeästi tehokkaampi desinfiointiaine (reaktioyhtälöt 9 ja 10). (Tchobanoglous, 2004)



Klooridioksidi (ClO₂) taas ei muodosta yhtä paljon desinfioinnin sivutuotteita, mutta se täytyy valmistaa aina käyttökohteessaan reaktiivisuutensa vuoksi. Klooridioksidin valmistaminen on kallis ja teknisesti monimutkainen prosessi. Ultraviolettivalo (UV) on saavuttanut melko laajaa suosiota maailmanlaajuisesti. Sen etuina on, ettei veteen tarvitse annostella mitään kemikaalia. Toisaalta käsiteltävän veden täytyy olla täysin kirkasta, jotta ultraviolettivalo läpäisee sitä riittävästi. Peretikkahappo (CH₃COOOH) ja permuurahaishappo (CHOOOH) ovat orgaanisia voimakkaasti hapettavia peroksiedeja. Niiden merkittävimmät edut ovat, etteivät ne muodosta halogenoituja desinfioinnin sivutuotteita. (Tchobanoglous et al., 2004)

4. Yhteenveto

Maailman vesitaloutta uhkaavia tekijöitä ovat kuivuus, saasteet, pohja- ja pintaveden väärinkäyttö, saastuttavien aineiden pääseminen pohjaveteen, sekä pintaveteen sekoittuvien epäpuhtauksien aiheuttamat ongelmat. Lisäksi maapallon väestönkasvu ennakoii veden kysynnän kasvua. Veden puute johtaa tarpeeseen kehittää vesilaitosten vedenkäsittelyä yhä energia- ja vesitehokkaammaksi. Asuma- ja teollisuusjätevesien tehokas puhdistaminen on tärkeää, jotta estetään vesistöjen pilaantuminen. (Abinet, 2011)

Suomessa vesivarojen riittävyys ei tule todennäköisesti muodostumaan ongelmaksi, mutta laadulliset kysymykset voivat nousta joiltain osin esiin. Pienet, erityisesti pohjavettä käyttävät vesilaitokset ja osuuskunnat ovat usein haavoittuvia vesilähteen saastuessa esimerkiksi mikrobiologisesti. Aiheutuvat vesiepidemiat havaitaan vasta kun ihmisiä alkaa sairastua samalta alueelta. Muita haasteita ovat muun muassa jäteveden riittävän käsittelyn turvaaminen, jotta esimerkiksi ravinteita tai patogeenejä ei päädy ympäristöön. Käsittelyvaatimukset pohjautuvat voimassa olevaan lainsäädäntöön, joten aihealue on myös poliittinen.

Lähteet

- Abinet, R. (2011). Kemira vuosikertomus.
- Berger, M. & Kaukonen, M. (1984). *Humus - raakavesiemme erikoisuus*. Teknillinen korkeakoulu, Otaniemi.
- Exall, K. N. & Vanloon, G. W. (2000). Using coagulants to remove organic matter. *J. Am. Water Works Assoc.*, 92, 93–102.
- Flynn, D. J. (toim.) (2009). *The Nalco Water Handbook*. New York: McGraw Hill.
- Karttunen, E. (2003). *Vesihuolto 1*. Helsinki: RIL Suomen rakennusinsinöörien liitto.
- Keränen-Toivola, M. (2011). *Mikrobihaitat: Terveysriskit ja korroosio*. Rauma: Vesi-Instituutti WANDER.
- Letterman, R. D. (1999). *Water quality and treatment: a handbook of community water supplies*. New York: McGraw-Hill.
- Loon, G. W. & Duffy, S. J. (2000). *Environmental Chemistry*. Oxford: Oxford University Press.
- Marsh, H. & Rodríguez-Reinoso, F. (2006). *Activated carbon*. Amsterdam: Elsevier.
- SFS-Käsikirja 45-1* (2011). Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
- Salmela, T. & Sillanpää, M. (2001). *Vesitekniikan kemialliset prosessit*. Oulun yliopiston vesi- ja ympäristötekniikan laboratorion julkaisuja. Oulu: Oulun yliopisto.
- Sincero, A. P. & Sincero G. A. (2003). *Physical-chemical treatment of water and wastewater*. Lontoo: IWA Publishing.
- Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. (2000). L 19.5.2000/461
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L. & Stensel, H. D. (2004). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. Boston: McGraw Hill.